

---

# Hochfrequenz-Immissionen durch funkbasierte Breitbanddienste

erstellt im Rahmen der Breitbandinitiative Bayern im Auftrag  
des Bayerischen Industrie- und Handelskammertages und des  
Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur,  
Verkehr und Technologie.



**BREITBAND · INITIATIVE · BAYERN**

Veröffentlichungsreihe Breitbandinitiative Bayern  
Band 2, Teil 1  
10. September 2007



Bayerischer  
Industrie- und Handelskammertag  
BIHK



## **Projektleitung beim Auftragnehmer**

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek  
EM-Institut GmbH  
Carlstraße 5  
93049 Regensburg  
Tel.: 0941/298365-0  
Fax: 0941/298365-2  
E-Mail: matthias.wuschek(a)em-institut.de

## **Autoren**

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek  
EM-Institut GmbH  
Carlstraße 5  
93049 Regensburg  
Tel.: 0941/298365-0  
Fax: 0941/298365-2  
E-Mail: matthias.wuschek(a)em-institut.de

Dr.-Ing. Christian Bornkessel  
IMST GmbH  
Abteilung Prüfzentrum  
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2  
47475 Kamp-Lintfort  
Tel: 02842/981-383  
Fax: 02842/981-299  
E-Mail: bornkessel(a)imst.de

## **Projektleitung beim Auftraggeber**

Helmut Burger  
Industrie und Handelskammer für München und Oberbayern  
Referat IuK-Wirtschaft  
Max-Joseph-Str. 2  
80333 München  
Tel: 089-5116-260  
Fax: 089-5116-8260  
E-Mail: burger(a)muenchen.ihk.de

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>4</b>
1.1	Hintergrund .....	4
1.2	Arbeitsumfang .....	6
1.3	Grenzwerte für hochfrequente elektromagnetische Felder .....	7
<b>2</b>	<b>Expositionsuntersuchungen an WLAN-Szenarien</b> .....	<b>8</b>
2.1	WLAN-Netzwerke .....	8
2.2	Auswertung aktueller Studien zum Thema "Exposition durch WLAN-Einrichtungen" .....	10
2.2.1	<i>Arbeiten von IMST GmbH und EM-Institut GmbH im Auftrag des Informationszentrum Mobilfunk (IZMF)</i> .....	11
2.2.2	<i>Arbeiten der IT'IS Foundation im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Gesundheit</i> .....	15
2.2.3	<i>Arbeiten der ARC Seibersdorf research GmbH im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms</i> .....	18
2.3	Immissionen in der Umgebung einer flächendeckenden WLAN-Breitbandversorgung .....	20
2.5	Zusammenfassung .....	22
<b>3</b>	<b>Expositionsuntersuchungen in Orten mit WiMAX-Versorgung</b> .....	<b>24</b>
3.1	Kurzvorstellung der WiMAX-Technologie .....	24
3.2	Immissionen in der Umgebung von flächendeckenden WiMAX-Breitbandversorgungen .....	26
3.2.1	<i>Messungen in Bodenkirchen</i> .....	26
3.2.2	<i>Messungen in Bonbruck</i> .....	30
3.2.2	<i>Messungen in Steinberg am See</i> .....	32
3.3	Zusammenfassung .....	36
<b>4</b>	<b>Vergleich der Immissionen von WLAN und WiMAX mit anderen Funkdiensten</b> .....	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung</b> .....	<b>40</b>
	Literaturverzeichnis .....	42
	Abkürzungsverzeichnis .....	44
	Anlage 1: Grenzwerte und ihre Entstehung .....	45
	Anlage 2: Ausführliche Dokumentation der Messungen .....	48

# 1 Aufgabenstellung

## 1.1 Hintergrund

Die Sicherstellung eines breitbandigen Internetzugangs für den einzelnen Bürger gewinnt in der modernen Kommunikationsgesellschaft mehr und mehr an Bedeutung. Dieser breitbandige "Last Mile Access", also die Anbindung des Kundenstandortes an die nächste Vermittlungsstelle des Netzbetreibers, wird in Deutschland und auch in den meisten anderen Industrieländern derzeit meist leitungsgebunden mittels DSL-Technologien realisiert. An dieser Stelle macht sich jedoch in vielen Ländern die Monopolstellung der ehemaligen staatlichen Fernmeldegesellschaften bemerkbar: Die Nutzung eines Breitbandzugangs wird oft an andere Dienste, wie Telefon oder TV (bei Nutzung der von Kabel-TV-Firmen angebotenen Breitbanddienste) gebunden, was die Kosten für den Zugang erhöht. Zusätzlich bleiben Regionen mit geringer Bevölkerungsdichte aufgrund der geringen Wirtschaftlichkeit vermutlich noch viele Jahre von der leitungsgebundenen Breitbandversorgung ausgeschlossen, da sich die Investition in die DSL-Technologie für den Betreiber dort derzeit nicht als wirtschaftlich darstellt. Diese Situation trifft natürlich insbesondere auch für alle dünn besiedelten, wirtschaftlich wenig entwickelten Regionen zu.

In Deutschland beträgt die flächenbezogene Versorgungsrate mit Breitbanddiensten derzeit nur etwa 55 Prozent. [WIK 06]. Versorgungslücken finden sich insbesondere in den ländlichen Regionen. Zur Stärkung des ländlichen Raums wurde daher von der Staatsregierung die "Bayerische Breitbandinitiative" ins Leben gerufen. Ziel der Initiative ist es, mehr Transparenz in Angebot und Nachfrage von Breitbandanschlüssen zu bringen und damit die Versorgungssituation mit Breitbandanschlüssen im ländlichen Raum zu verbessern. Insbesondere soll den möglichen Nutzern wertneutral vermittelt werden, dass außer den bekannten leitungsgebundenen DSL-Zugängen auch andere Wege zur Breitbandversorgung technisch möglich und wirtschaftlich machbar sind.

Alternative Technologien zur Breitbandversorgung im ländlichen Raum sind insbesondere funkgestützte Systeme. Angeboten werden derzeit sowohl Lösungen, bei denen der Breitbandanschluss über eine Satellitenverbindung realisiert wird, als auch terrestrische Funknetze, bei denen - ähnlich wie beim Mobilfunk - im Bereich der zu versorgenden Orte Sendeanlagen ("Basisstationen") errichtet werden, mit denen die Endgeräte des Nutzers über ein Funksignal in Verbindung treten. Jede der drei Technologien (Kabel, Satellit, lokales Funknetz) hat Vor- und Nachteile. Welche Alternative für eine bestimmte Personengruppe oder Gemeinde die optimale ist, hängt von sehr vielen individuellen Faktoren ab, so dass hier meist im Vorfeld einer Entscheidung, welche Technologie im Einzelfall eingesetzt werden soll, intensive Abklärungen zwischen den Nutzern und den jeweiligen Anbietern notwendig sind.

Im Rahmen des Projektes "Hochfrequenz-Immissionen durch funkbasierte Breitbanddienste" soll eine ganz spezielle Fragestellung bearbeitet werden, die sich bei allen funkbasierten Zugangstechnologien stellt, nämlich die Frage nach der Größe der elektromagnetischen Immissionen, verursacht durch die für die Sicherstellung der Breitbandversorgung notwendigen Sendeanlagen. Dies betrifft insbesondere die Technologien, die mit terrestrischen Funknetzen arbeiten, da dafür in nicht zu großer Entfernung von den Nutzern fest installierte Sendeanlagen errichtet werden müssen. Bei den leitungsgebundenen Systemen hingegen

entfällt diese Problematik, da hier das Signal dem Nutzer mittels einer Leitung zugeführt wird (Verteilt der Nutzer das vom Provider angebotene Signal anschließend per Funk innerhalb seines Anwesens, z.B. mittels WLAN-Technologie, so generiert er natürlich damit nun auch elektromagnetische Immissionen insbesondere innerhalb seines Wohn- bzw. Arbeitsumfeldes. Diese Exposition ist jedoch nicht systembedingt und damit vermeidbar, wenn statt der Weiterverteilung über Funk eine Leitungsvernetzung gewählt wird). Auch satellitengestützte Systeme können bezüglich der entstehenden Hochfrequenzimmission vernachlässigt werden, da die Basisstationen sehr weit von den Nutzern entfernt lokalisiert sind (Weltraum) und daher auf der Erde nur geringste Feldstärkewerte generiert werden (Vergleichbar mit dem Satellitenfernsehen). Auch die Sendeinrichtung für den Rückkanal beim Nutzer ist nicht mit den Anlagen der terrestrischen Netze vergleichbar, da die Sendeantenne (meist ein Parabolspiegel) das Signal in Richtung zum Satellit stark bündelt und daher in der Umgebung nur sehr geringe Immissionswerte zu erwarten sind.

Im Rahmen dieser Untersuchungen werden daher die derzeit aktuellen Technologien für einen funkbasierten Breitbandzugang mittels terrestrischer Netze betrachtet. Hierbei handelt es sich derzeit im wesentlichen um die folgenden drei Technologien:

- Breitbandversorgung mittels der im Heim- und Bürobereich bereits weit verbreiteten WLAN-Technologie (IEEE 802.11) im lizenzfreien Frequenzbereich 2,4 - 2,5 GHz
- Breitbandfunknetze im lizenzfreien Frequenzbereich (5,5 - 5,7 GHz); Aktuelle Technologie meist gemäß dem WiMAX-Standard 802.16
- Breitbandfunknetze im lizenzierten Frequenzbereich (3,4 - 3,6 GHz); Technologie gemäß dem WiMAX-Standard 802.16

Aktuell zeigt sich, dass Systeme in den lizenzfreien Bändern bereits seit einiger Zeit in Betrieb sind, während die Technologie im lizenzierten Frequenzbereich sich derzeit noch in der Aufbauphase befindet. Die bundesweite Lizenzvergabe durch die Bundesnetzagentur fand erst im Dezember 2006 an die interessierten Firmen statt.

Mittels der im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen sollen die in der Umgebung dieser neuartigen Sendeanlagen für die Breitbandversorgung auftretenden hochfrequenten Immissionen zahlenmäßig quantifiziert werden. Ein Vergleich der festgestellten Immissionswerte mit den Grenzwerten für hochfrequente elektromagnetische Felder erlaubt somit eine objektive Einschätzung der Expositionssituation vor Ort. Zusätzlich sollen die entstehenden Immissionen mit denen von anderen Funkdiensten (z.B. Mobilfunk) verglichen werden, um nicht nur einen Eindruck über die absolute Größe, sondern auch die relative Gewichtung dieser neuen Immissionsquellen zu erhalten.

Ziel der Untersuchung ist es, allen interessierten Institutionen und Personengruppen bereits vor einem eventuellen großflächigen Einsatz dieser neuen Funktechnologien einen Eindruck über die Größenordnung der zusätzlich entstehenden Immissionen, insbesondere im Vergleich zu bereits seit vielen Jahren etablierten Funkdiensten zu geben, was letztlich als ein Bestandteil der Bewertung verschiedener Breitbandtechnologien anzusehen ist.

## 1.2 **Arbeitsumfang**

Da Sendeanlagen im lizenzierten WiMAX-Frequenzbereich im Frühsommer 2007 in Bayern noch nicht verfügbar waren, wurde das Projekt in zwei Teile aufgeteilt, damit ohne Zeitverzug die derzeit schon betriebenen Technologien näher untersucht und baldmöglichst Expositionsdaten für diese Systeme publiziert werden. Die Untersuchungen an den lizenzierten Funksystemen werden anschließend im Rahmen eines zweiten Arbeitspaketes voraussichtlich im Herbst 2007 durchgeführt. Im Detail beinhaltet das Gesamtprojekt folgende Untersuchungen:

### **Arbeitspaket 1: (Sommer 2007)**

- Messtechnische Untersuchungen zur Feldexposition bei WLAN-Systemen zur großflächigen Breitbandversorgung von Ortschaften im ländlichen Bereich. Hier wurde exemplarisch die Immission in einer niederbayerischen Gemeinde, in der ein derartiges WLAN-Netzwerk in Betrieb ist, mittels ausführlicher messtechnischer Erhebungen näher quantifiziert.
- Vergleichend gegenübergestellt werden diesen Messergebnissen typische Expositionen bei Nutzung von WLAN-Systemen zur Datenkommunikation im Heim- und Bürobereich sowie bei kleinflächigen Anwendungen (z.B. Gaststätten, Lounges, öffentliche Plätze). Zu dieser Fragestellungen existieren bereits sehr umfangreiche Untersuchungen, die in den letzten beiden Jahren veröffentlicht wurden. Die darin vorgestellten Expositionswerte wurden gesammelt, aufbereitet und anschaulich dargestellt, so dass ein Vergleich mit den Immissionen, verursacht durch die großflächigen WLAN-Versorgungssysteme, möglich wird.
- Messtechnische Untersuchungen zur Feldexposition bei lizenzfreien WiMAX-Systemen zur großflächigen Breitbandversorgung von Ortschaften im ländlichen Bereich. Hier wurde die Immission in zwei niederbayerischen Orten, sowie einer oberpfälzischen Gemeinde, in denen derartige Anlagen bereits in Betrieb sind, mittels ausführlicher Messungen quantifiziert.
- In einer dieser drei Gemeinden wird in unmittelbarer Nähe des Standortes der WiMAX-Antennen eine GSM-Mobilfunksendeanlage betrieben. Um einen Eindruck über das Größenverhältnis der WiMAX-Immissionen mit den Feldern, verursacht durch die GSM-Anlage zu erhalten, wurden an den Messpunkten in dieser Gemeinde zum Vergleich auch die GSM-Signale messtechnisch erfasst. Auch in den anderen Ortschaften wurden exemplarisch die GSM-Immissionen an einigen Punkten mit gemessen.

### **Arbeitspaket 2: (Herbst 2007)**

- Messtechnische Untersuchungen zur Feldexposition bei lizenzierten WiMAX-Systemen (Frequenzbereich: 3,4 - 3,6 GHz) zur großflächigen Breitbandversorgung von Ortschaften im ländlichen Bereich.
- Expositionsvergleich mit anderen Diensten (z.B. GSM- bzw. UMTS-Mobilfunk)

- Immissionsmessungen an einer Richtfunkverbindung, die zur Anbindung einer WiMAX-Basisstation an das Netzwerk des Betreibers dient.

Die Ergebnisse von Arbeitspaket 1 sind in diesem Bericht wiedergegeben. Die Untersuchungen des Arbeitspaketes 2 werden in einem zweiten Bericht nach Abschluss der Messungen dokumentiert.

### 1.3 Grenzwerte für hochfrequente elektromagnetische Felder

Grundsätzlich ist die Exposition der Allgemeinbevölkerung bezüglich hochfrequenter elektromagnetischer Felder für Deutschland in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) geregelt [26. BImSchV]. Für WLAN- und die bisher gewöhnlich eingesetzten WiMAX-Basisstationen (lizenzfreier Bereich) bzw. die dazugehörigen Endgeräte sind, anders als z.B. für Mobilfunk-Basisstationen, in Deutschland die Grenzwerte der 26. BImSchV nicht anwendbar, da es sich hierbei nicht um *fest installierte* Hochfrequenzanlagen mit einer *Sendeleistung von 10 W isotroper Strahlungsleistung (EIRP) oder mehr* handelt. Für WLAN-Antennen ist eine maximale isotrope Strahlungsleistung von 0,1 Watt zulässig, im lizenzfreien WiMAX-Band (5,5 - 5,7 GHz) ist eine maximale Strahlungsleistung von 1 Watt zulässig (bezogen auf 20 MHz Bandbreite). Anzuwenden sind daher für die eingesetzten Komponenten vielmehr die Normen DIN EN 50392 [EN 50392] bzw. auch DIN EN 50385 [EN 50385], die bezüglich der Grenzwerte auf die EU-Ratsempfehlung 99/519/EG [99/519/EG] verweisen, die ihrerseits auf den ICNIRP-Empfehlungen basieren [ICNIRP 98].

Somit sind letztlich die selben Grenzwerte anzuwenden, die durch die 26. BImSchV für Sendeanlagen über 10 Watt EIRP vorgegeben werden, da sich die 26. BImSchV ebenfalls auf die ICNIRP-Empfehlung bezieht.

Diese Grenzwerte sind in Tabelle 1.1 und 1.2 zusammengefasst. Bezüglich der Werte aus Tabelle 1.2 ist anzumerken, dass im Fernfeld alle genannten Feldgrößen dieselbe Information beinhalten und sich ineinander umrechnen lassen. So lässt sich beispielsweise die Leistungsflussdichte  $S$  aus dem Quadrat der elektrischen Feldstärke  $E^2$  und Division durch den Feldwellenwiderstand des freien Raumes (377 Ohm) errechnen. Nähere Informationen über die Grenzwerte für hochfrequente Felder finden sich in Anlage 1 zu diesem Bericht.

Frequenz [GHz]	Mittlere Ganzkörper-SAR [W/kg]	Lokale SAR (Kopf und Rumpf) [W/kg]	Lokale SAR (Gliedermaßen) [W/kg]
0,01-10	0,08	2	4

Tabelle 1.1 Basis-Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung 99/519/EG für den hier relevanten Frequenzbereich. Sämtliche SAR-Werte sind über 6-Minuten-Intervalle zu mitteln. Die zu mittelnde Gewebemasse für lokale SAR-Werte beträgt 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Körpergewebes.

Frequenz [GHz]	Elektrische Feldstärke E [V/m]	Magnetische Feldstärke H [A/m]	Magnetische Flussdichte B [ $\mu$ T]	Elektrische Leistungsflussdichte S [ $W/m^2$ ]
2-300	61	0,16	0,20	10

Tabelle 1.2 Referenz-Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung 99/519/EG für den hier relevanten Frequenzbereich (Effektivwerte). Bei Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 GHz sind S, E<sup>2</sup>, H<sup>2</sup> und B<sup>2</sup> über beliebige 6-Minuten-Intervalle zu mitteln.

## 2 Expositionsuntersuchungen an WLAN-Szenarien

### 2.1 WLAN-Netzwerke

Wireless Local Area Networks (WLAN) sind lokale Datennetze, die drahtlose Datenübertragungen zwischen Geräten wie PC's, Servern und Druckern, aber auch digitalen Geräten der Unterhaltungselektronik vornehmlich innerhalb von Gebäuden ermöglichen. In Deutschland werden derzeit Komponenten und Netzwerke meist nach dem Standard IEEE 802.11g hergestellt bzw. aufgebaut. Damit ist eine Brutto-Übertragungsrate von bis zu 54 Mbit/s möglich. Abwärts kompatibel zu diesem Standard ist der ältere Standard 802.11b, der ebenfalls im Frequenzbereich von 2,4 - 2,5 GHz arbeitet, jedoch eine geringere Datenübertragungsrate von maximal 11 Mbit/s besitzt.

Dabei können die Teilnehmergeräte (Netzwerkadapter, z. B. als Einsteckkarten für PC's oder PCMCIA-Karten für Notebooks) über zentrale Zugangspunkte ("Access-Points", "Hot Spots") sowohl direkt miteinander kommunizieren, als auch mit dem Internet in Verbindung treten.

Im professionellen Arbeitsumfeld ermöglicht WLAN, dass mobile Arbeitsplätze sehr einfach an das Datennetz angebunden werden können, doch auch Hotels, Gaststätten, Flughäfen oder andere Einrichtungen bieten mittlerweile solche drahtlosen Zugänge z. B. ins Internet für ihre Kunden an.

Die Reichweite dieser Anlagen beträgt typisch zwischen etwa 25 Meter (in Gebäuden) und bis zu etwa 150 Meter (im Freien), unter Verwendung spezieller Richtantennen sind im Freien auch Reichweiten von bis zu mehreren Kilometern möglich.



Bild 2.1 WLAN Access-Point (links), Einschubkarte für PC (Mitte), PCMCIA-Karte für Laptop (rechts)

WLANs sind in Deutschland anmelde- und gebührenfrei, bei grundstücksübergreifenden Anlagen ist jedoch die Inbetriebnahme der Funkstrecke der Bundesnetzagentur mitzuteilen.



Obwohl nicht speziell dafür konzipiert, bietet insbesondere der Standard 802.11g die Fähigkeit der drahtlosen Anbindung von Endgeräten an einen zentralen Punkt, nicht nur innerhalb eines Gebäudes oder eines Firmengeländes, sondern es eröffnet sich auch die Möglichkeit der Vernetzung von Teilnehmern in einem größeren Umkreis. Aufgrund der vorgeschriebenen Leistungsbeschränkung von 0,1 Watt isotroper Strahlungsleistung jeder Antenne, sind hierbei gewisse Beschränkungen zu berücksichtigen:

- Die Entfernung zwischen der Antenne des Access-Points und der Teilnehmerantenne darf nicht zu groß werden.
- Es sollte möglichst Sichtverbindung zwischen beiden Antennen bestehen.

Der Access-Point selbst muss über Mietleitung oder Richtfunk an das Kernnetz des Providers angeschlossen sein.

Ein typisches WLAN-Netz zur Versorgung einer Ortschaft mit Breitbanddiensten besteht also aus einem oder mehreren (über das Ortsgebiet verteilten) Access-Points (Basisstationen), deren Antennen möglichst auf erhöhten Standorten (z.B. Mast, Gebäudedach, Silo) montiert sind, sowie den Teilnehmerantennen, die meist an der Fassade oder auf dem Gebäudedach (z.B. am Träger der TV-Antenne) angebracht sind. Die Installation der Teilnehmerantenne innerhalb des Gebäudes ist nur in Ausnahmefällen unter günstigen Bedingungen möglich. Das empfangene Signal wird in der Teilnehmerstation entweder in ein leitungsgebundenes Datensignal umgewandelt oder über eine neue WLAN-Verbindung dem Endnutzer zugeführt. Typische Installationen sind in Bild 2.2 wiedergegeben.

Ergebnisse von ausführlichen Messungen der Immission, verursacht durch derartige WLAN-Netze zur Breitbandanbindung von Ortschaften, wurden bisher noch nicht in der Fachliteratur veröffentlicht. Daher wurde im Rahmen dieses Projektes eine derart versorgte Gemeinde mittels umfangreicher Messungen analysiert. Die Ergebnisse sind in Kapitel 2.3 wiedergegeben.

Zuvor werden in Kapitel 2.2 die Ergebnisse ausführlicher Expositionsuntersuchungen an "gewöhnlichen" WLAN-Installationen (Haushalt, Büro, Innenräume, Plätze) und den dazugehörigen körpernah benutzten Endgeräten vorgestellt, so dass ein Vergleich der Exposition für diese beiden sehr unterschiedlichen Szenarien möglich wird. Größter Unterschied: Bei den "gewöhnlichen" Installationen werden die Sendeantennen (sowohl der Access-Points als auch der Endgeräte) häufig sehr nah an Personen platziert, während bei großflächigen Versorgungsnetzen meist ein größerer Abstand zwischen Personen und den Antennen besteht.



Bild 2.2 Links: WLAN-Basisstationsantenne (Rundstrahlantenne) auf einem Gebäudedach (der unten am Mast angebrachte Richtfunkparabol dient der Anbindung der Station an das Netz); Rechts: Teilnehmerantenne (oben), montiert auf dem Trägerrohr einer Satelliten-TV-Empfangsantenne.

## 2.2 Auswertung aktueller Studien zum Thema "Exposition durch WLAN-Einrichtungen"

Hinsichtlich der Expositionserfassung an "gewöhnlichen" WLAN-Einrichtungen sind in der letzten Zeit einige Untersuchungen durchgeführt worden, von denen hier beispielhaft Arbeiten für das Deutsche Informationszentrum Mobilfunk (IZMF), das Schweizerische Bundesamt für Gesundheit (BAG) sowie Arbeiten innerhalb des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF) vorgestellt werden.

Die Untersuchungen beinhalten Messungen an Access-Points und Endgeräten bei verschiedenen Abständen im Labor sowie in realen Szenarien. Messungen im Körperkontakt-Betrieb zu WLAN-Geräten wurden dabei als SAR-Messungen durchgeführt. Bei größeren Abständen wurden mit Feldsonden oder geeigneten Antennen Messungen der elektrischen Feldstärke vorgenommen. Die Arbeiten der ARC Seibersdorf research GmbH im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF) beinhalten neben Messungen auch numerische Berechnungen in verschiedenen Expositionsszenarien.

### 2.2.1 Arbeiten von IMST GmbH und EM-Institut GmbH im Auftrag des Informationszentrum Mobilfunk (IZMF)

Die IMST GmbH hat im Jahr 2005 im Auftrag des Informationszentrums Mobilfunk Berlin (IZMF), in Zusammenarbeit mit der EM-Institut GmbH, eine Expositionsuntersuchung an verschiedenen WLAN-Szenarien durchgeführt. Neben der Entwicklung eines geeigneten Immissions-Messverfahrens wurden Messungen in den drei Szenarien

1. Typische Arbeitsplatzumgebung, Untersuchung der Immission durch Access-Points,
2. Typische Arbeitsplatzumgebung, Untersuchung der Immission durch Endgerät, und
3. Lounge, bei der die Immission gleichzeitig durch Access-Points und Endgeräte erfolgt

vorgenommen. Die Untersuchungen beziehen sich auf WLAN-Geräte des weit verbreiteten Standards IEEE 802.11b.

Die Expositionsmessungen im Fernfeld wurden mit Hilfe eines Spektrumanalysators und geeigneten Antennen im Zeitbereichsmodus (Zero Span) des Analysators vorgenommen, da hierdurch eine wesentlich stabilere Messwerterfassung als im Frequenzbereich möglich ist. Außerdem ist mit dieser Messmethodik eine zuverlässige Bestimmung des Immissionszustandes bei *maximaler Anlagenauslastung* möglich, wie er in einschlägigen Grenzwertregelungen gefordert wird. Alle nachfolgenden Messwerte dieses Abschnitts beziehen sich auf maximale Auslastung der untersuchten WLAN-Geräte. Im *realen* Betrieb liegen die Immissionen zumeist niedriger. Im "Ruhebetrieb", d.h. ohne Datenverkehr beträgt die mittlere abgestrahlte Leistung eines Access-Points maximal etwa 1/100 der maximalen Pulsleistung. Da außerdem vorrangig in Innenräumen die Expositionsverteilung höchst inhomogen ist, wurde mit einem speziellen Maximierungsverfahren ("Schwenkmethode") das *räumliche Maximum* der Exposition gemessen. Auch dies stellt einen worst case Zustand dar; im Realfall ist im räumlichen Mittel gesehen mit geringeren Immissionen zu rechnen.

Die Messungen zum Szenario 1 (Typische Arbeitsplatzumgebung, Untersuchung der Immissionen primär durch Access-Points) wurden in einem Gebäude der Fachhochschule Deggendorf durchgeführt, in dem mehrere Access-Points installiert sind. An insgesamt 85 Messpunkten wurde die Exposition durch die Access-Points gemessen. Die Messpunkte hatten unterschiedliche Abstände zum nächstgelegenen Access-Point; einige hatten Sichtverbindung, andere hingegen nicht.

Bild 2.3 zeigt die gemessenen Immissionen als Funktion des Abstands zum nächstgelegenen Access-Point. Die Immissionen sind auf der linken Achse als Leistungsflussdichte und auf der rechten Achse als prozentuale Ausschöpfung der Grenzwerte bezüglich der Leistungsflussdichte dargestellt.

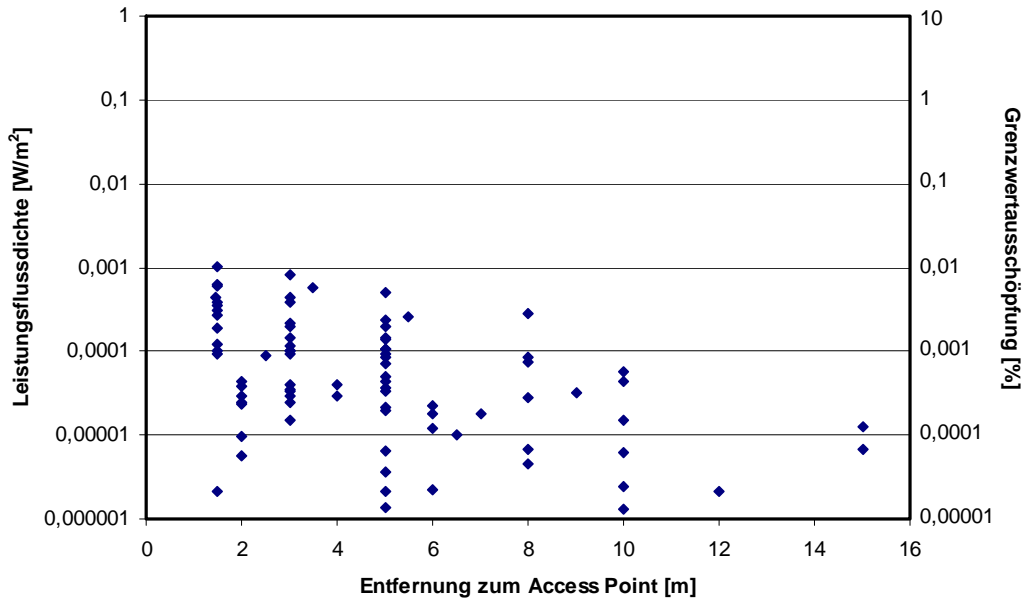


Bild 2.3 Immissionen durch Access-Points im Gebäude einer Fachhochschule, aus [BOR 05]

Die gefundenen Leistungsflussdichtewerte liegen in der Größenordnung von 0,000001 bis 0,001 W/m<sup>2</sup>. Bei einem gesetzlichen Grenzwert von 10 W/m<sup>2</sup> bedeutet dies, dass dieser leistungsflussdichtebezogen nur zu maximal 0,1 Promille ausgeschöpft wird.

Da in weiter unten dargestellten Arbeiten die Immissionen auch als elektrische Feldstärke bzw. feldstärkebezogene Grenzwerte angegeben sind, sollen die in vorliegendem Szenario ermittelten Werte auch in diesen Größen angegeben werden. Die gefundenen Feldstärkewerte liegen in der Größenordnung von 0,02 bis 0,6 V/m. Bei einem gesetzlichen Grenzwert von 61 V/m bedeutet dies, dass dieser feldstärkebezogen nur zu maximal 1 % ausgeschöpft wird.

Das Entfernungsprofil in Bild 2.3 zeigt in der Tendenz eine Abnahme der Immission mit steigendem Abstand vom Access-Point, wobei diese jedoch aufgrund wechselnder Sichtverhältnisse vom Messpunkt zum Access-Point oder auch durch die Ausbildung von stehenden Wellen innerhalb des Gebäudes nicht immer gleichmäßig ist.

Im Gegensatz zu dieser Messung in einer "realen Umgebung" wurden die Untersuchungen zum Szenario 2 (Typische Arbeitsplatzumgebung, Untersuchung der Immissionen primär durch Endgeräte) auf systematische Weise in einer reflexionsfreien Umgebung (Absorberkammer) vorgenommen. Bild 2.4 zeigt den Messaufbau und das verwendete Endgerät: Hierbei handelt es sich um ein Notebook mit integrierter WLAN-Karte nach dem Standard IEEE 802.11b. Bei den Messungen wurden Entfernungsprofile in vier unterschiedliche Richtungen aufgenommen, um eventuelle Richtungsabhängigkeiten zu untersuchen.

Das Ergebnis der Messungen ist in Bild 2.5 dargestellt.

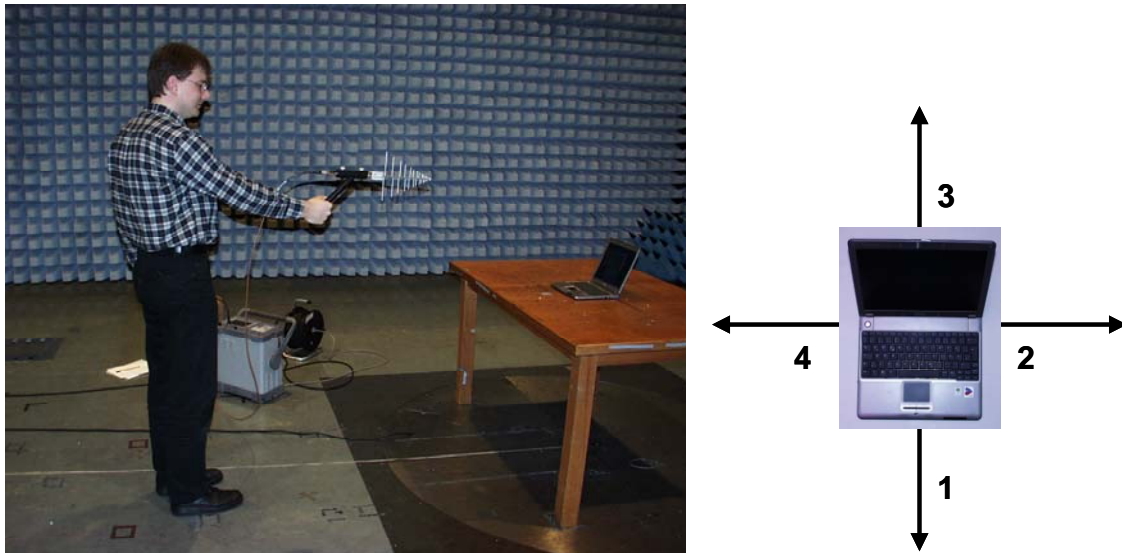


Bild 2.4 Messaufbau zur Untersuchung eines Notebooks mit integrierter WLAN-Karte

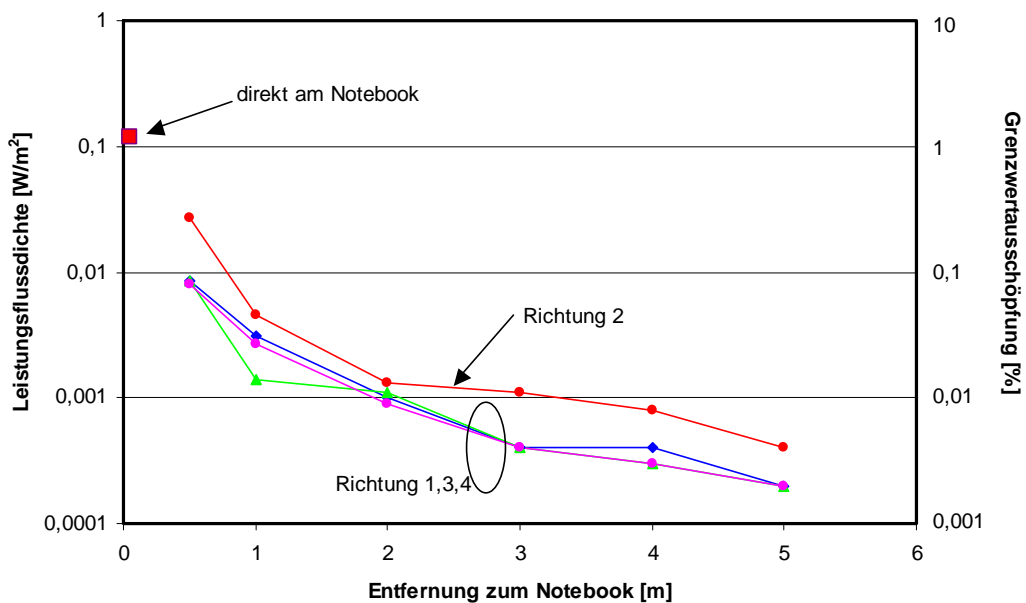


Bild 2.5 Messergebnisse am Szenario Endgerät nach Bild 2.4, aus [BOR 05]

Die Immissionen sind erwartungsgemäß am Endgerät am größten und nehmen sehr schnell und im Gegensatz zur "realen" Umgebung von Szenario 1 stetig mit der Entfernung ab. Wohingegen sich die Entfernungsprofile der Richtungen 1, 3 und 4 nahezu identisch verhalten, ist die Exposition entlang der Richtung 2 etwas höher. Dies hängt vermutlich mit dem Einbauort der WLAN-Karte bzw. deren Antenne zusammen.

Direkt am Notebook werden Expositionen von etwa  $0,12 \text{ W/m}^2$  (entsprechend  $6,7 \text{ V/m}$ ) erreicht, was einer Grenzwertausschöpfung von leistungsflussdichtebezogen  $1,2 \%$  (entsprechend  $11 \%$  feldstärkebezogen) entspricht. In  $1 \text{ m}$  Entfernung beträgt die Leistungsflussdichte maximal  $0,005 \text{ W/m}^2$  ( $0,05 \%$  vom Grenzwert) bzw.  $1,3 \text{ V/m}$  ( $2,2 \%$  vom Grenzwert).

wert) und ist in 5 m Entfernung schon auf  $0,0004 \text{ W/m}^2$  ( $0,004 \%$  vom Grenzwert) bzw.  $0,4 \text{ V/m}$  ( $0,6 \%$  vom Grenzwert) abgesunken.

Die Messwerte am Endgerät sind, begründet durch den geringeren Abstand der Messpunkte zur Feldquelle, im Mittel höher als die in Bild 2.3 dargestellten Ergebnisse in der Umgebung von Access-Points. Daraus lässt sich die Feststellung begründen, dass die individuelle Exposition in der Regel nicht von den Access-Points, sondern durch die Endgeräte dominiert wird.

Als drittes Szenario wurde ein gemischtes Szenario mit einem Access-Point und mehreren Endgeräten in einer realen Umgebung (Lounge) untersucht. Bild 2.6 zeigt ein Übersichtsbild des Szenarios; am oberen Bildrand befindet sich in etwa 8 m Höhe unter der Decke ein Access-Point ("AP"; Sendeleistung 50 mW) und in der Sitzgruppe (SG) am unteren Bildrand ein WLAN-fähiges Notebook und ein PDA. Der laterale Abstand vom Access-Point zur Sitzgruppe beträgt etwa 11 m.

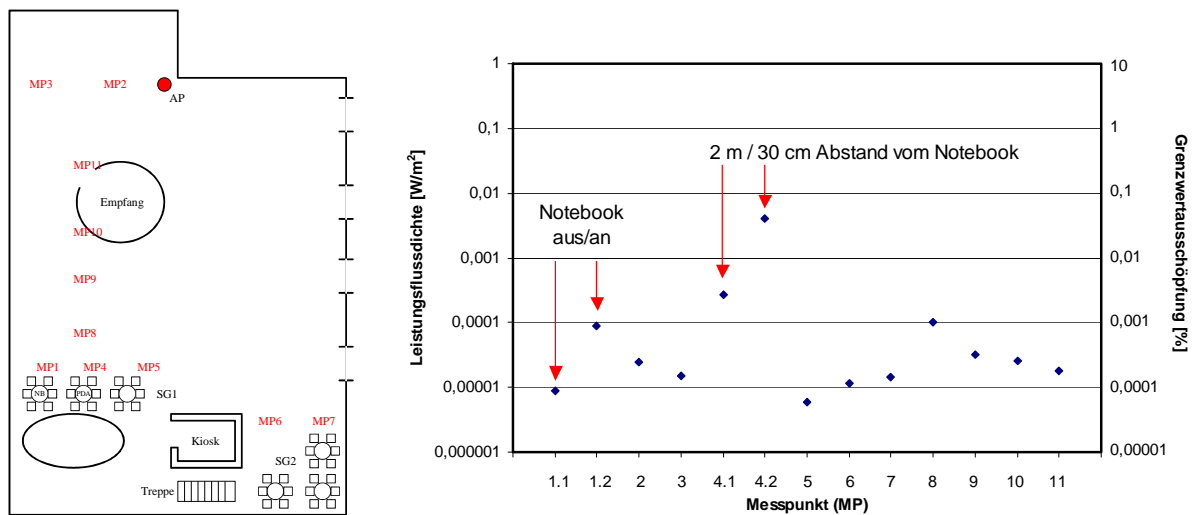


Bild 2.6 Prinzipskizze und Messergebnisse der untersuchten Lounge, aus [BOR 05]

Die gefundenen Werte liegen zwischen  $0,000006 \text{ W/m}^2$  ( $0,00006 \%$  vom Grenzwert) bzw.  $0,05 \text{ V/m}$  ( $0,08 \%$  vom Grenzwert) und  $0,004 \text{ W/m}^2$  ( $0,04 \%$  vom Grenzwert) bzw.  $1,2 \text{ V/m}$  ( $2,0 \%$  vom Grenzwert). Die Ergebnisse sind vergleichbar zum Szenario "Access-Points".

Besonders bedeutsam sind die Ergebnisse am MP 1, wo bei eingeschaltetem Notebook leistungsmäßig eine etwa um den Faktor 10 höhere Immission erreicht wird. Am MP 4 zeigt sich ein ähnlicher Effekt bei Verringerung des Abstands von 2 m auf 30 cm. Dies weist wie schon beim zweiten Szenario abgeleitet darauf hin, dass in unmittelbarer Nähe von Endgeräten die Exposition primär durch die Endgeräte (und nicht durch die Access-Points) bestimmt wird.

## **2.2.2 Arbeiten der IT'IS Foundation im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Gesundheit**

Die IT'IS Foundation (Foundation for Research on Information Technologies in Society) hat in den Jahren 2005 und 2006 Untersuchungen unter anderem an WLAN-Einrichtungen im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Gesundheit (BAG) durchgeführt [KRA 05, KÜH 06]. Die Arbeiten wurden in einer Publikation "Risikopotenzial von drahtlosen Netzwerken" des BAG [BAG 07] zusammengefasst.

Wohingegen in [KRA 05] an drei Access-Points des Standards IEEE 802.11b Feldmessungen und SAR-Messungen unter Laborbedingungen dokumentiert sind, wurden in [KÜH 06] die Untersuchungen auf mehrere Access-Points (vier Geräte) und Endgeräte (fünf PC-Karten und ein PDA) der Standards IEEE 802.11b, g und a mit unterschiedlichen Datenraten ausgedehnt.

Die Feldmessungen wurden unter Laborbedingungen in einer Absorberkammer bei verschiedenen Messabständen bis zu einer Entfernung von etwa 2,5 m zum WLAN-Untersuchungsobjekt durchgeführt. Bis zu einer Entfernung von 20 cm kamen dabei miniaturisierte Breitbandsonden zum Einsatz; ab 20 cm wurde mit einem Spektrumanalysator und einer bikonischen Antenne gemessen. Die Messungen wurden in Hauptstrahlungsrichtung des WLAN-Systems durchgeführt, die vorher mit einer speziellen Scanapparatur ermittelt wurde. Außerdem wurde das WLAN-Gerät bei maximaler Ausgangsleistung und mit maximaler Datenrate betrieben. Diese Maßnahmen gewährleisteten, dass die somit ermittelten Feldwerte worst-case Werte darstellen, wohingegen im realen Betrieb die individuelle Exposition durch verschiedene Ausrichtungen zum WLAN-Gerät und verschiedene Auslastungsbedingungen (Datenraten) in der Regel kleiner ist.

Die Bilder 2.7 und 2.8 zeigen die solchermaßen gemessene Entfernungsabhängigkeit der elektrischen Feldstärke von verschiedenen WLAN Access Points, PC-Karten und eines PDA [BAG 07]. Es ist zu erkennen, dass wie in Bild 2.5 unter den hier vorhandenen Laborbedingungen die elektrische Feldstärke mit wachsendem Abstand zum Sender stetig abnimmt. Die mit einer gestrichelten schwarzen Linie eingezeichneten Grenzwerte werden an keiner Stelle überschritten. Im Abstand von 20 cm schöpft keines der untersuchten Geräte feldstärkebezogen mehr als 10 % des Feldstärke-Grenzwertes aus, bei 1 m Abstand nicht einmal 2,5 %. Die maximal gemessenen Feldstärken von allen untersuchten Systemen betragen in 5 cm Abstand 16,4 V/m, in 10 cm 10,2 V/m, in 50 cm 2,1 V/m und in 200 cm 0,9 V/m.

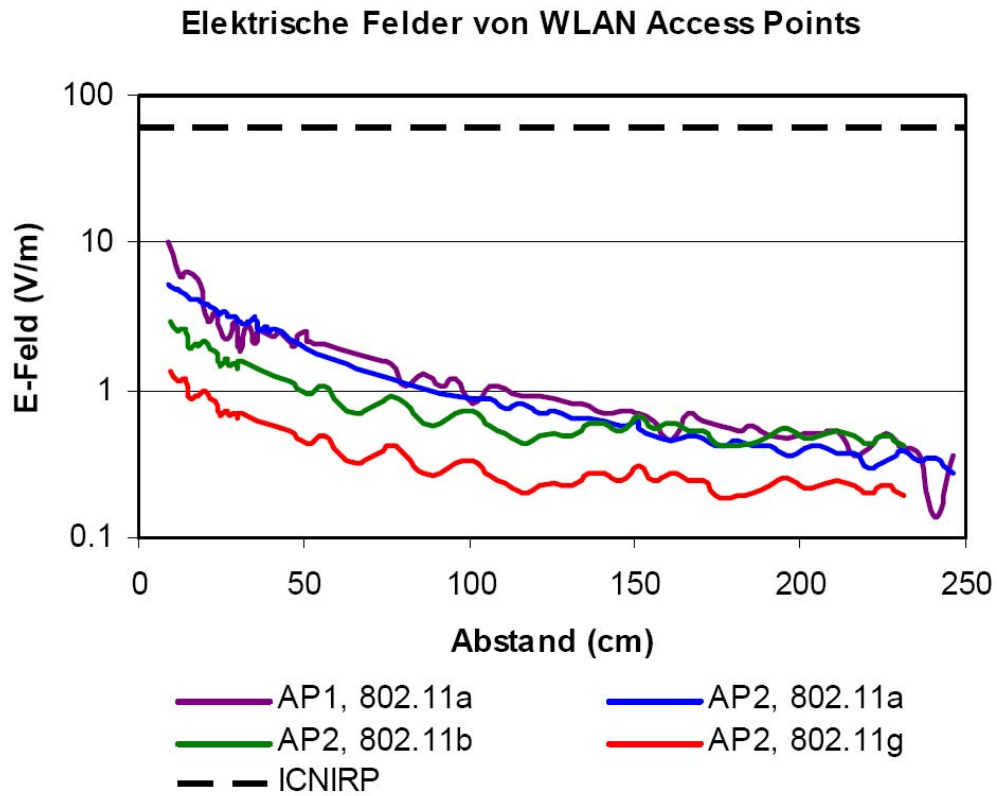


Bild 2.7 Elektrische Feldstärke als Funktion des Abstands für verschiedene WLAN Access Points, aus [BAG 07]

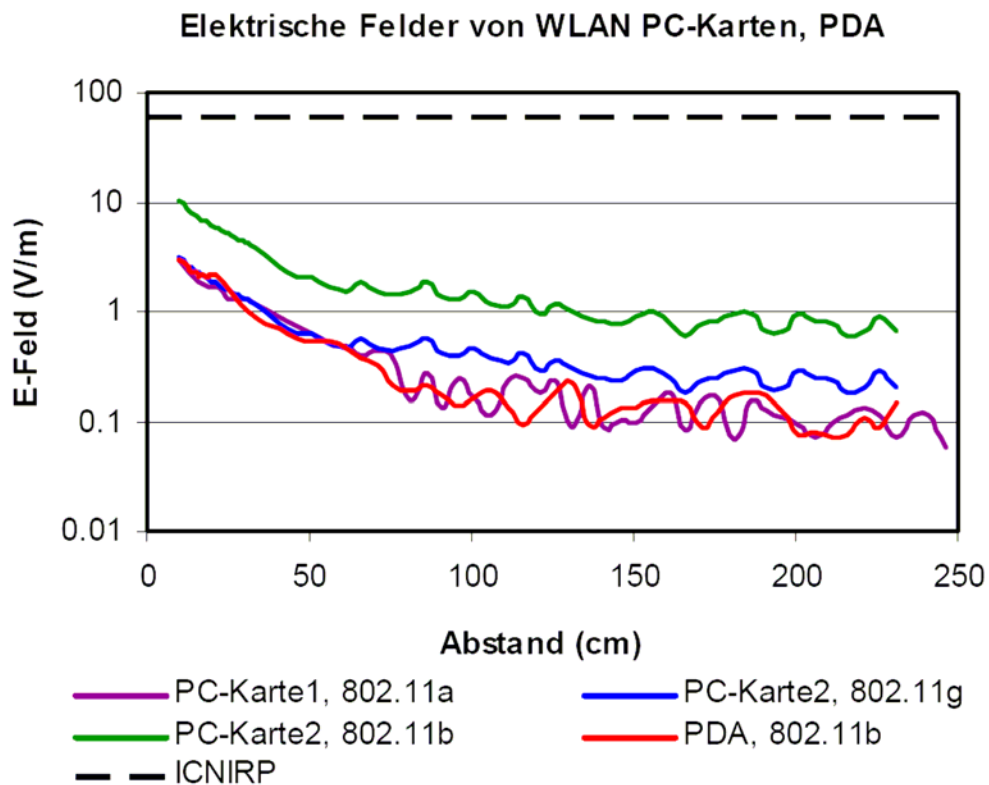


Bild 2.8 Elektrische Feldstärke als Funktion des Abstands für verschiedene WLAN PC-Karten und einen PDA, aus [BAG 07]



Zusätzlich zu den Feldmessungen wurden zur Ermittlung der Exposition von nahe am Körper betriebenen WLAN-Geräten auch Messungen der Spezifischen Absorptionsrate (SAR) durchgeführt. Hierzu wurde das dosimetrische Messsystem DASY 4 der Firma SPEAG (Schweiz) und ein flüssigkeitsgefülltes, elliptisch geformtes Flachphantom, das den Körper des Nutzers repräsentiert, verwendet.

Tabelle 2.1 fasst die dabei ermittelten SAR-Werte der einzelnen Geräte in Abhängigkeit vom verwendeten Standard und der Datenrate zusammen.

<b>IEEE 802.11a</b>		
<b>Gerät</b>	<b>Datenrate [MB/s]</b>	<b>SAR<sub>10g</sub> [W/kg]</b>
AP 1	30	0,54
AP 2	6	0,18
AP 4	7,5	0,1
AP 5	28	0,36
PC-Karte 1	13,3	0,05
PC-Karte 2	13,3	0,07
PC-Karte 3	13,3	0,06
<b>IEEE 802.11b</b>		
<b>Gerät</b>	<b>Datenrate [MB/s]</b>	<b>SAR<sub>10g</sub> [W/kg]</b>
AP 3	6	0,44
AP 2	6	0,73
PC-Karte 4	6,3	0,43
PC-Karte 5	6	0,13
PDA	3,8	0,067
<b>IEEE 802.11g</b>		
<b>Gerät</b>	<b>Datenrate [MB/s]</b>	<b>SAR<sub>10g</sub> [W/kg]</b>
AP 3	26	0,25
AP 2	26	0,27
PC-Karte 4	21,5	0,11
PC-Karte 5	26	0,06

Tabelle 2.1 SAR-Werte von WLAN Access Points (AP), PC-Karten und eines PDA, aus [BAG 07]

Die SAR-Werte liegen alle unterhalb der in Tabelle 1.1 dokumentierten Grenzwerten von 2 W/kg (Kopf und Rumpf) bzw. 4 W/kg (Gliedmaßen). Hierbei ist zu beachten, dass man sich den Access-Points durch ihre Montage vorrangig an Decken und Wände normalerweise nicht bis auf Körperkontakt nähern kann, so dass die SAR-Werte in der Praxis noch geringer ausfallen.

### **2.2.3 Arbeiten der ARC Seibersdorf research GmbH im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms**

Innerhalb des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der Exposition durch WLAN-Einrichtungen an die ARC Seibersdorf research GmbH und das Ingenieurbüro für Telekom-Consult Dr. Reinhard Georg vergeben [SCHM 05, PREI 06]. Im Vergleich zu den beiden eingangs vorgestellten Arbeiten wurden hierbei die Immissionen durch WLAN nicht nur messtechnisch, sondern auch rechentechnisch erfasst. Außerdem wurden die Untersuchungen auch auf Outdoor-Szenarien, wie z.B. WLAN-Versorgungen von öffentlichen Plätzen, ausgeweitet.

Die Berechnungen wurden dabei mit einem auf optischen Ausbreitungsmodellen basierenden, kommerziellen Wellenausbreitungsprogramm durchgeführt, das neben Reflexion und Transmission auch Beugungseffekte berücksichtigt. Für die Messungen wurde ein Spektrumanalysator im Zero-Span Modus und eine isotrope Empfangsantenne verwendet, mit der die Immission in fünf bis sechs verschiedenen Höhen erfasst und anschließend leistungsmäßig gemittelt wurde. Sowohl die Messergebnisse, als auch die Berechnungsergebnisse wurden noch mit Hilfe eines "effektiven duty cycle" (typisch zwischen 10 und 80 %), der typische Netzauslastungen beschreibt, auf den 6-Minuten-Mittelwert skaliert. Um mit den übrigen Betrachtungen des vorliegenden Berichtes konform zu sein, werden nachfolgend jedoch nur die Immissionswerte bei maximaler Auslastung in den folgenden Szenarien vorgestellt:

1. Schwesternstützpunkt in einem Krankenhaus, 1 Access-Point und 1 WLAN-Notebook, 1 Erfassungspunkt direkt am Notebook, Messung (aus [SCHM 05])
2. Büroraum, 1 Access-Point im Nachbarraum und 1 WLAN-Notebook, 1 Erfassungspunkt direkt am Notebook, Messung (aus [SCHM 05])
3. Haushalts-Szenario, 1 Access-Point und 1 WLAN-Computer, 2 Erfassungspunkte am Schreibtisch und im Nachbarzimmer, Simulation (aus [SCHM 05])
4. Callcenter-Szenario, 2 Access-Points und 3 WLAN-Computer, 3 Erfassungspunkte im Raum, Simulation (aus [SCHM 05])
5. Star-Coffee Heidelberg, 1 Access-Point Kniehöhe Theke, 2 WLAN-Notebooks, 6 Erfassungspunkte, ohne Personen, Simulation (aus [PREI 06])
6. Flughafen-Lounge, Szenario 1 mit 2 Access-Points und 3 WLAN-Notebooks mit 2 Erfassungspunkten, Szenario 2 mit 2 Access-Points und 1 WLAN-Notebook mit 5 Erfassungspunkten, ohne Personen, Simulation (aus [PREI 06])
7. Uni Stuttgart, Innenstadt vor der Universitätsbibliothek, 2 Access-Points, kein Endgerät!, 3 Erfassungspunkte, Simulation (aus [PREI 06])
8. Europaplatz Kiel, 1 Access-Point, kein Endgerät!, 5 Erfassungspunkte, Simulation (aus [PREI 06])

9. Schulstraße Kiel, 1 Access-Point, kein Endgerät!, 4 Erfassungspunkte, Simulation (aus [PREI 06])
10. Medusastraße Kiel, 2 Access-Points, kein Endgerät!, 5 Erfassungspunkte, Simulation (aus [PREI 06])
11. Cebit 2006, Halle 26, 10 Access-Points, Anzahl und Position von Endgeräten unklar, 3 Erfassungspunkte, Messung (aus [PREI 06])

Die Szenarien 1 bis 6 stellen typische Innenraum- (Indoor-) Szenarien dar, die Szenarien 7 bis 10 sind als Außenraum- (Outdoor-) Szenarien klassifiziert. Bei den Szenarien 5 bis 10 wurden zusätzlich zu den Simulationen auch Messungen durchgeführt, die allerdings wegen Abweichungen zwischen realem und simuliertem Szenario (Sendeleistungen der Access-Points, "Bewegung" der Notebook-Clients, Unüberschaubarkeit des Szenarios) nur begrenzt mit den Simulationen vergleichbar sind und deswegen in diesem Abschnitt nicht vorgestellt werden.

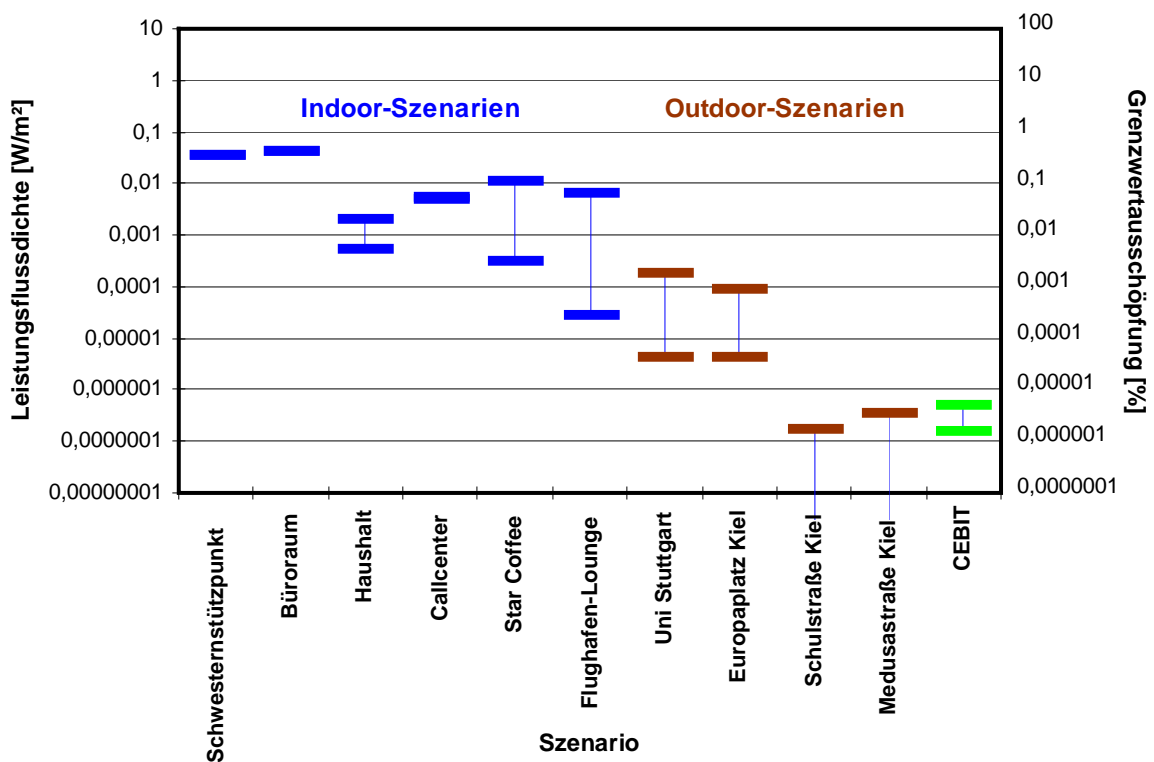


Bild 2.9 Spannbreiten der in den elf Szenarien festgestellten Immissionen, aus [SCHM 05, PREI 06]

Bild 2.9 zeigt die Spannbreiten, d.h. die Bereiche zwischen kleinstem und größtem Immissionswert, für die oben beschriebenen elf Szenarien. In den Szenarien "Schulstraße Kiel" und "Medusastraße Kiel" waren die minimal gemessenen Werte kleiner als der Darstellungsbe- reich des Diagramms, weswegen keine untere Grenze angegeben ist. Für die Szenarien "Schwesternstützpunkt" und "Büroraum" wurde nur jeweils ein Messwert ermittelt.

Die höchsten festgestellten Immissionen liegen bei etwa 0,4 % vom Leistungsflussdichtegrenzwert, der Großteil der Immissionen ist wesentlich niedriger. Bei den Outdoor-Szenarien wurden im Mittel geringere Expositionen festgestellt als bei den Indoor-Szenarien. Grund hierfür ist in erster Linie, dass keine aktiven Endgeräte vorhanden waren, die Immission also lediglich von den Access-Points stammt.

Zusätzlich zu den hier vorgestellten Erfassungen wurde in [SCHM 05] auch noch die SAR von einer WLAN-Notebook-Karte an einem Flachphantom gemessen (effektiver duty cycle 73 %). Es ergaben sich, je nach Lage der Karte zum Phantom, über 10 g Gewebevolumen gemittelte lokale SAR-Werte von 0,034 W/kg und 0,052 W/kg. Unter Annahme des SAR-Grenzwertes von 2 W/kg (Kopf, Rumpf) entspricht dies Grenzwertausschöpfungen von 1,7 % bzw. 2,6 %.

### **2.3 Immissionen in der Umgebung einer flächendeckenden WLAN-Breitbandversorgung**

Die Untersuchungen zur Immission bei flächendeckenden WLAN-Breitbandnetzen wurden auf dem Gebiet der Gemeinde Neukirchen (Landkreis Straubing-Bogen) durchgeführt. Hier betreibt die Firma DegNet GmbH eine Breitbandversorgung (Standard: IEEE 802.11g) mittels dreier WLAN-Access-Points. Diese befinden sich im Südwesten der Gemeinde auf dem Dach eines Lagergebäudes, sowie im Ortszentrum und am nördlichen Ortsrand jeweils auf Dächern von Wohngebäuden (siehe Bild 2.10). Offensichtlich nutzen bereits eine nicht unerhebliche Anzahl von Kunden den funkbasierten Breitbandzugang, denn bei einer Fahrt durch den Ort wurden auf einer Vielzahl von Dächern Teilnehmerantennen gesichtet.

In der Umgebung der drei Antennenstandorte wurden im Freien Immissionsmessungen an insgesamt 15 Punkten durchgeführt (siehe Bild 2.10). Von 14 der 15 Punkte bestand Sichtverbindung zu mindestens einem der drei Access-Points, teilweise herrschte zusätzlich Sichtverbindung zu Teilnehmerantennen. Die Messpunkte waren etwa zwischen 30 und 180 Meter vom nächsten Access-Point entfernt.

Durchgeführt wurden die Messungen am 11. Juli 2007. Ermittelt wurde die Exposition für Maximalauslastung der verursachenden Stationen mittels des gleichen Messverfahrens, wie bereits in Kapitel 2.2.1 bei den dort vorgestellten Indoor-WLAN-Messungen beschrieben. Eine ausführliche Dokumentation der Messergebnisse findet sich in Anlage 2 zu diesem Bericht.



Bild 2.10 Grün: Messpunkte in Neukirchen; Rot: Standorte der WLAN-Antennen

In folgender Tabelle sind zusammenfassend die wesentlichen Ergebnisse der Expositionsmessungen im Ortsgebiet von Neukirchen dokumentiert:

Größter Messwert (Punkt 11)	3,4 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,000034 % vom Grenzwert)
Kleinster Messwert (Punkt 5)	0,01 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000001 % vom Grenzwert)
Durchschnittswert über alle 15 Messpunkte	1,0 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,00001 % vom Grenzwert)
Median aus allen 15 Messwerten	0,63 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000063 % vom Grenzwert)
Mobilfunkimmission am Messpunkt 1	36 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,00076 % vom Grenzwert)

Tabelle 2.2 Ergebnisse der Expositionsmessungen im Bereich einer Gemeinde mit WLAN-Breitbandversorgung

An den Messpunkten ergaben sich Immissionswerte, die bezüglich der Leistungsflussdichte weniger als ein Millionstel des Grenzwertes ausschöpfen (d.h. bezüglich der elektrischen Feldstärke weniger als ein Promille). Damit liegen die Messwerte in Neuenkirchen in der

gleichen Größenordnung, wie sie auch bei den in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Outdoormessungen gefunden wurden. Zu berücksichtigen ist zusätzlich noch die Tatsache, dass es sich hier um die maximal möglichen Immissionswerte bei maximaler Auslastung der Sendeeinheiten handelt. Bei geringem oder nicht vorhandenem Datenverkehr (z.B. nachts) verringert sich die Exposition nochmals deutlich (typisch: Verringerung der Leistungsflussdichte um mindestens etwa den Faktor 100).

Interessant ist hier auch ein Vergleich mit der an Messpunkt 1 repräsentativ gemessenen Mobilfunkimmission. Die dafür verantwortlichen Sendeanlagen befanden sich nicht in der unmittelbaren Umgebung, sondern in weiterer Entfernung (>1 km). Durch die Mobilfunksender wurde eine Exposition generiert, die mehr als den Faktor 10 größer ist, als die Immission, verursacht durch die WLAN-Anlagen.

## 2.5 Zusammenfassung

In Kapitel 2 wurden Untersuchungen zur individuellen Exposition in verschiedenen WLAN-Szenarien vorgestellt. Die Expositionen wurden dabei

- bei Körperkontakt zur WLAN-Einrichtung als SAR-Wert gemessen,
- bei größeren Abständen mit Hilfe von Spektrumanalysatoren als Feldstärken oder Leistungsflussdichten gemessen und
- zusätzlich für einige Szenarien auch simulationstechnisch erfasst.

Erwartungsgemäß sind die Immissionen direkt an der WLAN-Einrichtung (körpernah) am größten (bis 37 % Grenzwertausschöpfung des lokalen 10 g gemittelten SAR-Wertes) und nehmen bei wachsendem Abstand sehr schnell ab: In 5 m Entfernung betragen sie noch maximal 0,005 % des Leistungsflussdichte-Grenzwertes. Aufgrund dieser Entfernungsabhängigkeit kann geschlussfolgert werden, dass bei typischen Aufenthaltsbereichen von Personen in WLAN-Szenarien die Immission primär durch das WLAN-Endgerät, also z.B. das WLAN-fähige Notebook, bestimmt wird und nicht durch den Access-Point, sofern die Access-Points an die Decke oder an Wände montiert sind. Kann man sich jedoch einem Access-Point bis auf wenige Zentimeter annähern, gilt diese Feststellung nur noch eingeschränkt; solche Installationsarten sind aber nicht allgemein üblich.

Durch die starke Immissionsabnahme mit der Entfernung ist auch erklärbar, dass Ortsversorgungen mittels WLAN (Outdoor-Anwendungen) nur vergleichsweise niedrige Immissionsbeiträge liefern, da hier Personen sowohl zur Basisstation als auch zur Teilnehmerantenne (meist Dachmontage) einen relativ großen Abstand einhalten.

Entsprechend niedrig sind daher auch die Ergebnisse der Immissionsmessungen in der Umgebung der flächendeckenden WLAN-Breitbandversorgung in Neukirchen ausgefallen: An den Messpunkten ergaben sich Immissionswerte, die bezüglich der Leistungsflussdichte weniger als ein Millionstel des Grenzwertes ausschöpfen (d.h. bezüglich der elektrischen Feldstärke weniger als ein Promille).

Es ist ferner zu beachten, dass sowohl die Basisstationen (Access-Points), als auch die Endgeräte eine von der augenblicklichen Auslastung abhängige Exposition erzeugen. So ist beispielsweise die Exposition durch einen Access-Point ohne Datenverkehr leistungsbezogen typisch mindestens um den Faktor 100 geringer, als bei maximaler Auslastung.

### 3 Expositionsuntersuchungen in Orten mit WiMAX-Versorgung

#### 3.1 Kurzvorstellung der WiMAX-Technologie

Für den funkbasierten Breitbandzugang wird insbesondere der WiMAX-Technologie großes Zukunftspotential zugeschrieben (WiMAX = Worldwide Interoperability für Microwave Access). Im Unterschied zum WLAN-Standard IEEE 802.11 handelt es sich beim WiMAX-Standard IEEE 802.16 um einen Standard, der von Beginn an darauf ausgelegt wurde, einen Breitbandzugang für typische Last-Mile-Anwendungen bieten zu können. Dies bedingt einerseits eine entsprechende Performance in Bezug auf Datendurchsatz und Reichweite, andererseits auch ein Angebot an unterschiedlichen Diensten mit garantierter Dienstgüte. Damit entsteht eine Alternative zu traditionellen DSL-, Kabel- oder Mietleitungen, insbesondere in Regionen, die bisher nur über wenig kabelgebundene Breitbandangebote verfügen. Der ortsfeste Breitbandzugang (BWA = Broadband Wireless Access) wird derzeit in folgende Szenarien unterteilt:

- "Fixed Wireless Access", bei der die Teilnehmerstation über eine fest installierte Außenantenne Kontakt zur Basisstation aufnimmt. Die Inhouse-Verteilung der Signale erfolgt von der Teilnehmerstation aus, entweder über ein drahtgebundenes Netzwerk oder WLAN (802.11). Ähnlich wie man dies von DSL/WLAN-Routern her kennt, sind dafür Kombigeräte mit 802.16 und 802.11 vorgesehen.
- "Nomadischer BWA", bei dem die Teilnehmerstation nicht mehr über eine separate Außenantenne, sondern eine integrierte Antenne verfügt. Denkbar sind hier beispielsweise PCMCIA-Karten für Notebook-Computer, mit denen es möglich wird, an verschiedenen Punkten innerhalb des Versorgungsbereichs einer Basisstation die Verbindung aufzubauen. Allerdings ist, im Vergleich zum Fixed Access, mit einer verminderten Reichweite insbesondere innerhalb von Gebäuden zu rechnen.

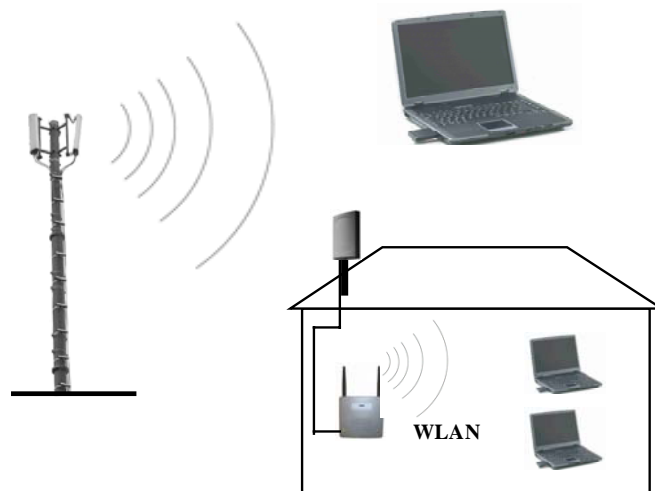


Bild 3.1 Ortsfester (unten) bzw. nomadischer (oben) Last-Mile-Breitbandzugang



- Mit der Standarderweiterung IEEE 802.16e-2005 wird der Übergang vom ortsfesten oder nomadischen BWA hin zum Breitbandzugang für mobile Endgeräte vollzogen. Damit wird auch für Teilnehmer, die sich mit (moderater) Geschwindigkeit bewegen, eine kontinuierliche Netzwerkverbindung ermöglicht. Voraussetzung dafür ist natürlich eine entsprechende Netzabdeckung, wie sie von heutigen GSM- oder UMTS-Mobilfunksystemen her bekannt ist.

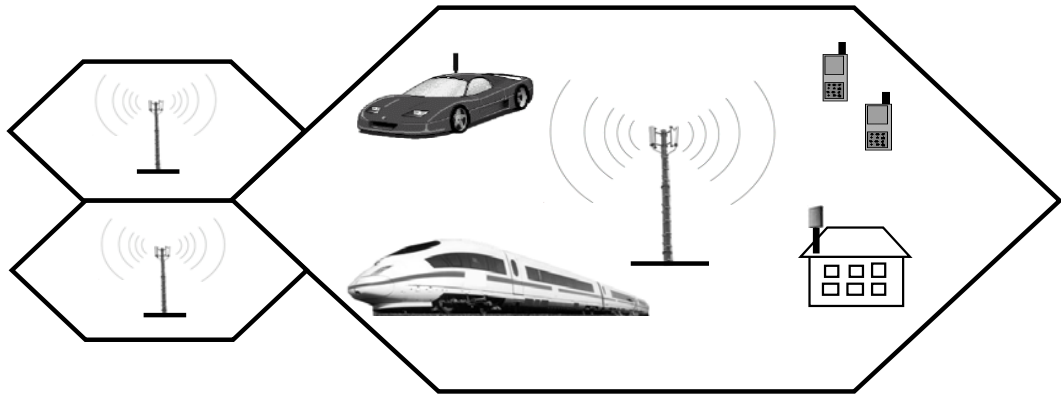


Bild 3.2 Mobiler Last-Mile-Breitbandzugang

Die derzeit betriebenen WiMAX-Systeme im lizenzfreien Frequenzbereich unterstützen im Regelfall nur den ortsfesten Zugriff. Für die im Aufbau befindlichen WiMAX-Netze im lizenzierten Frequenzbereich ist hingegen auch die Möglichkeit eines nomadischen bzw. mobilen Zugriffs vorgesehen.

Neben diesen, insbesondere für die flächendeckende Breitbandversorgung interessanten Alternativen, standardisierte IEEE 802.16 zusätzlich klassische Richtfunkanwendungen mit direkter Sichtverbindung zwischen genau einer Basisstation und einer Teilnehmerstation, wobei hier besonders hohe Datenraten und große Reichweiten erzielbar sind. Derartige Verbindungen zwischen dem Access-Netzwerk und der dazugehörigen Backbone-Infrastruktur werden "Backhaul-Verbindungen" genannt. Anwendung finden diese Richtfunkverbindungen (in Deutschland meist im Frequenzbereich zwischen 23 und 38 GHz) beispielsweise bei der Anbindung von klassischen GSM- oder UMTS-Basisstationen, WLAN-Hotspots oder natürlich auch WiMAX-Basisstationen. Zusätzlich sind auch breitbandige Richtfunkverbindungen für Einzelkunden z.B. im Rahmen einer Vernetzung von einzelnen Firmenstandorten denkbar.

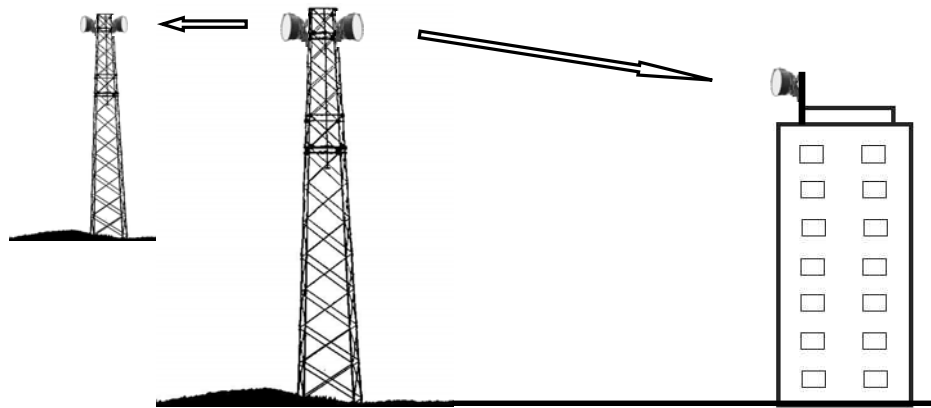


Bild 3.3 IEEE 802-16 für Punkt-zu-Punkt-Richtfunkanwendungen

Auf Details der WiMAX-Technologie soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da dies den Rahmen des Projektes sprengen würde. Sehr eingehende Informationen über WiMAX findet man beispielsweise in [MAU 07].

## 3.2 Immissionen in der Umgebung von flächendeckenden WiMAX-Breitbandversorgungen

Die Untersuchungen zur Immission bei flächendeckenden WiMAX-Breitbandnetzen wurden in den Gemeinden Bodenkirchen, Bonbruck (beide Landkreis Landshut) und Steinberg am See (Landkreis Schwandorf) durchgeführt. In allen drei Orten betreibt die Firma MVOX AG funkgestützte WiMAX-Breitbandversorgungen (Standard: IEEE 802.16-2004) im lizenzfreien Frequenzbereich (5,5 - 5,7 GHz). Die Anlagen arbeiten mit einer maximalen isotropen Strahlungsleistung von 1 Watt. Als maximale Datenrate gibt der Betreiber 28 Mbit/s an, bei einer Signalbandbreite von 20 MHz.

Durchgeführt wurden die Messungen am 12. Juli 2007. Ermittelt wurde die Exposition für Maximalauslastung der verursachenden Anlage mittels des gleichen Messverfahrens, wie bereits in Kapitel 2.2.1 bei den dort vorgestellten Indoor-WLAN-Messungen beschrieben. Eine ausführliche Dokumentation der Messergebnisse findet sich in Anlage 2 zu diesem Bericht.

### 3.2.1 Messungen in Bodenkirchen

In Bodenkirchen wurden die Messungen in der Umgebung von zwei sehr unterschiedlichen Senderstandorten vorgenommen. Eine der beiden vorhandenen WiMAX-Anlagen ist auf einem Wasserturm im Außenbereich montiert (Ortsteil Wagmannsberg). Zusätzlich existieren an diesem Standort auch Antennen eines Mobilfunkbetreibers (E-Plus).

In der Umfeld des Standortes befinden sich nur einige Einzelhöfe, an denen die Immissionen festgestellt wurden (Vier Messpunkte im Abstand von 210 - 1100 Meter zum Turm). Zusätzlich eignet sich die Umgebung des Standortes sehr gut für eine "Linienmessung": Auf einer

sich radial vom Wasserturm entfernenden Linie wurden in regelmäßigen Abständen 14 Messwerte aufgenommen (Abstand zum Turm: 70 - 265 Meter, L1 bis L14), um einen Eindruck über das Entferungsverhalten der Immission bei nahezu ungestörter Wellenausbreitung (keine Sichthindernisse) zu bekommen. Die Lage des Antennenstandortes und der Messpunkte ist in folgendem Bild dargestellt:

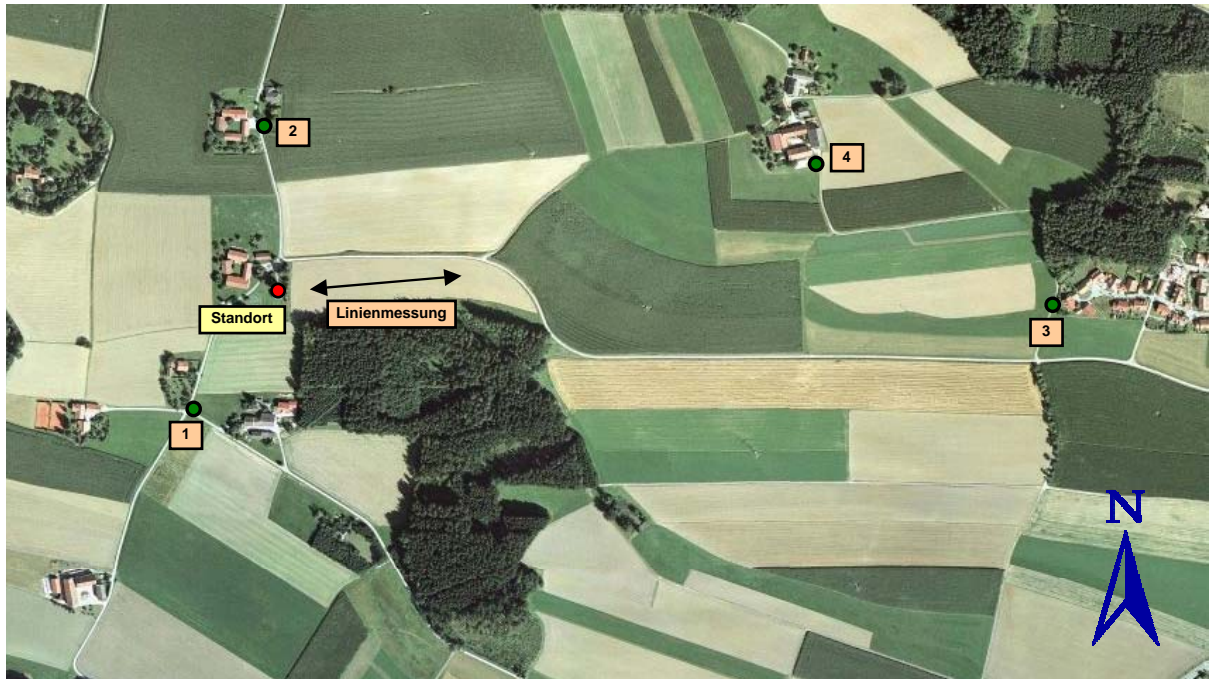


Bild 3.4 WiMAX-Standort "Wasserturm Wagmannsberg" mit Messpunkten



Bild 3.5 WiMAX-Standort "Wasserturm Wagmannsberg" von Messpunkt 1 aus gesehen (links); Detailansicht der Antennen (rechts)

Von allen Punkten bestand Sichtverbindung zum Wasserturm.

In folgender Tabelle sind zusammenfassend die wesentlichen Ergebnisse der Expositionsmessungen in der Umgebung des Wasserturms Wagmannsberg dokumentiert:

Größter Messwert (Punkt L9)	1,27 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000127 % vom Grenzwert)
Kleinster Messwert (Punkt L2)	0,04 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000004 % vom Grenzwert)
Durchschnittswert über alle 18 Messpunkte	0,50 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,000005 % vom Grenzwert)
Median aus allen 18 Messwerten	0,42 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000042 % vom Grenzwert)
Größte Mobilfunkimmission (Messpunkt L14)	1474,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,016 % vom Grenzwert)

Tabelle 3.1 Ergebnisse der WiMAX-Expositionsmessungen in der Umgebung des Wasserturms Wagmannsberg (Bodenkirchen)

Die Ergebnisse der im Bereich des Wasserturms durchgeführten "Linienmessung" sind in folgender Grafik visualisiert. Sie zeigen die typische Immissionsverteilung in der Umgebung hoch montierter Mobilfunkantennen. Die größten Immissionen in Bodennähe treten, aufgrund der vertikalen Abstrahlcharakteristik der Antennen, nicht in unmittelbarer Nähe des Standortes, sondern ist etwas größerer Entfernung von den Antennen auf.

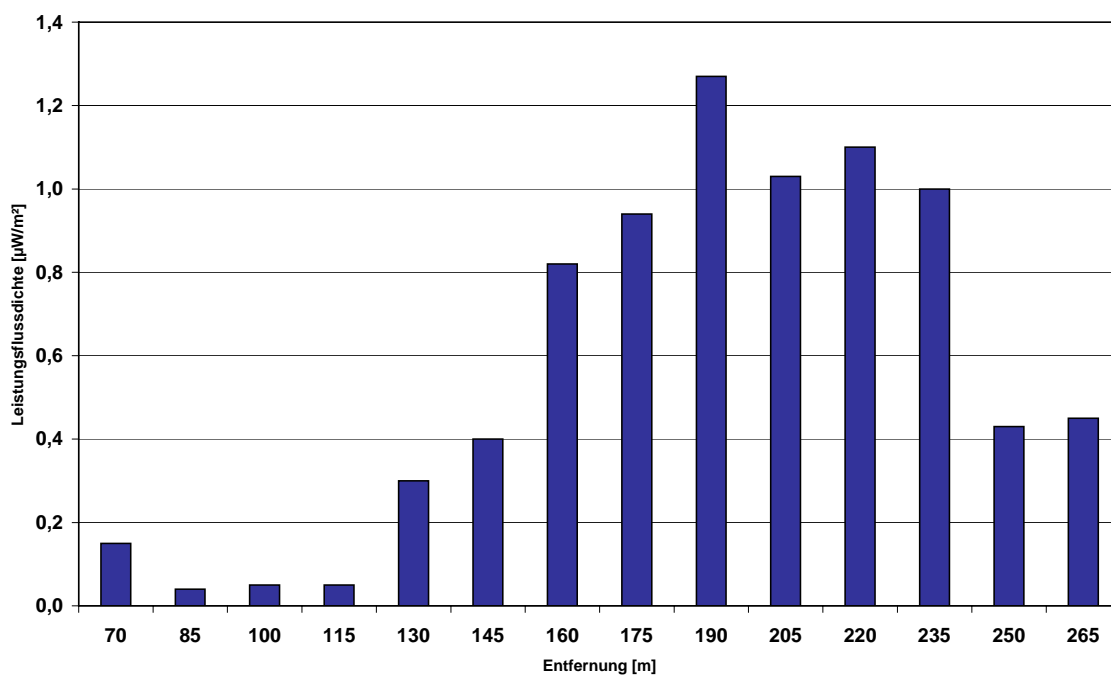


Bild 3.6 WiMAX-Standort "Bodenkirchen-Binastraße" mit Messpunkten

Die zweite WiMAX-Anlage ist auf dem Dach eines Wohngebäudes in Bodenkirchen (Binastraße 16) installiert. Die Lage des Antennenstandortes und der Messpunkte ist in folgendem Bild dargestellt. In der näheren Umgebung der Messpunkte befanden sich auch zwei Mobilfunksendeanlagen der Firmen T-Mobile bzw. Vodafone (siehe Bild 3.7).



Bild 3.7 WiMAX-Standort "Bodenkirchen-Binastraße" mit Messpunkten



Bild 3.8 WiMAX-Standort "Bodenkirchen-Binastraße" von Messpunkt 9 aus gesehen (links); Detailansicht der Antennen (rechts)

In der Umgebung dieses Standortes wurden sechs Messpunkte gewählt, die zwischen 30 und 420 Meter von den Antennen entfernt sind. Von allen Punkten bestand Sichtverbindung zum Antennenstandort.

In folgender Tabelle sind zusammenfassend die wesentlichen Ergebnisse der Expositionsmessungen in der Umgebung des Standortes "Bodenkirchen-Binastraße" dokumentiert:

Größter Messwert (Punkt 9)	0,40 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,000004 % vom Grenzwert)
Kleinster Messwert (Punkt 7)	0,04 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000004 % vom Grenzwert)
Durchschnittswert über alle 6 Messpunkte	0,13 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000013 % vom Grenzwert)
Median aus allen 6 Messwerten	0,07 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000007 % vom Grenzwert)
Mobilfunkimmission (Messpunkt 8)	617,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,013 % vom Grenzwert)

Tabelle 3.2 Ergebnisse der WiMAX-Expositionsmessungen in der Umgebung des Standortes "Bodenkirchen-Binastraße"

### 3.2.2 Messungen in Bonbruck

In Bonbruck ist die Sendeanlage des Firma MVOX AG zentral am Kamin eines Gewerbebetriebes installiert (Ebenhauser Str. 14). In der direkten Umgebung des Standortes befinden sich viele Wohnhäuser. Der Höhenunterschied zwischen dem Montageort der Antennen und der Umgebung ist verhältnismäßig gering. Die Lage des Antennenstandortes und der Messpunkte ist in Bild 3.9 dargestellt.

In der Umgebung dieses Standortes wurden zwölf Messpunkte gewählt, die zwischen 45 und 370 Meter von den Antennen entfernt sind. Mit Ausnahme der Punkte 4, 8 und 12 bestand Sichtverbindung zum Antennenstandort. Die nächstgelegene Mobilfunkanlage war mehr als ein Kilometer von den Messpunkten entfernt.



Bild 3.9 WiMAX-Standort "Bonbruck" mit Messpunkten



Bild 3.10 WiMAX-Standort "Bonbruck" von Messpunkt 1 aus gesehen (links); Detailansicht der Antennen (rechts)

In folgender Tabelle sind zusammenfassend die wesentlichen Ergebnisse der Expositionsmessungen in der Umgebung des Standortes "Bonbruck-Ebenhauser Str." dokumentiert:

Größter Messwert (Punkt 2)	9,81 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,000098 % vom Grenzwert)
Kleinster Messwert (Punkt 4)	0,02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000002 % vom Grenzwert)
Durchschnittswert über alle 12 Messpunkte	1,94 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,000019 % vom Grenzwert)
Median aus allen 12 Messwerten	0,64 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000064 % vom Grenzwert)
Mobilfunkimmission (Messpunkt 10)	43,6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,00072 % vom Grenzwert)

Tabelle 3.3 Ergebnisse der WiMAX-Expositionsmessungen in der Umgebung des Standortes "Bonbruck"

Die Messungen an den Punkten 3 und 4 bzw. 7 und 8 fanden nahezu am selben Ort statt (Abstand ca. 1 Meter). Jedoch besteht jeweils von einem der beiden Punkte (Punkt 3 bzw. 7) Sichtverbindung zum Antennenstandort, vom anderen Punkt (Punkt 4 bzw. 8) hingegen nicht. Ein Vergleich der Ergebnispaaere gibt Aufschluss über die Dämpfung der Funksignale durch die vorhandenen Hindernisse (Gebäudeecke). Es ergaben sich Unterschiedsfaktoren von 2,7 bzw. 5. Dies bedeutet: Allein durch Veränderung des Messpunktes um einen Meter in einen Bereich ohne Sichtverbindung, reduziert sich die Exposition (Leistungsflussdichte) hier um etwa den Faktor 3 bis 5.

### 3.2.2 Messungen in Steinberg am See

In Steinberg am See ist die Sendeanlage der Firma MVOX AG zentral auf dem Dach eines Hotels installiert (Nittenauer Str. 14). Etwa 120 Meter nördlich davon befindet sich auf dem Dach des Rathauses eine GSM-Mobilfunksendeanlage der Firma E-Plus. Somit bietet sich an diesem Ort eine vergleichende Messung der WiMAX- und der GSM-Immissionen an.

Die Lage der beiden Antennenstandorte und der Messpunkte ist in Bild 3.11 dargestellt.

In der Umgebung der beiden Standorte wurden acht Messpunkte gewählt, die zwischen 65 und 185 Meter von den WiMAX-Antennen entfernt sind. Mit Ausnahme von Punkt 5 bestand Sichtverbindung zum WiMAX-Antennenstandort. Der GSM-Antennenstandort war von vier der acht Messpunkte aus sichtbar.





Bild 3.11 WiMAX-Standort "Steinberg am See" mit Messpunkten



Bild 3.12 WiMAX-Standort "Steinberg am See" von Messpunkt 3 aus gesehen (links); Mobilfunkantennen von Messpunkt 8 aus gesehen (rechts)

In folgender Tabelle sind zusammenfassend die wesentlichen Ergebnisse der WiMAX-Expositionsmessungen in der Umgebung des Standortes "Steinberg am See" dokumentiert:

Größter Messwert (Punkt 1)	0,94 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000094 % vom Grenzwert)
Kleinster Messwert (Punkt 5)	0,02 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000002 % vom Grenzwert)
Durchschnittswert über alle 8 Messpunkte	0,44 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000044 % vom Grenzwert)
Median aus allen 8 Messwerten	0,39 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,0000039 % vom Grenzwert)

Tabelle 3.4 Ergebnisse der WiMAX-Expositionsmessungen in der Umgebung des Standortes "Steinberg am See"

Die nächste Tabelle zeigt zum Vergleich die gemessenen GSM-Immissionen für die gleichen Messpunkte:

Größter Messwert (Punkt 1)	2717,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,058 % vom Grenzwert)
Kleinster Messwert (Punkt 6)	423,9 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,009 % vom Grenzwert)
Durchschnittswert über alle 8 Messpunkte	1059,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,016 % vom Grenzwert)
Median aus allen 8 Messwerten	631,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,006 % vom Grenzwert)

Tabelle 3.5 Ergebnisse der GSM-Expositionsmessungen in der Umgebung des Standortes "Steinberg am See"

Vergleicht man die Immissionen der WiMAX- und der GSM-Mobilfunkanlage, so zeigt sich ein sehr deutlicher Unterschied in der Größe der Expositionswerte: Nimmt man die Mittelwerte aus beiden Messreihen, so ist die GSM-Exposition um etwa den Faktor 2400 (d.h. zirka 34 dB) größer als die Felder, verursacht durch die WiMAX-Antennen. Für den Vergleich wurde bei beiden Anlagen die Maximalimmission herangezogen. Würde man den Minimalimmissionswerte vergleichen, so würde der Unterschied noch deutlicher sein, da bei GSM-Anlagen die minimale Immission nicht so deutlich niedriger ausfällt, wie es bei WiMAX der Fall ist (Bei der in Steinberg vorliegenden Konfiguration der GSM-Anlage, ist die Minimalimmission leistungsmäßig nur um den Faktor 2 geringer als die Maximalimmission, während der Unterschied bei den WiMAX-Systemen vom MVOX einen Faktor 53 ausmacht).

Folgendes Bild stellt den Immissionsvergleich GSM - WiMAX nochmals grafisch dar.

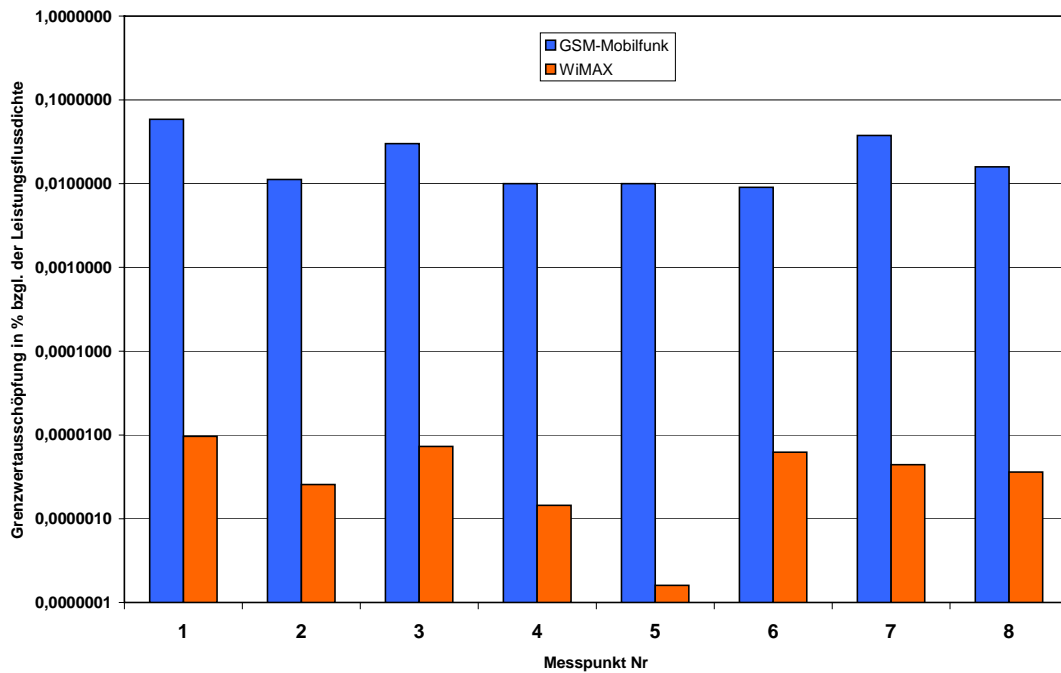


Bild 3.13 Immissionsvergleich GSM-Mobilfunk und WiMAX für die Messpunkte in Steinberg am See (leistungsflussdichtebezogene Grenzwertausschöpfung in Prozent)

Bild 13 zeigt deutlich, dass sich die GSM-Immissionen an den Punkten im Bereich zwischen etwa 0,01 und 0,1 Prozent vom Grenzwert bewegen, während die WiMAX-Immissionen an allen Punkten mindestens um den Faktor 1000 geringer ausfallen.

Die Messungen an den Punkten 4 und 5 fanden nahezu am selben Ort statt (Abstand ca. 1 Meter). Jedoch besteht von Punkt 4 Sichtverbindung zum WiMAX-Antennenstandort, vom Punkt 5 hingegen nicht. Ein Vergleich dieses Ergebnispaares gibt wiederum Aufschluss über die Dämpfung der Funksignale durch das vorhandene Hindernis (Gebäudeecke). Es ergibt sich hierbei ein Unterschiedsfaktor von ca. 9 bezüglich der Leistungsflussdichte.

### 3.3 Zusammenfassung

Die Untersuchungen zur Immission bei flächendeckenden WiMAX-Breitbandnetzen wurden an Standorten von Anlagen im lizenzfreien Frequenzbereich (5,5 - 5,7 GHz) der Firma MVOX AG durchgeführt, da derzeit Anlagen im lizenzierten Frequenzbereich (3,4 - 3,6 GHz) noch nicht verfügbar sind. Insgesamt wurden in der Umgebung von vier Anlagenstandorten Messungen durchgeführt. Drei der vier Standorte befanden sich innerhalb von Ortschaften im Bereich der Wohnbebauung. Ein Standort befand sich im Außenbereich. Die Spannweite der gefundenen Immissionswerte ist für die vier Standorte in folgender Grafik vergleichend gegenübergestellt:

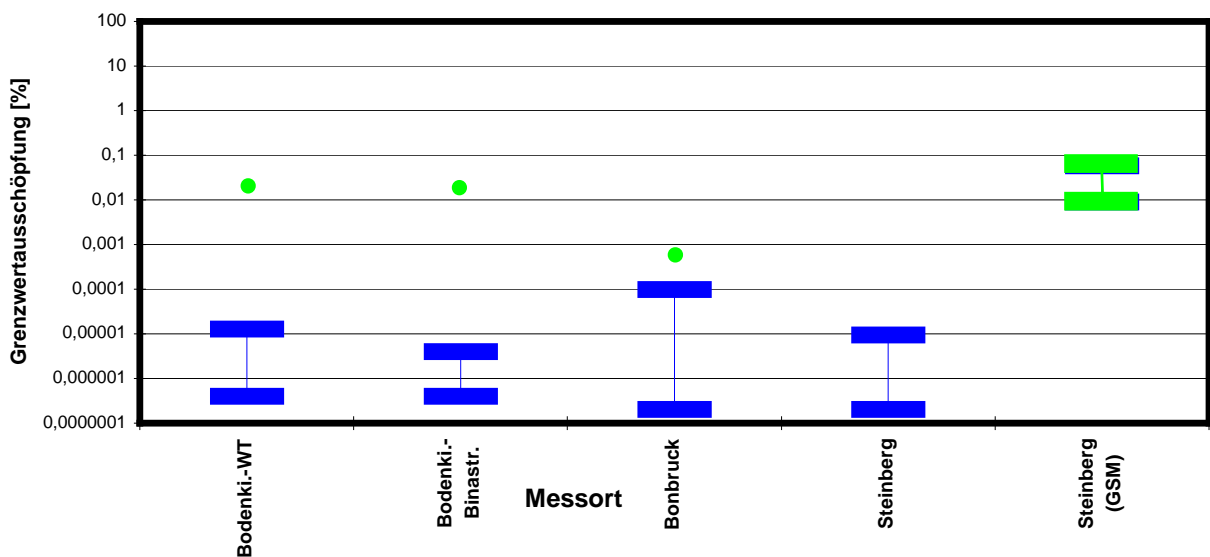


Bild 3.14 Spannweite der an den vier Standorten gemessenen WiMAX-Immissionen (blau) als leistungsbezogene Grenzwertausschöpfung. Die grünen Punkte markieren die zum Vergleich festgestellten GSM-Mobilfunkimmissionen. In Steinberg wurden an allen Punkten die GSM-Immissionen mit erfasst, daher ist hier die gesamte Spannweite der GSM-Immission angegeben.

Ein Blick auf Bild 3.14 lässt folgende Schlüsse zu:

- Die untersuchten WiMAX-Systeme erzeugen bei Maximalauslastung Immissionen von typisch weniger als einem Millionstel vom Grenzwert (leistungsbezogen).
- Die größten Immissionen treten in Abständen bis zu etwa 300 Meter von den Antennenstandorten auf.
- Je nach Eigenschaft des Messpunktes (z.B. Entfernung zum Standort, Sichtverbindung) schwanken die Immissionen typisch um zwei bis drei Größenordnungen.

- Bei hoch montierten Antennen treten die größten Immissionen in Bodennähe nicht in unmittelbarer Nähe zum Antennenstandort auf, sondern, je nach Montagehöhe der Antennen, in etwas größerer Entfernung (typisch: 100 bis 300 Meter).
- Die an den Standorten zum Vergleich durchgeführten Messungen der vorhandenen GSM-Immissionen zeigen, dass diese bei allen betrachteten Standorten sehr deutlich über den WiMAX-Feldern liegen. Die GSM-Immissionen fallen im Vergleich typisch etwa zehn- bis tausendfach höher aus.
- Fragt man, warum die WiMAX-Immissionen im Vergleich zum Mobilfunk deutlich geringer ausfallen, so kann man folgende Gründe dafür anführen: Die Versorgungsradien von GSM-Anlagen im ländlichen Bereich sind deutlich größer, als die der WiMAX-Systeme. Weiterhin müssen bei GSM auch mobile Nutzer (Kfz) sowie Mobiltelefone innerhalb von Gebäuden zufrieden stellend versorgt werden, während die hier eingesetzte WiMAX-Technologie für stationäre Nutzer mit gerichteter Außenantenne ausgelegt sind. Schließlich soll auch nicht unerwähnt bleiben, dass WiMAX ein deutlich moderneres Übertragungsverfahren als GSM verwendet, und daher die Effizienz durch modernere Modulations- und Codierverfahren gegenüber GSM signifikant besser ausfällt. All diese Gründe machen es notwendig, dass GSM-Anlagen deutlich höhere Sendeleistungen (typisch > 100 Watt isotrope Strahlungsleistung) abgeben müssen als WiMAX-Systeme (Maximal 1 Watt isotrope Strahlungsleistung).

## 4 Vergleich der Immissionen von WLAN und WiMAX mit anderen Funkdiensten

Die durch WLAN und WiMAX verursachten Immissionen sollen nun zu den Immissionen anderer Funkdienste in Beziehung gesetzt werden. Berücksichtigt werden hierbei Quellen, die der Erfahrung nach in Wohn- oder Büroumgebungen relevante Immissionsbeiträge liefern. Aufgrund zahlreicher abgeschlossener Projekte aus dem Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm [DMF 07] liegt mittlerweile eine ausführliche Datenbasis über maximale bzw. typische Immissionen vor. Die im folgenden dargestellten Daten stammen aus folgenden Quellen:

1. Mobilfunk-Basisstationen: DMF-Projekt "Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen", IMST GmbH und EM-Institut GmbH. Die Immissionen sind nach 26. BImSchV räumlich maximiert und auf maximale Anlagenauslastung extrapoliert.
2. Mobiltelefone (SAR): Markterhebung über 115 aktuelle Mobiltelefone, SAR-Werte bei maximaler Sendeleistung.
3. TV: DMF-Projekt "Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern", Analog-TV und DVB-T, IMST GmbH und EM-Institut GmbH
4. UKW+DAB-Radio: siehe 3.
5. LMK-Radio: Studie für die Landesanstalt für Umweltschutz Karlsruhe, [BOCH 03]
6. WLAN indoor: Alle Szenarien aus Abschnitt 2.2.1 sowie Szenarien 1-6 und 11 aus Abschnitt 2.2.3; SAR-Werte aus Abschnitt 2.2.2 des vorliegenden Berichtes (Grenzwert 2 W/kg)
7. WLAN outdoor: Szenarien 7-10 aus Abschnitt 2.2.3 sowie alle Messpunkte aus Abschnitt 2.3 des vorliegenden Berichtes
8. WiMAX outdoor: Alle Messpunkte aus Abschnitt 3.2 des vorliegenden Berichtes
9. DECT: DMF-Projekt "Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro" [SCHM 05], ARC Seibersdorf research GmbH

Bild 2.11 fasst die Ergebnisse in einem Spannweitendiagramm zusammen. Für jeden Funkdienst ist zusätzlich der Medianwert über die Expositionswerte angegeben. Obwohl der Hintergrund der Expositionserfassung in den verschiedenen zitierten Studien nicht immer identisch ist (z.B. sind nicht in jeder Studie die Messpunkte statistisch verteilt), gibt die Übersicht jedoch einen guten Eindruck über die Relevanz der unterschiedlichen Expositionsquellen im allgemeinen und die Eingruppierung der WLAN-Einrichtungen im besonderen.

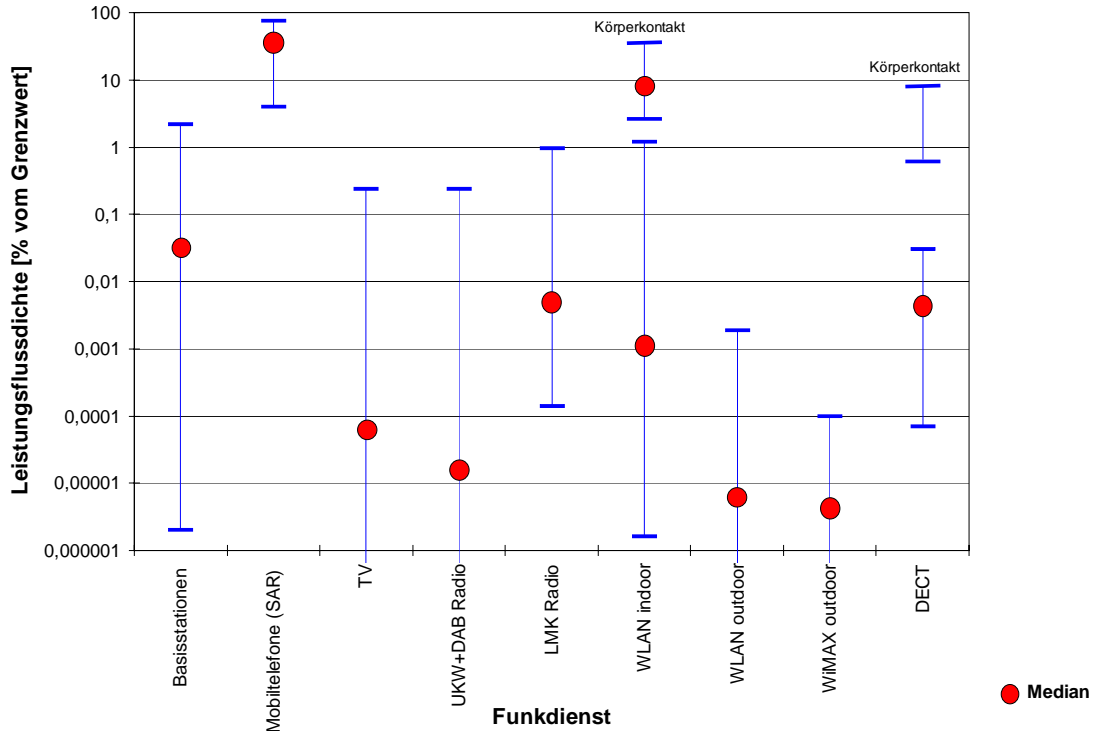


Bild 4.1 Qualitativer Vergleich der Expositionsbeiträge unterschiedlicher Funkdienste zur Exposition der Allgemeinbevölkerung

Aus Bild 4.1 lassen sich mehrere Schlussfolgerungen ziehen:

- Hauptquellen der individuellen Exposition sind offensichtlich Quellen, die körpernah oder mit Körperkontakt betrieben werden, wie z.B. Mobiltelefone, DECT-Telefone oder WLAN-Notebook-Karten.
- Einige WLAN-Einrichtungen können einen relevanten Beitrag zur individuellen Exposition beitragen: Die Exposition durch körpernah betriebene Einsteckkarten/Notebooks oder Access-Points kann bis zu 37 % des relevanten lokalen SAR-Grenzwertes betragen. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die höchsten SAR-Werte für Access-Points ermittelt wurden, hier aber durch Decken- oder Wandmontage ein unmittelbarer Körperkontakt nicht die Regel ist.
- Die Exposition durch körperfern in Räumen ("WLAN indoor") betriebene WLAN-Geräte (an Decke oder Wand befestigte Access-Points oder benachbarte WLAN-Endgeräte), liegt bezüglich des Zentralwerts (Median) im Bereich von 0,001 % leistungsbezogener Grenzwertausschöpfung bei maximaler Anlagenauslastung.
- Die Exposition durch flächenversorgende WLAN- bzw. WiMAX-Anwendungen ("WLAN outdoor" und "WiMAX outdoor") schöpft bezüglich der Leistungsflussdichte im Mittel typischerweise weniger als ein Millionstel des Grenzwertes aus.
- Vergleicht man die Medianwerte der WLAN- bzw. WiMAX-Flächenversorgungen mit denen von Mobilfunkbasisstationen, stellt man fest, dass durch die Mobilfunkanlagen im Mittel typischerweise um den Faktor 1000 höhere Immissionen erzeugt werden, als durch die Breitbandversorgungen.

- Auch die Tonrundfunk- und TV-Flächenversorgung erzeugt im Mittel noch etwas höhere Immissionen, als die untersuchten WLAN- und WiMAX-Sendeanlagen.

## 5 Zusammenfassende Bewertung

In diesem Bericht ist der erste Teil der Untersuchungen zu Hochfrequenzimmissionen von funkbasierten Breitbanddiensten dokumentiert. Ziel des Projektes ist es, die Immissionen, die durch Sendeanlagen für funkgestützte Internetanbindung insbesondere im ländlichen Bereich generiert werden, näher zu quantifizieren. Damit soll eine objektive Einschätzung der Immissionspotenzials derartiger Sendeanlagen ermöglicht werden. Es wurden im Detail folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Auswertung aktueller Untersuchungen zur individuellen Exposition in verschiedenen WLAN-Szenarien (Literaturrecherche).
- Messung der Exposition, verursacht durch eine flächendeckende WLAN-Breitbandversorgung (Frequenzbereich: 2,4 GHz) in einer niederbayerischen Gemeinde.
- Messung der Exposition, verursacht durch flächendeckende WiMAX-Systeme (lizenzfreier Frequenzbereich: 5,6 GHz) in der Umgebung von vier verschiedenen Anlagenstandorten.
- Vergleich der WLAN- und WiMAX-Exposition mit den Immissionen, verursacht durch GSM-Mobilfunkanlagen und andere Funkdienste.

Dabei ergaben sich die folgenden wesentlichen Ergebnisse:

- Die untersuchten Breitbandsysteme erzeugen bei Maximalauslastung an den 59 untersuchten Messpunkten Leistungsflussdichtewerte von typisch weniger als einem Millionstel vom Grenzwert.
- Je nach Eigenschaft des Messpunktes (z.B. Entfernung zum Standort, Sichtverbindung), schwanken die Immissionen typisch um bis zu drei Größenordnungen.
- Bei hoch montierten Antennen treten die größten Immissionen in Bodennähe nicht in unmittelbarer Nähe zum Antennenstandort auf, sondern, je nach Montagehöhe der Antennen, in etwas größerer Entfernung (typisch: 100 bis 300 Meter).
- Die an den Standorten zum Vergleich durchgeführten Messungen der vorhandenen GSM-Immissionen zeigen, dass diese bei allen betrachteten Standorten sehr deutlich über den WLAN- bzw. WiMAX-Feldern liegen. Die GSM-Immissionen fallen im Vergleich typisch etwa zehn- bis tausendfach höher aus.

Fragt man, warum die Breitbandimmissionen im Vergleich zum Mobilfunk deutlich geringer ausfallen, so kann man folgende Gründe dafür anführen: Die Versorgungsradien von GSM-Anlagen im ländlichen Bereich sind deutlich größer, als die der Breitbandsysteme. Weiterhin



müssen bei GSM auch mobile Nutzer (Kfz) sowie Mobiltelefone innerhalb von Gebäuden zufrieden stellend versorgt werden, während die hier eingesetzten Breitbandtechnologien für stationäre Nutzer mit gerichteter Außenantenne ausgelegt sind. Schließlich soll auch nicht unerwähnt bleiben, dass WLAN bzw. WiMAX deutlich modernere Übertragungsverfahren als GSM verwenden, und daher ihre Effizienz durch modernere Modulations- und Codierverfahren gegenüber GSM signifikant besser ausfällt. All diese Gründe machen es notwendig, dass GSM-Anlagen deutlich höhere Sendeleistungen (typisch > 100 Watt isotrope Strahlungsleistung) abgeben müssen als WLAN- bzw. WiMAX-Systeme (Maximal 0,1 Watt bei WLAN bzw. 1 Watt isotrope Strahlungsleistung bei WiMAX).

Abschließend sind in folgender Grafik die Immissionen der untersuchten Breitbandsysteme (WLAN / WiMAX) im Vergleich zu anderen Funkdiensten vergleichend gegenübergestellt:

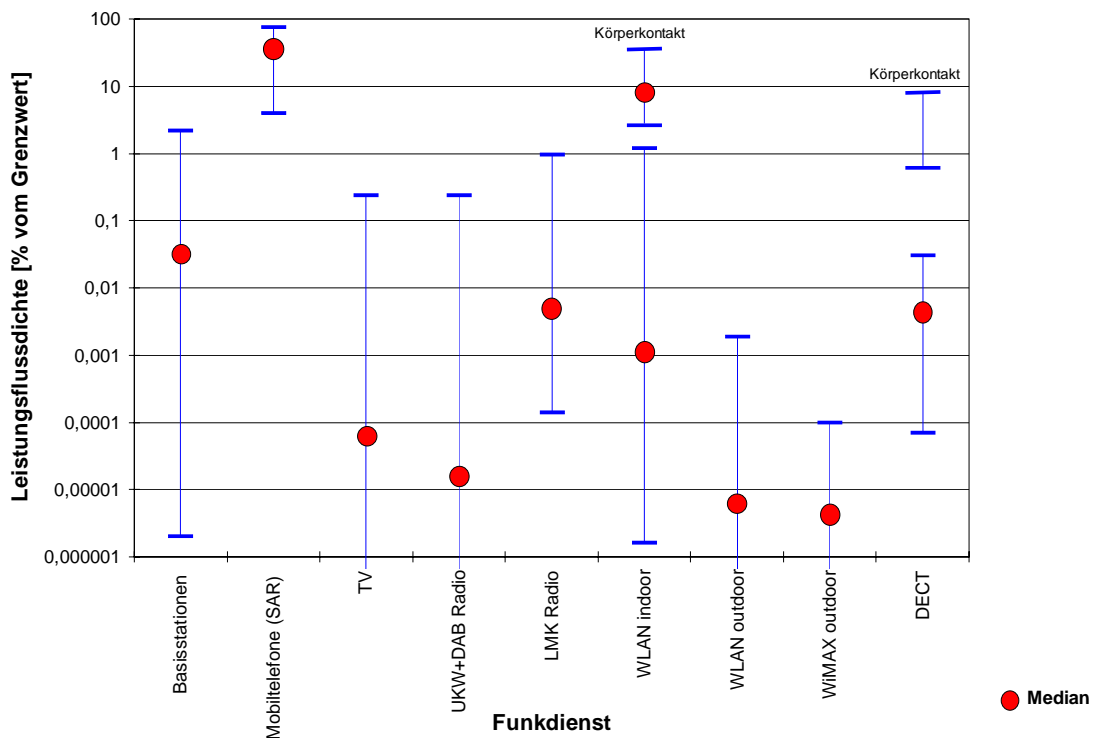


Bild 5.1 Qualitativer Vergleich der Expositionsbeiträge unterschiedlicher Funkdienste zur Exposition der Allgemeinbevölkerung

Bild 5.1 zeigt deutlich, dass - im Vergleich zu anderen Hochfrequenzimmissionsquellen (Mobilfunk, Tonrundfunk, TV) - die untersuchten Sendeeinrichtungen für die flächendeckende Breitbandversorgung von Gemeinden sehr geringe Immissionen erzeugen. Im Regelfall stellen derartige Systeme also nicht die Hauptquelle der individuellen Hochfrequenzexposition dar.

## Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, BGBl. Jg. 1996 Teil I Nr. 66, 20.12.1996.
- [99/519/EG] **1999/519/EG**, *Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)*, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 199/59, 30.07.1999.
- [BAG 07] **Bundesamt für Gesundheit BAG**, *Risikopotenzial von drahtlosen Netzwerken*, Bericht in Erfüllung des Postulates 04.3594 Allemann vom 8. Oktober 2004, Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Gesundheit, Direktionsbereich Verbraucherschutz, Januar 2007.
- [BOCH 03] **U. Bochtler, R. Eidher, M. Wuschek**, *Großräumige Ermittlung von Funkwellen in Baden-Württemberg*, Studie im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Karlsruhe, Abschlussbericht, Aschaffenburg/Stuttgart/Regensburg, (2003).
- [BOR 05] **Chr. Bornkessel, M. Wuschek**, *Immissionsmessungen an WLAN-Szenarien*, Studie im Auftrag des Informationszentrums Mobilfunk e.V., Abschlussbericht, Kamp-Lintfort, (2005).
- [DMF 07] **Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm**;  
<http://www.emf-forschungsprogramm.de>
- [EN 50385] **EN 50385:2002 (VDE 0848 Teil 385)**, *Produktnorm zur Konformitätsüberprüfung von Mobilfunk-Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten für schnurlose Telekommunikationsanlagen im Hinblick auf die Basisgrenz- und Referenzwerte bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (110 MHz bis 40 GHz) - Allgemeinbevölkerung; Deutsche Fassung EN50385:2002*. DIN-Norm, VDE Verlag GmbH, 2003.
- [EN 50392] **DIN EN 50392 (VDE 0848 Teil 392)**, *Fachgrundnorm zur Demonstration der Konformität elektronischer und elektrischer Geräte mit den Basisgrenzwerten für die Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50392:2004*. DIN-Norm, VDE Verlag GmbH, 2004.
- [ICNIRP 98] **ICNIRP Guidelines**, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, Health Physics, vol. 74 no. 4, S. 494-522, (1998).
- [KRA 05] **Axel Kramer, Sven Kühn, Urs Lott, N. Kuster**, *Development of Procedures for the Assessment of Human Exposure to EMF from Wireless Devices in Home and Office Environments*, Studie im Auftrag des

- Schweizer Bundesamtes für Gesundheit, IT'IS Foundation, Zürich (2005).
- [KÜH 06] **Sven Kühn, N. Kuster**, *Development of Procedures for the EMF Exposure Evaluation of Wireless Devices in Home and Office Environments, Supplement 1: Close-to-Body and Base Station Wireless Data Communication Devices*, Studie im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Gesundheit, IT'IS Foundation, Zürich (2006).
- [MAU 07] **J. Maucher, J. Furrer**, *WiMAX, Der IEEE-802.16-Standard: Technik, Anwendung, Potenzial*, Heise Zeitschriften Verlag GmbH, (2007).
- [PREI 06] **P. Preiner, G. Schmid, D. Lager, R. Georg**, *Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten*, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bericht ARC-IT-0179, ARC Seibersdorf research GmbH, Seibersdorf (2006).
- [SCHM 05] **G. Schmid, D. Lager, P. Preiner, R. Überbacher, G. Neubauer, S. Cecil**, *Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro*, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bericht BMU-2005-669, ARC Seibersdorf research GmbH, Seibersdorf (2005).
- [WIK 06] **F. Büllingen, P. Stamm, P. Vary, H. E. Lüders, M. Wernder**, *Potenziale alternativer Techniken zur bedarfsgerechten Versorgung mit Breitbandzugängen*, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Projekt Nr. 22/05, WIK Consult, Bad Honnef (2006).

## Abkürzungsverzeichnis

AP	Access Point (engl.) → Basisstation bei WLAN
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm
DSL	Digital Subscriber Line (engl.) → Digitaler Teilnehmeranschluss
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (engl.) → Äquivalente isotrope Strahlungsleistung
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (engl.) → Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (engl.) → Äquivalente isotrope Strahlungsleistung
GSM	Global System for Mobile Communication (engl.)
IZMF	Informationszentrum Mobilfunk
LAN	Local Area Network (engl.)
SAR	Spezifische Absorptionsrate
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (engl.) → Universelles Mobiltelekommunikationssystem
WiMAX	Worldwide Interoperability für Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

## Anlage 1: Grenzwerte und ihre Entstehung

In diesem Kapitel sollen ergänzend einige Informationen über die Philosophie, die hinter den internationalen Grenzwerten für hochfrequente elektromagnetische Felder steht, gegeben werden.

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

- Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter,
- der Effektivwert der magnetischen Feldstärke H in Ampere pro Meter oder
- 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.

Die Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland seit Januar 1997 in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" (26. BImSchV) [26. BImSchV] verbindlich geregelt. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte entsprechen den aktuellen Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz nicht ionisierender Strahlung (ICNIRP), des Europäischen Rates, sowie der deutschen Strahlenschutzkommission [ICNIRP 98], [99/519/EG], [SSK 01].

Die festgelegten Grenzwerte für Hochfrequenzimmissionen sind in folgender Tabelle aufgelistet und in Bild 1 (für die elektrische Feldstärke) grafisch dargestellt.

Frequenz [MHz]	Effektivwert der el. und magn. Feldstärke	
	elektrische Feldstärke [V/m]	magnetische Feldstärke [A/m]
10 - 400	27,5	0,073
400 - 2.000	$1,375 \cdot \sqrt{f}$	$0,0037 \cdot \sqrt{f}$
2.000 - 300.000	61	0,16

f: Signalfrequenz in MHz

Tabelle 1 Grenzwerte der 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

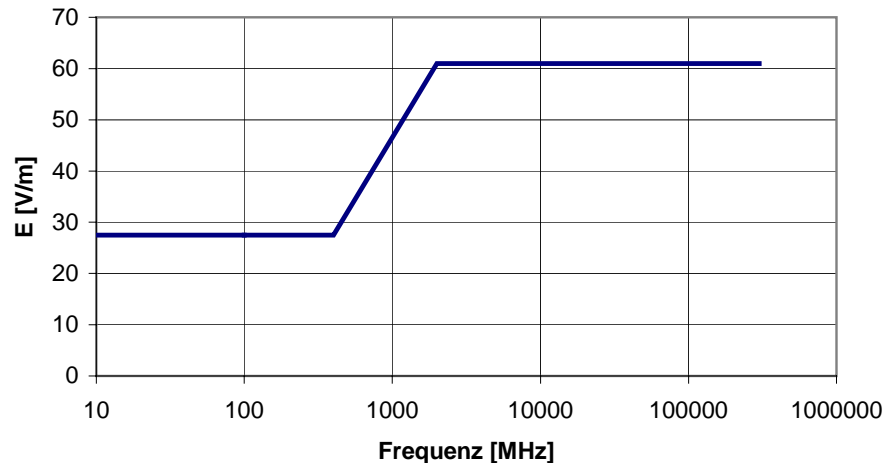


Bild 1: Grafische Darstellung der Grenzwerte (elektrische Feldstärke) nach 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen

Folgendes Vorgehen wird bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte für nicht ionisierende Strahlung angewandt:

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICNIRP) erarbeitet Grenzwertempfehlungen auf der Basis des aktuellen Forschungsstandes. Grundlage ist die von der WHO und der Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP) gemeinsam durchgeführte Bewertung der aktuellen wissenschaftlichen Befunde. Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in den so genannten "Environmental Health Criteria" (z.B. EHC Doc.137) zusammengefasst und als Buch veröffentlicht. In regelmäßigen Abständen prüft die ICNIRP den aktuellen Stand der Forschung und entscheidet darüber, ob eine Aktualisierung der Grenzwerte erforderlich ist. Die zur Zeit aktuellen Empfehlungen der ICNIRP stammen aus dem Jahr 1998 [ICNIRP 98].

Die ICNIRP wird von der Weltgesundheitsorganisation (WHO), der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO) sowie der Europäischen Union als die staatlich unabhängige Organisation anerkannt, die Grenzwerte im Bereich nicht ionisierender Strahlung empfiehlt.

Im Jahr 1999 hat der Rat der Europäischen Union die "Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz)" verabschiedet [99/519/EG]. Diese Empfehlung basiert ebenfalls auf den Richtwerten der ICNIRP und empfiehlt den Mitgliedsstaaten die Übernahme dieser Werte in nationale Gesetze und Normen.

Das Prinzip des Personenschutzes im Bereich des Mobilfunks ist die Begrenzung der vom Körper aufgenommenen Energie. Als Maß hierfür dient die "spezifische Absorptionsrate" (SAR), gemessen in Watt pro Kilogramm (W/kg) Körpergewicht. Um den Schutz der Bevölkerung vor den thermischen Einwirkungen hochfrequenter nicht ionisierender Strahlen zu gewährleisten, wurden die sog. "Basisgrenzwerte" so festgelegt, dass eine zusätzliche Erwärmung von Körperbereichen um mehr als 1°C mit Sicherheit ausgeschlossen wird.

Um diese Sicherheit zu gewährleisten, ist der Basisgrenzwert so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die spezifische Absorptionsrate, ab der Wirkungen auf den Menschen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen werden können. Bei Personen, die im

Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit während der gesamten täglichen Arbeitszeit (typisch bis zu 8 Std.) hochfrequenten Feldern ausgesetzt sind, dürfen also maximal Immissionen auftreten, die um den Faktor 10 unter der Grenze für nachgewiesene Gesundheitsbeeinträchtigungen liegen.

Aus Gründen einer zusätzlichen Sicherheit, wird für die Allgemeinbevölkerung (d.h. alle Personengruppen) der Grenzwert für die Dauerexposition (24h-Wert) nochmals um den Faktor 5 gegenüber dem Arbeitsplatzwert reduziert, so dass hier insgesamt eine Unterschreitung um den Faktor 50 bezüglich wissenschaftlich nachgewiesener negativer Gesundheitswirkungen vorliegt.

Da die spezifische Absorptionsrate SAR in Körpern im allgemeinen schwierig zu bestimmen ist, werden in einem weiteren Schritt "abgeleitete Grenzwerte" für die leichter zu messende elektrische und magnetische Feldstärke aus den Basisgrenzwerten ermittelt. Sie sind so gewählt, dass bei einer Einhaltung der abgeleiteten Grenzwerte auf jeden Fall sichergestellt ist, dass auch die dazugehörigen Basisgrenzwerte unterschritten werden.

Das eben beschriebene Verfahren wird im folgenden Bild grafisch dargestellt.

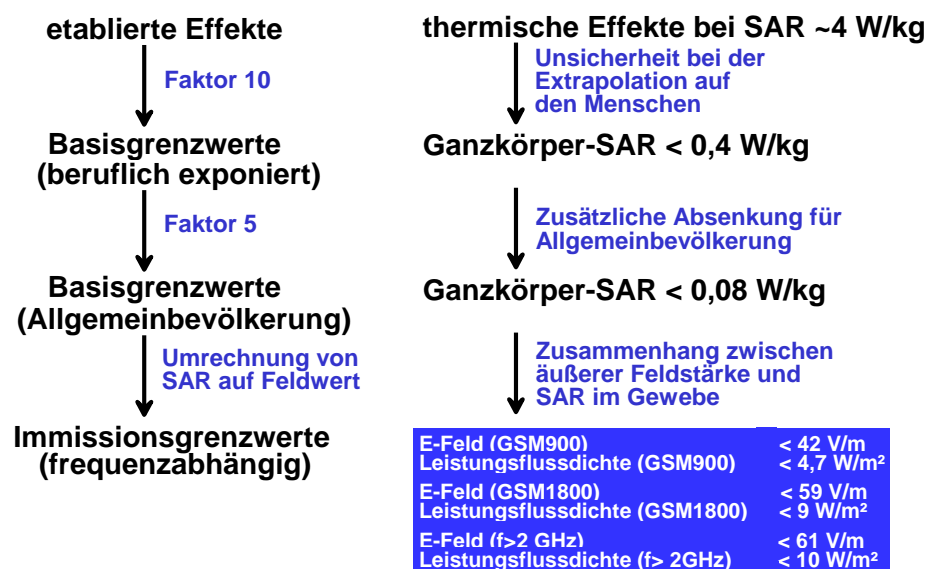


Bild 2: Darstellung der Entstehung internationaler Grenzwertempfehlungen

Um zu berücksichtigen, dass in manchen Situationen die einzelnen Körperteile sehr unterschiedlich den elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein können (beispielsweise wirken bei Benutzung von Mobiltelefonen die hochfrequenten elektromagnetischen Felder hauptsächlich auf den Kopf ein), hat es sich als zweckmäßig erwiesen, national wie international für Teilbereiche des Körpers zusätzlich "Teilkörpergrenzwerte" festzusetzen. Diese werden z.B. bei der Bewertung der Immissionen, verursacht durch die Benutzung von Mobiltelefonen angewendet.

**Anlage 2: Ausführliche Dokumentation der Messungen**

94362 Neukirchen:

Messpunkte:

Nr.	Ort	Sicht zur Antenne	Entfernung zur Antenne
1	Bauhof	Ja	Ca. 60 m
2	Bayerwaldstr 1/3	Ja	Ca. 75 m
3	Bayerwaldstr. 2	Ja	Ca. 135 m
4	Hauptstr. 1	Ja	Ca. 170 m
5	Lindenstr. /Hauptstr.	Ja	Ca. 310 m
6	Kirchgasse (Alter Friedhof)	Ja	Ca. 85 m
7	Bayerwaldstr. 5	Ja	Ca. 45 m
8	Im Wiesengrund	Ja	Ca. 25 m
9	Bayerwaldstr.	Ja	Ca. 105 m
10	Vor Bayerwaldresidenz	Ja	Ca. 180 m
11	Nussbaumstr. 9	Ja	Ca. 30 m
12	Schlossleithen 2	Nein	Ca. 80 m
13	Schlossleithen 3	Ja	Ca. 45 m
14	Schlossleithen 5	Ja	Ca. 45 m
15	Schlossleithen 14	Ja	Ca. 85 m



## Messergebnisse WLAN:

**Messort:** Neukirchen  
**Leitung:** M. Wuschek  
**Signal:** WLAN  
**Datum:** 11.07.2007

**Uhrzeit:** 16:00-18:30 Uhr  
**Wetter:** Wolkig, kein Niederschlag  
**Analyzer:** FSP30  
**Antenne:** HF906

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Funkdienst	Messwert in dBµV	Antenne + Kabel in dB	Bandbreitenkorr. in dB	E in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
1	2412	WLAN	40,6	28,9	3,0	72,5	0,004	61,00	0,007	0,047	0,0000047
	2452	WLAN	46,3	28,9	3,0	78,2	0,008	61,00	0,013	0,175	0,0000175
	2472	WLAN	51,6	28,9	3,0	83,5	0,015	61,00	0,025	0,594	0,0000594
Summen							<b>0,018</b>		<b>0,029</b>	<b>0,82</b>	<b>0,0000082</b>
2	2412	WLAN	43,7	28,9	3,0	75,6	0,006	61,00	0,010	0,096	0,0000096
	2452	WLAN	32,3	28,9	3,0	64,2	0,002	61,00	0,003	0,007	0,0000007
	2472	WLAN	32,7	28,9	3,0	64,6	0,002	61,00	0,003	0,008	0,0000008
Summen							<b>0,006</b>		<b>0,011</b>	<b>0,11</b>	<b>0,0000011</b>
3	2412	WLAN	44,4	28,9	3,0	76,3	0,007	61,00	0,011	0,113	0,0000113
	2452	WLAN	28,2	28,9	3,0	60,1	0,001	61,00	0,002	0,003	0,0000003
	2472	WLAN	25,3	28,9	3,0	57,2	0,001	61,00	0,001	0,001	0,0000001
Summen							<b>0,007</b>		<b>0,011</b>	<b>0,12</b>	<b>0,0000012</b>
4	2412	WLAN	45,3	28,9	3,0	77,2	0,007	61,00	0,012	0,139	0,0000139
	2452	WLAN	25,4	28,9	3,0	57,3	0,001	61,00	0,001	0,001	0,0000001
	2472	WLAN	27,3	28,9	3,0	59,2	0,001	61,00	0,001	0,002	0,0000002
Summen							<b>0,007</b>		<b>0,012</b>	<b>0,14</b>	<b>0,0000014</b>
5	2412	WLAN	34,7	28,9	3,0	66,6	0,002	61,00	0,004	0,012	0,0000012
	2452	WLAN	25,0	28,9	3,0	56,9	0,001	61,00	0,001	0,001	0,0000001
	2472	WLAN	24,6	28,9	3,0	56,5	0,001	61,00	0,001	0,001	0,0000001
Summen							<b>0,002</b>		<b>0,004</b>	<b>0,01</b>	<b>0,0000001</b>
6	2412	WLAN	39,5	28,9	3,0	71,4	0,004	61,00	0,006	0,037	0,0000037
	2452	WLAN	36,9	28,9	3,0	68,8	0,003	61,00	0,005	0,020	0,0000020
	2472	WLAN	57,0	28,9	3,0	88,9	0,028	61,00	0,046	2,059	0,00002059
Summen							<b>0,028</b>		<b>0,046</b>	<b>2,12</b>	<b>0,0000212</b>
7	2412	WLAN	47,8	28,9	3,0	79,7	0,010	61,00	0,016	0,248	0,0000248
	2452	WLAN	46,5	28,9	3,0	78,4	0,008	61,00	0,014	0,184	0,0000184
	2472	WLAN	56,7	28,9	3,0	88,6	0,027	61,00	0,044	1,922	0,0001922
Summen							<b>0,030</b>		<b>0,049</b>	<b>2,35</b>	<b>0,0000235</b>
8	2412	WLAN	53,3	28,9	3,0	85,2	0,018	61,00	0,030	0,878	0,0000878
	2452	WLAN	35,7	28,9	3,0	67,6	0,002	61,00	0,004	0,015	0,0000015
	2472	WLAN	51,8	28,9	3,0	83,7	0,015	61,00	0,025	0,622	0,0000622
Summen							<b>0,024</b>		<b>0,039</b>	<b>1,52</b>	<b>0,0000152</b>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Funkdienst	Messwert in dBµV	Antenne + Kabel in dB	Bandbreitenkorrr. in dB	E in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
9	2412	WLAN	53,4	28,9	3,0	85,3	0,018	61,00	0,030	0,899	0,00000899
	2452	WLAN	30,4	28,9	3,0	62,3	0,001	61,00	0,002	0,005	0,00000005
	2472	WLAN	51,9	28,9	3,0	83,8	0,015	61,00	0,025	0,636	0,00000636
Summen							0,024		0,039	1,54	0,0000154
10	2412	WLAN	53,4	28,9	3,0	85,3	0,018	61,00	0,030	0,899	0,00000899
	2452	WLAN	26,7	28,9	3,0	58,6	0,001	61,00	0,001	0,002	0,00000002
	2472	WLAN	47,6	28,9	3,0	79,5	0,009	61,00	0,015	0,236	0,00000236
Summen							0,021		0,034	1,14	0,0000114
11	2412	WLAN	26,2	28,9	3,0	58,1	0,001	61,00	0,001	0,002	0,00000002
	2452	WLAN	54,1	28,9	3,0	86,0	0,020	61,00	0,033	1,056	0,00001056
	2472	WLAN	57,5	28,9	3,0	89,4	0,030	61,00	0,048	2,310	0,00002310
Summen							0,036		0,058	3,37	0,0000337
12	2412	WLAN	40,7	28,9	3,0	72,6	0,004	61,00	0,007	0,048	0,00000048
	2452	WLAN	43,2	28,9	3,0	75,1	0,006	61,00	0,009	0,086	0,00000086
	2472	WLAN	37,7	28,9	3,0	69,6	0,003	61,00	0,005	0,024	0,00000024
Summen							0,008		0,013	0,16	0,0000016
13	2412	WLAN	39,0	28,9	3,0	70,9	0,004	61,00	0,006	0,033	0,00000033
	2452	WLAN	51,3	28,9	3,0	83,2	0,014	61,00	0,024	0,554	0,00000554
	2472	WLAN	40,3	28,9	3,0	72,2	0,004	61,00	0,007	0,044	0,00000044
Summen							0,015		0,025	0,63	0,0000063
14	2412	WLAN	27,0	28,9	3,0	58,9	0,001	61,00	0,001	0,002	0,00000002
	2452	WLAN	50,9	28,9	3,0	82,8	0,014	61,00	0,023	0,505	0,00000505
	2472	WLAN	43,0	28,9	3,0	74,9	0,006	61,00	0,009	0,082	0,00000082
Summen							0,015		0,024	0,59	0,0000059
15	2412	WLAN	27,4	28,9	3,0	59,3	0,001	61,00	0,002	0,002	0,00000002
	2452	WLAN	49,1	28,9	3,0	81,0	0,011	61,00	0,018	0,334	0,00000334
	2472	WLAN	45,8	28,9	3,0	77,7	0,008	61,00	0,013	0,156	0,00000156
Summen							0,014		0,022	0,49	0,0000049

Messergebnisse GSM:

**Messort:** Neukirchen  
**Leitung:** Dr. Wuschek  
**Signal:** GSM  
**Datum:** 11.07.2007

**Uhrzeit:** 16:00-18:30 Uhr  
**Wetter:** Wolkig, trocken  
**Analyzer:** SRM-3000  
**Antenne:** 3AX 75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Betreiber	Messwert in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (max) in dBµV/m	E (max) in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
1	939,2	T-Mobile	92,7	4	0,0	98,7	0,086	42,14	0,205	19,76	0,00042
	945,2	Vodafone	91,6	4	0,0	97,6	0,076	42,27	0,180	15,34	0,00032
	952,6	T-Mobile	79,4	4	0,0	85,4	0,019	42,44	0,044	0,92	0,00002
Summen							0,12		0,28	36,0	0,00076

**84155 Bodenkirchen-Wasserturm:**

Messpunkte:

<b>Nr.</b>	<b>Ort</b>	<b>Sicht zur Antenne</b>	<b>Entfernung zur Antenne</b>
1	OT Ellenbogen, Kreuzung südl. WT	Ja	Ca. 210 m
2	OT Wagmannsberg, Wohnhaus	Ja	Ca. 226 m
3	Westl. Ortsrand Bodenkirchen	Ja	Ca. 1090 m
4	OT Putzing, Bauernhof	Ja	Ca. 770 m
L1	Linienmessung	Ja	Ca. 70 m
L2	Linienmessung	Ja	Ca. 85 m
L3	Linienmessung	Ja	Ca. 100 m
L4	Linienmessung	Ja	Ca. 115 m
L5	Linienmessung	Ja	Ca. 130 m
L6	Linienmessung	Ja	Ca. 145 m
L7	Linienmessung	Ja	Ca. 160 m
L8	Linienmessung	Ja	Ca. 175 m
L9	Linienmessung	Ja	Ca. 190 m
L10	Linienmessung	Ja	Ca. 205 m
L11	Linienmessung	Ja	Ca. 220 m
L12	Linienmessung	Ja	Ca. 235 m
L13	Linienmessung	Ja	Ca. 250 m
L14	Linienmessung	Ja	Ca. 265 m

## Messergebnisse WiMAX:

**Messort:** Bodenkirchen, Wasserturm  
**Leitung:** P. Schmidt  
**Signal:** WiMAX  
**Datum:** 12.07.2007

**Uhrzeit:** 13:00-15:15 Uhr  
**Wetter:** Bedeckt, kein Niederschlag  
**Analysier:** FSP30  
**Antenne:** HF906

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Funkdienst	Messwert in dBµV	Antenne + Kabel in dB	Bandbreitenkorrr. in dB	E in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
1	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX	34,5	35,4	3,0	72,9	0,004	61,00	0,007	0,052	0,00000052
	5580	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
<b>Summen</b>							<b>0,004</b>		<b>0,007</b>	<b>0,05</b>	<b>0,00000005</b>
2	5500	WiMAX	44,5	35,4	3,0	82,9	0,014	61,00	0,023	0,517	0,00000517
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	38,3	35,4	3,0	76,7	0,007	61,00	0,011	0,124	0,00000124
<b>Summen</b>							<b>0,016</b>		<b>0,025</b>	<b>0,64</b>	<b>0,0000064</b>
3	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	39,5	35,4	3,0	77,9	0,008	61,00	0,013	0,164	0,00000164
<b>Summen</b>							<b>0,008</b>		<b>0,013</b>	<b>0,16</b>	<b>0,0000016</b>
4	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	39,7	35,4	3,0	78,1	0,008	61,00	0,013	0,171	0,00000171
<b>Summen</b>							<b>0,008</b>		<b>0,013</b>	<b>0,17</b>	<b>0,0000017</b>
L1	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX	29,5	35,4	3,0	67,9	0,002	61,00	0,004	0,016	0,00000016
	5580	WiMAX	38,6	35,4	3,0	77,0	0,007	61,00	0,012	0,133	0,00000133
<b>Summen</b>							<b>0,008</b>		<b>0,012</b>	<b>0,15</b>	<b>0,0000015</b>
L2	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	33,5	35,4	3,0	71,9	0,004	61,00	0,006	0,041	0,00000041
<b>Summen</b>							<b>0,004</b>		<b>0,006</b>	<b>0,04</b>	<b>0,0000004</b>
L3	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	34,7	35,4	3,0	73,1	0,005	61,00	0,007	0,054	0,00000054
<b>Summen</b>							<b>0,005</b>		<b>0,007</b>	<b>0,05</b>	<b>0,0000005</b>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Funkdienst	Messwert in dBµV	Antenne + Kabel in dB	Bandbreitenkorrr. in dB	E in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
L4	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	34,3	35,4	3,0	72,7	0,004	61,00	0,007	0,049	0,00000049
Summen							0,004		0,007	0,05	0,00000005
L5	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	42,2	35,4	3,0	80,6	0,011	61,00	0,018	0,305	0,00000305
Summen							0,011		0,018	0,30	0,0000030
L6	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	43,4	35,4	3,0	81,8	0,012	61,00	0,020	0,401	0,00000401
Summen							0,012		0,020	0,40	0,0000040
L7	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	46,5	35,4	3,0	84,9	0,018	61,00	0,029	0,820	0,00000820
Summen							0,018		0,029	0,82	0,0000082
L8	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	47,1	35,4	3,0	85,5	0,019	61,00	0,031	0,941	0,00000941
Summen							0,019		0,031	0,94	0,0000094
L9	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	48,4	35,4	3,0	86,8	0,022	61,00	0,036	1,270	0,00001270
Summen							0,022		0,036	1,27	0,0000127
L10	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX	30,3	35,4	3,0	68,7	0,003	61,00	0,004	0,020	0,00000020
	5580	WiMAX	47,4	35,4	3,0	85,8	0,019	61,00	0,032	1,008	0,00001008
Summen							0,020		0,032	1,03	0,0000103
L11	5500	WiMAX	28,9	35,4	3,0	67,3	0,002	61,00	0,004	0,014	0,00000014
	5540	WiMAX	31,6	35,4	3,0	70,0	0,003	61,00	0,005	0,027	0,00000027
	5580	WiMAX	47,6	35,4	3,0	86,0	0,020	61,00	0,033	1,056	0,00001056
Summen							0,020		0,033	1,10	0,0000110
L12	5500	WiMAX	28,7	35,4	3,0	67,1	0,002	61,00	0,004	0,014	0,00000014
	5540	WiMAX	31,5	35,4	3,0	69,9	0,003	61,00	0,005	0,026	0,00000026
	5580	WiMAX	47,2	35,4	3,0	85,6	0,019	61,00	0,031	0,963	0,00000963
Summen							0,019		0,032	1,00	0,0000100
L13	5500	WiMAX	28,7	35,4	3,0	67,1	0,002	61,00	0,004	0,014	0,00000014
	5540	WiMAX	31,9	35,4	3,0	70,3	0,003	61,00	0,005	0,028	0,00000028
	5580	WiMAX	43,3	35,4	3,0	81,7	0,012	61,00	0,020	0,392	0,00000392
Summen							0,013		0,021	0,43	0,0000043
L14	5500	WiMAX	28,5	35,4	3,0	66,9	0,002	61,00	0,004	0,013	0,00000013
	5540	WiMAX	32,1	35,4	3,0	70,5	0,003	61,00	0,005	0,030	0,00000030
	5580	WiMAX	43,5	35,4	3,0	81,9	0,012	61,00	0,020	0,411	0,00000411
Summen							0,013		0,021	0,45	0,0000045

## Messergebnisse GSM:

**Messort:** Bodenkirchen, Wasserturm  
**Leitung:** P. Schmidt  
**Signal:** GSM  
**Datum:** 12.07.2007

**Uhrzeit:** 13:00-15:15 Uhr  
**Wetter:** Bedeckt, trocken  
**Analyzer:** SRM-3000  
**Antenne:** 3AX 75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Betreiber	Messwert in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (max) in dBµV/m	E (max) in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
2	1871,2	E-Plus	93,3	2	0,0	96,3	0,065	59,48	0,110	11,34	0,00012
	1868,6	E-Plus	85,1	2	0,0	88,1	0,025	59,44	0,043	1,72	0,00002
	1865,6	E-Plus	103,3	2	0,0	106,3	0,207	59,39	0,348	113,42	0,00121
Summen							0,22		0,37	126,5	0,00135
L1	1871,2	E-Plus	105,7	2	0,0	108,7	0,273	59,48	0,458	197,10	0,00210
	1868,6	E-Plus	99,7	2	0,0	102,7	0,137	59,44	0,230	49,51	0,00053
	1865,6	E-Plus	93,4	2	0,0	96,4	0,066	59,39	0,111	11,61	0,00012
Summen							0,31		0,52	258,2	0,00275
L2	1871,2	E-Plus	104,2	2	0,0	107,2	0,229	59,48	0,386	139,54	0,00149
	1868,6	E-Plus	96,9	2	0,0	99,9	0,099	59,44	0,167	25,98	0,00028
	1865,6	E-Plus	91,2	2	0,0	94,2	0,051	59,39	0,086	6,99	0,00007
Summen							0,26		0,43	172,5	0,00184
L3	1871,2	E-Plus	107,9	2	0,0	110,9	0,351	59,48	0,590	327,11	0,00349
	1868,6	E-Plus	92,8	2	0,0	95,8	0,062	59,44	0,104	10,11	0,00011
	1865,6	E-Plus	92,2	2	0,0	95,2	0,058	59,39	0,097	8,80	0,00009
Summen							0,36		0,61	346,0	0,00369
L4	1871,2	E-Plus	112,0	2	0,0	115,0	0,563	59,48	0,947	840,79	0,00896
	1868,6	E-Plus	94,6	2	0,0	97,6	0,076	59,44	0,128	15,30	0,00016
	1865,6	E-Plus	92,6	2	0,0	95,6	0,060	59,39	0,102	9,65	0,00010
Summen							0,57		0,96	865,7	0,00923
L5	1871,2	E-Plus	110,6	2	0,0	113,6	0,479	59,48	0,806	609,10	0,00649
	1868,6	E-Plus	93,2	2	0,0	96,2	0,065	59,44	0,109	11,08	0,00012
	1865,6	E-Plus	91,2	2	0,0	94,2	0,051	59,39	0,086	6,99	0,00007
Summen							0,49		0,82	627,2	0,00668
L6	1871,2	E-Plus	108,4	2	0,0	111,4	0,372	59,48	0,625	367,02	0,00391
	1868,6	E-Plus	95,7	2	0,0	98,7	0,086	59,44	0,145	19,71	0,00021
	1865,6	E-Plus	89,1	2	0,0	92,1	0,040	59,39	0,068	4,31	0,00005
Summen							0,38		0,65	391,0	0,00417
L7	1871,2	E-Plus	106,0	2	0,0	109,0	0,282	59,48	0,474	211,20	0,00225
	1868,6	E-Plus	96,5	2	0,0	99,5	0,095	59,44	0,159	23,70	0,00025
	1865,6	E-Plus	87,2	2	0,0	90,2	0,032	59,39	0,055	2,78	0,00003
Summen							0,30		0,50	237,7	0,00253
L8	1871,2	E-Plus	102,3	2	0,0	105,3	0,184	59,48	0,310	90,09	0,00096
	1868,6	E-Plus	96,6	2	0,0	99,6	0,096	59,44	0,161	24,25	0,00026
	1865,6	E-Plus	86,1	2	0,0	89,1	0,029	59,39	0,048	2,16	0,00002
Summen							0,21		0,35	116,5	0,00124
L9	1871,2	E-Plus	103,8	2	0,0	106,8	0,219	59,48	0,368	127,26	0,00136
	1868,6	E-Plus	95,5	2	0,0	98,5	0,084	59,44	0,142	18,82	0,00020
	1865,6	E-Plus	87,5	2	0,0	90,5	0,034	59,39	0,056	2,98	0,00003
Summen							0,24		0,40	149,1	0,00159
L10	1871,2	E-Plus	108,4	2	0,0	111,4	0,372	59,48	0,625	367,02	0,00391
	1868,6	E-Plus	93,6	2	0,0	96,6	0,068	59,44	0,114	12,15	0,00013
	1865,6	E-Plus	87,7	2	0,0	90,7	0,034	59,39	0,058	3,12	0,00003
Summen							0,38		0,64	382,3	0,00407
L11	1871,2	E-Plus	109,9	2	0,0	112,9	0,442	59,48	0,743	518,43	0,00552
	1868,6	E-Plus	91,7	2	0,0	94,7	0,054	59,44	0,092	7,85	0,00008
	1865,6	E-Plus	87,0	2	0,0	90,0	0,032	59,39	0,053	2,66	0,00003
Summen							0,45		0,75	528,9	0,00564

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Betreiber	Messwert in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (max) in dBµV/m	E (max) in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
L12	1871,2	E-Plus	111,7	2	0,0	114,7	0,544	59,48	0,914	784,67	0,00836
	1868,6	E-Plus	90,6	2	0,0	93,6	0,048	59,44	0,081	6,09	0,00006
	1865,6	E-Plus	87,6	2	0,0	90,6	0,034	59,39	0,057	3,05	0,00003
<b>Summen</b>							<b>0,55</b>		<b>0,92</b>	<b>793,8</b>	<b>0,00846</b>
L13	1871,2	E-Plus	113,0	2	0,0	116,0	0,632	59,48	1,062	1058,49	0,01128
	1868,6	E-Plus	89,9	2	0,0	92,9	0,044	59,44	0,074	5,18	0,00006
	1865,6	E-Plus	87,8	2	0,0	90,8	0,035	59,39	0,058	3,20	0,00003
<b>Summen</b>							<b>0,63</b>		<b>1,07</b>	<b>1066,9</b>	<b>0,01137</b>
L14	1871,2	E-Plus	114,4	2	0,0	117,4	0,742	59,48	1,248	1461,13	0,01557
	1868,6	E-Plus	92,8	2	0,0	95,8	0,062	59,44	0,104	10,11	0,00011
	1865,6	E-Plus	88,4	2	0,0	91,4	0,037	59,39	0,063	3,67	0,00004
<b>Summen</b>							<b>0,75</b>		<b>1,25</b>	<b>1474,9</b>	<b>0,01572</b>

## 84155 Bodenkirchen-Binastraße 16:

Messpunkte:

Nr.	Ort	Sicht zur Antenne	Entfernung zur Antenne
5	Vor Wohnhaus Binastraße 16	Ja	Ca. 30 m
6	Straßenrand vor Binastraße 4	Ja	Ca. 280 m
7	Einfahrt gegenüber Binastraße 2	Ja	Ca. 310 m
8	Straßenrand vor Filzmoosstraße 1	Ja	Ca. 420 m
9	Parkplatz Landmarkt, Kirchplatz 5	Ja	Ca. 160 m
10	Vor Wohnhaus Fuchshöhe 1	Ja	Ca. 255 m

## Messergebnisse WiMAX:

**Messort:** Bodenkirchen, Binastr.**Leitung:** P. Schmidt**Signal:** WiMAX**Datum:** 12.07.2007**Uhrzeit:** 15:20-16:20 Uhr**Wetter:** Bedeckt, kein Niederschlag**Analyzer:** FSP30**Antenne:** HF906

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Funkdienst	Messwert in dBµV	Antenne + Kabel in dB	Bandbreitenkorrr. in dB	E in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
5	5620	WiMAX	33,3	35,4	3,0	71,7	0,004	61,00	0,006	0,039	0,0000039
Summen							0,004		0,006	0,04	0,0000004
6	5620	WiMAX	39,9	35,4	3,0	78,3	0,008	61,00	0,013	0,179	0,0000179
Summen							0,008		0,013	0,18	0,0000018
7	5620	WiMAX	32,9	35,4	3,0	71,3	0,004	61,00	0,006	0,036	0,0000036
Summen							0,004		0,006	0,04	0,0000004
8	5620	WiMAX	36,6	35,4	3,0	75,0	0,006	61,00	0,009	0,084	0,0000084
Summen							0,006		0,009	0,08	0,0000008
9	5620	WiMAX	43,4	35,4	3,0	81,8	0,012	61,00	0,020	0,401	0,00000401
Summen							0,012		0,020	0,40	0,0000040
10	5620	WiMAX	34,5	35,4	3,0	72,9	0,004	61,00	0,007	0,052	0,0000052
Summen							0,004		0,007	0,05	0,0000005

## Messergebnisse GSM:

**Messort:** Bodenkirchen, Binastr.**Leitung:** P. Schmidt**Signal:** GSM**Datum:** 12.07.2007**Uhrzeit:** 15:20-16:20 Uhr**Wetter:** Bedeckt, trocken**Analyzer:** SRM-3000**Antenne:** 3AX 75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Betreiber	Messwert in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (max) in dBµV/m	E (max) in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
8	936,6	Vodafone	103,9	4	0,0	109,9	0,313	42,08	0,745	260,45	0,00554
	939,6	T-Mobile	103,9	4	0,0	109,9	0,313	42,15	0,743	260,45	0,00553
	950,0	Vodafone	98,8	4	0,0	104,8	0,174	42,38	0,411	80,49	0,00169
	1868,6	E-Plus	81,9	2	0,0	84,9	0,018	59,44	0,030	0,82	0,00001
	1871,2	E-Plus	94,7	2	0,0	97,7	0,077	59,48	0,129	15,66	0,00017
Summen							0,48		1,14	617,9	0,01294



**84155 Bonbruck:**

Messpunkte:

<b>Nr.</b>	<b>Ort</b>	<b>Sicht zur Antenne</b>	<b>Entfernung zur Antenne</b>
1	Ebenhauser Str. / Cessana-Colle-Str.	Ja	Ca. 45 m
2	Ebenhauser Str. 11	Ja	Ca. 80 m
3	Turnhalle, Ebenhauser Str. 4	Ja	Ca. 145 m
4	Turnhalle, Ebenhauser Str. 4	Nein	Ca. 145 m
5	Parkplatz Ebenhauser Str., gegenüber Abzweigung Praidenhoher Str.	Ja	Ca. 215 m
6	Cessana-Colle-Str. 3	Ja	Ca. 75 m
7	Gehsteig Langquarter Str. 18	Ja	Ca. 115 m
8	Gehsteig Langquarter Str. 18	Nein	Ca. 115 m
9	Im Berndfeld 16	Ja	Ca. 370 m
10	Hafnerweg 1	Ja	Ca. 255 m
11	Ebenhauser Str. 13	Ja	Ca. 45 m
12	Ebenhauser Str. 13	Nein	Ca. 100 m

## Messergebnisse WiMAX:

**Messort:** Bonbruck, Ebenhauser Str.  
**Leitung:** P. Schmidt  
**Signal:** WiMAX  
**Datum:** 12.07.2007

**Uhrzeit:** 10:15-12:15 Uhr  
**Wetter:** Bedeckt, kein Niederschlag  
**Analyzer:** FSP30  
**Antenne:** HF906

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Funkdienst	Messwert in dBµV	Antenne + Kabel in dB	Bandbreitenkorrr. in dB	E in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
1	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX	41,4	35,4	3,0	79,8	0,010	61,00	0,016	0,253	0,0000253
	5580	WiMAX	38,5	35,4	3,0	76,9	0,007	61,00	0,011	0,130	0,0000130
Summen							0,012		0,020	0,38	0,0000038
2	5500	WiMAX	36,9	35,4	3,0	75,3	0,006	61,00	0,010	0,090	0,0000090
	5540	WiMAX	37,1	35,4	3,0	75,5	0,006	61,00	0,010	0,094	0,0000094
	5580	WiMAX	57,2	35,4	3,0	95,6	0,060	61,00	0,099	9,631	0,00009631
Summen							0,061		0,100	9,81	0,0000981
3	5500	WiMAX	31,9	35,4	3,0	70,3	0,003	61,00	0,005	0,028	0,0000028
	5540	WiMAX	28,5	35,4	3,0	66,9	0,002	61,00	0,004	0,013	0,0000013
	5580	WiMAX	45,0	35,4	3,0	83,4	0,015	61,00	0,024	0,580	0,0000580
Summen							0,015		0,025	0,62	0,000062
4	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	30,6	35,4	3,0	69,0	0,003	61,00	0,005	0,021	0,0000021
Summen							0,003		0,005	0,02	0,000002
5	5500	WiMAX	31,9	35,4	3,0	70,3	0,003	61,00	0,005	0,028	0,0000028
	5540	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5580	WiMAX	45,3	35,4	3,0	83,7	0,015	61,00	0,025	0,622	0,0000622
Summen							0,016		0,026	0,65	0,000065
6	5500	WiMAX	52,5	35,4	3,0	90,9	0,035	61,00	0,058	3,263	0,00003263
	5540	WiMAX	48,1	35,4	3,0	86,5	0,021	61,00	0,035	1,185	0,00001185
	5580	WiMAX	28,2	35,4	3,0	66,6	0,002	61,00	0,004	0,012	0,0000012
Summen							0,041		0,067	4,46	0,0000446
7	5500	WiMAX	47,9	35,4	3,0	86,3	0,021	61,00	0,034	1,132	0,00001132
	5540	WiMAX	29,2	35,4	3,0	67,6	0,002	61,00	0,004	0,015	0,0000015
	5580	WiMAX	45,9	35,4	3,0	84,3	0,016	61,00	0,027	0,714	0,0000714
Summen							0,026		0,043	1,86	0,0000186
8	5500	WiMAX	38,5	35,4	3,0	76,9	0,007	61,00	0,011	0,130	0,0000130
	5540	WiMAX	29,4	35,4	3,0	67,8	0,002	61,00	0,004	0,016	0,0000016
	5580	WiMAX	38,0	35,4	3,0	76,4	0,007	61,00	0,011	0,116	0,0000116
Summen							0,010		0,016	0,26	0,000026
9	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX	40,8	35,4	3,0	79,2	0,009	61,00	0,015	0,221	0,0000221
	5580	WiMAX	37,8	35,4	3,0	76,2	0,006	61,00	0,011	0,111	0,0000111
Summen							0,011		0,018	0,33	0,000033
10	5500	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
	5540	WiMAX	41,6	35,4	3,0	80,0	0,010	61,00	0,016	0,265	0,0000265
	5580	WiMAX	39,0	35,4	3,0	77,4	0,007	61,00	0,012	0,146	0,0000146
Summen							0,012		0,020	0,41	0,000041
11	5500	WiMAX	28,1	35,4	3,0	66,5	0,002	61,00	0,003	0,012	0,0000012
	5540	WiMAX	31,9	35,4	3,0	70,3	0,003	61,00	0,005	0,028	0,0000028
	5580	WiMAX	46,8	35,4	3,0	85,2	0,018	61,00	0,030	0,878	0,0000878
Summen							0,019		0,031	0,92	0,000092
12	5500	WiMAX	36,3	35,4	3,0	74,7	0,005	61,00	0,009	0,078	0,0000078
	5540	WiMAX	32,5	35,4	3,0	70,9	0,004	61,00	0,006	0,033	0,0000033
	5580	WiMAX	52,8	35,4	3,0	91,2	0,036	61,00	0,060	3,497	0,00003497
Summen							0,037		0,060	3,61	0,0000361

## Messergebnisse GSM:

**Messort:** Bodenkirchen, Binastr.  
**Leitung:** P. Schmidt  
**Signal:** GSM  
**Datum:** 12.07.2007

**Uhrzeit:** 15:20-16:20 Uhr  
**Wetter:** Bedeckt, trocken  
**Analyzer:** SRM-3000  
**Antenne:** 3AX 75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Betreiber	Messwert in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (max) in dBµV/m	E (max) in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
10	923,0	GSM-R	86,7	2	0,0	89,7	0,031	41,77	0,073	2,48	0,00005
	931,0	O2	92,0	2	0,0	95,0	0,056	41,95	0,134	8,41	0,00018
	934,4	O2	84,1	2	0,0	87,1	0,023	42,03	0,054	1,36	0,00003
	935,2	Vodafone	87,2	4	0,0	93,2	0,046	42,05	0,109	5,57	0,00012
	952,6	T-Mobile	81,2	4	0,0	87,2	0,023	42,44	0,054	1,40	0,00003
	954,4	T-Mobile	86,4	4	0,0	92,4	0,042	42,48	0,098	4,63	0,00010
	1862,8	E-Plus	90,6	2	0,0	93,6	0,048	59,35	0,081	6,09	0,00007
	1872,4	E-Plus	94,1	2	0,0	97,1	0,072	59,50	0,121	13,64	0,00015
<b>Summen</b>							<b>0,13</b>		<b>0,27</b>	<b>43,6</b>	<b>0,00072</b>

## 92449 Steinberg am See:

Messpunkte:

Nr.	Ort	Entfernung WiMAX	Sicht WiMAX	Entfernung GSM	Sicht GSM
1	Parkplatz Rathaus, Nittenauer Str.	Ca. 100 m	Ja	Ca. 35 m	Ja
2	Seestraße 1	Ca. 185 m	Ja	Ca. 65 m	Ja
3	Pfarrer-Gschwendtner-Str.	Ca. 65 m	Ja	Ca. 140 m	Ja
4	Lindenstraße 3	Ca. 170 m	Ja	Ca. 100 m	Nein
5	Lindenstraße 3	Ca. 170 m	Nein	Ca. 100 m	Nein
6	Wiesenstraße 1	Ca. 80 m	Ja	Ca. 210 m	Nein
7	Wiesenstraße 8	Ca. 150 m	Ja	Ca. 240 m	Nein
8	Mühlweg 2	Ca. 105 m	Ja	Ca. 140 m	Ja

## Messergebnisse WiMAX:

**Messort:** Steinberg am See**Uhrzeit:** 18:30-20:15 Uhr**Leitung:** P. Schmidt**Wetter:** Bedeckt, kein Niederschlag**Signal:** WiMAX**Analyzer:** FSP30**Datum:** 12.07.2007**Antenne:** HF906

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Funkdienst	Messwert in dBµV	Antenne + Kabel in dB	Bandbreitenkorrr. in dB	E in dBµV/m	E in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
1	5580	WiMAX	46,4	35,4	3,0	84,8	0,017	61,00	0,028	0,801	0,00000801
	5700	WiMAX	38,9	35,4	3,0	77,3	0,007	61,00	0,012	0,142	0,00000142
Summen							0,019		0,031	0,94	0,0000094
2	5580	WiMAX	41,6	35,4	3,0	80,0	0,010	61,00	0,016	0,265	0,00000265
	5700	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
Summen							0,010		0,016	0,27	0,0000027
3	5580	WiMAX	45,9	35,4	3,0	84,3	0,016	61,00	0,027	0,714	0,00000714
	5700	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
Summen							0,016		0,027	0,71	0,0000071
4	5580	WiMAX	38,9	35,4	3,0	77,3	0,007	61,00	0,012	0,142	0,00000142
	5700	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
Summen							0,007		0,012	0,142	0,0000014
5	5580	WiMAX	29,4	35,4	3,0	67,8	0,002	61,00	0,004	0,016	0,00000016
	5700	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
Summen							0,002		0,004	0,016	0,0000002
6	5580	WiMAX	45,4	35,4	3,0	83,8	0,015	61,00	0,025	0,636	0,00000636
	5700	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
Summen							0,015		0,025	0,64	0,0000064
7	5580	WiMAX	43,6	35,4	3,0	82,0	0,013	61,00	0,021	0,420	0,00000420
	5700	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
Summen							0,013		0,021	0,42	0,0000042
8	5580	WiMAX	42,9	35,4	3,0	81,3	0,012	61,00	0,019	0,358	0,00000358
	5700	WiMAX		35,4	3,0	38,4	0,000	61,00	0,000	0,000	0,00000000
Summen							0,012		0,019	0,36	0,0000036

## Messergebnisse GSM:

**Messort:** Steinberg am See  
**Leitung:** P. Schmidt  
**Signal:** GSM  
**Datum:** 12.07.2007

**Uhrzeit:** 18:30-20:15 Uhr  
**Wetter:** Bedeckt, trocken  
**Analyzer:** SRM-3000  
**Antenne:** 3AX 75M-3G

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Messpunkt Nr.	Frequenz in MHz	Betreiber	Messwert in dBµV/m	Kanalzahl	Aufschlag in dB	E (max) in dBµV/m	E (max) in V/m	Grenzwert in V/m	Prozent vom Grenzw. (E)	S in µW/m²	Prozent vom GW (S)
1	926,2	E-Plus	98,7	2	0,0	101,7	0,122	41,85	0,291	39,33	0,00085
	926,8	E-Plus	112,4	2	0,0	115,4	0,590	41,86	1,408	921,91	0,01984
	927,2	E-Plus	115,2	2	0,0	118,2	0,814	41,87	1,944	1756,66	0,03778
<b>Summen</b>							<b>1,01</b>		<b>2,42</b>	<b>2717,9</b>	<b>0,05846</b>
2	926,2	E-Plus	106,9	2	0,0	109,9	0,313	41,85	0,748	259,83	0,00559
	926,8	E-Plus	106,7	2	0,0	109,7	0,306	41,86	0,731	248,14	0,00534
	927,2	E-Plus	95,0	2	0,0	98,0	0,080	41,87	0,190	16,78	0,00036
<b>Summen</b>							<b>0,44</b>		<b>1,06</b>	<b>524,7</b>	<b>0,01129</b>
3	926,2	E-Plus	97,3	2	0,0	100,3	0,104	41,85	0,248	28,49	0,00061
	926,8	E-Plus	113,9	2	0,0	116,9	0,701	41,86	1,674	1302,23	0,02802
	927,2	E-Plus	100,3	2	0,0	103,3	0,146	41,87	0,350	56,84	0,00122
<b>Summen</b>							<b>0,72</b>		<b>1,73</b>	<b>1387,6</b>	<b>0,02985</b>
4	926,2	E-Plus	87,7	2	0,0	90,7	0,034	41,85	0,082	3,12	0,00007
	926,8	E-Plus	109,3	2	0,0	112,3	0,413	41,86	0,986	451,53	0,00971
	927,2	E-Plus	94,3	2	0,0	97,3	0,073	41,87	0,175	14,28	0,00031
<b>Summen</b>							<b>0,42</b>		<b>1,00</b>	<b>468,9</b>	<b>0,01009</b>
5	926,2	E-Plus	87,7	2	0,0	90,7	0,034	41,85	0,082	3,12	0,00007
	926,8	E-Plus	109,3	2	0,0	112,3	0,413	41,86	0,986	451,53	0,00971
	927,2	E-Plus	94,3	2	0,0	97,3	0,073	41,87	0,175	14,28	0,00031
<b>Summen</b>							<b>0,42</b>		<b>1,00</b>	<b>468,9</b>	<b>0,01009</b>
6	926,2	E-Plus	85,8	2	0,0	88,8	0,028	41,85	0,066	2,02	0,00004
	926,8	E-Plus	98,5	2	0,0	101,5	0,119	41,86	0,284	37,56	0,00081
	927,2	E-Plus	108,6	2	0,0	111,6	0,381	41,87	0,909	384,32	0,00827
<b>Summen</b>							<b>0,40</b>		<b>0,95</b>	<b>423,9</b>	<b>0,00912</b>
7	926,2	E-Plus	94,4	2	0,0	97,4	0,074	41,85	0,177	14,61	0,00031
	926,8	E-Plus	94,1	2	0,0	97,1	0,072	41,86	0,171	13,64	0,00029
	927,2	E-Plus	115,1	2	0,0	118,1	0,804	41,87	1,921	1716,68	0,03692
<b>Summen</b>							<b>0,81</b>		<b>1,94</b>	<b>1744,9</b>	<b>0,03753</b>
8	926,2	E-Plus	103,1	2	0,0	106,1	0,202	41,85	0,483	108,32	0,00233
	926,8	E-Plus	98,1	2	0,0	101,1	0,114	41,86	0,271	34,25	0,00074
	927,2	E-Plus	110,5	2	0,0	113,5	0,474	41,87	1,131	595,24	0,01280
<b>Summen</b>							<b>0,53</b>		<b>1,26</b>	<b>737,8</b>	<b>0,01587</b>

### **Erläuterungen zu den WLAN- bzw. WiMAX-Tabellen:**

- Spalte 1:** Nummerierung der Messpunkte.  
**Spalte 2:** Trägerfrequenz der vorhandenen Funksignale in MHz.  
**Spalte 3:** Funksystem.  
**Spalte 4:** Anzeigewert des Spektrumanalysators in dB $\mu$ V.  
**Spalte 5:** Umrechnungsfaktor zur Ermittlung der herrschenden Feldstärke (Summe aus Antennenfaktor und Kabeldämpfung in dB)  
**Spalte 6:** Korrekturfaktor aufgrund zu geringer Messbandbreite (10 MHz) im Vergleich zur Signalbandbreite (20 MHz).  
**Spalte 7:** Herrschende Feldstärke für Maximalauslastung  
<Spalte 7> = <Spalte 4> + <Spalte 5> + <Spalte 6>.  
**Spalte 8:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 7 von dB $\mu$ V/m in V/m.  
**Spalte 9:** Für die gemessene Frequenz gültiger Grenzwert nach 26. BImSchV bzw. nach EU-Ratsempfehlung.  
**Spalte 10:** Feldstärkebezogene Grenzwertausschöpfung: Quotient aus Spalte 8 und Spalte 9 in Prozent.  
**Spalte 11:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 8 von V/m in Mikrowatt/m<sup>2</sup>.  
**Spalte 12:** Leistungsbezogene Grenzwertausschöpfung: Quotient aus Spalte 11 und dem geltenden Grenzwert (10 Watt/m<sup>2</sup>) in Prozent.

### **Erläuterungen zu den GSM-Tabellen:**

- Spalte 1:** Nummerierung der Messpunkte.  
**Spalte 2:** Frequenzen der am Messpunkt vorhandenen Signalisierungssignale (BCCH) in MHz.  
**Spalte 3:** Betreiberzuordnung.  
**Spalte 4:** Vor Ort gemessene Feldstärke in dB $\mu$ V/m.  
**Spalte 5:** Summe der von der Bundesnetzagentur genehmigten Kanäle.  
**Spalte 6:** Aufschlagfaktor für Messbandbreitenkorrektur (hier zu 0 dB gesetzt, da eine Korrektur bei GSM nicht notwendig ist).  
**Spalte 7:** Hochgerechnete Feldstärke für Maximalauslastung  
<Spalte 7> = <Spalte 4> + 10·log (<Spalte 5>) + <Spalte 6>.  
**Spalte 8:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 7 von dB $\mu$ V/m in V/m.  
**Spalte 9:** Für die gemessene Frequenz gültiger Grenzwert nach 26. BImSchV bzw. nach EU-Ratsempfehlung.  
**Spalte 10:** Feldstärkebezogene Grenzwertausschöpfung: Quotient aus Spalte 8 und Spalte 9 in Prozent.  
**Spalte 11:** Umrechnung des Wertes aus Spalte 8 von V/m in Mikrowatt/m<sup>2</sup>.  
**Spalte 12:** Leistungsbezogene Grenzwertausschöpfung: Quadrat aus Spalte 10 in Prozent.

### **Verwendete Messausrüstung:**

1. Feldanalysatorsystem Narda SRM-3000 (Ser. Nr. E-0042)
2. Isotropantenne 3AX 75M-3G (Ser. Nr. 0043)
3. Spektrumanalysator Rohde & Schwarz FSP 30 (Ser. Nr. 838594/020)
4. Messantenne Rohde & Schwarz HF 906 (Ser. Nr. 361188/010)
5. 1,5 Meter dämpfungsarme Koaxialleitung

Erweiterte Messunsicherheit (K = 2): 3 dB