

Gutachten

zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische
Strahlung durch Funk-Netzwerke an der Universität Bremen

29. Oktober 2004

Auftraggeber	Universität Bremen Der Kanzler Postfach 33 04 40, 28334 Bremen
Untersuchungsobjekt	Erweiterung WLAN-System: - Richtantennen für Außeneinsatz - Wechsel von IEEE 802.11b auf IEEE 802.11g - Einsatz 5,2 GHz-Technik nach IEEE 802.11a

Inhaltsverzeichnis:

1 Auftrag und Zweck des Gutachtens	2
2 Grenz- und Vorsorgewerte.....	3
3 Das Untersuchungsobjekt.....	5
4 Mess- und Auswerteverfahren	7
5 Durchführung der Messung	11
6 Bewertung der Messergebnisse	22
7 Anhangsverzeichnis.....	28



1 Auftrag und Zweck des Gutachtens

Mit Datum vom 07.05.2004 und Bestellnr. 4000011037 erteilte die Universität Bremen, ZMML, dem nova-Institut den Auftrag, Messungen durchzuführen und ein Gutachten zu erstellen, in dem die Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch die geplante Erweiterung der Funknetze zur drahtlosen Netzwerkanbindung von Notebooks im Bereich der Universität Bremen untersucht werden soll. Das nova-Institut hat bereits im Jahr 2001 das bestehende WLAN-Netzwerk untersucht (siehe Gutachten vom 09.11.2001). Im vorliegenden Gutachten soll im Frequenzbereich bis 3 GHz das bestehende WLAN-Netz nach IEEE 802.11b mit einer neuen Technik nach IEEE 802.11g verglichen werden. Außerdem sollen die Emissionen an geplanten Außenantennen untersucht werden, die zur Versorgung der WLAN-Technik im Außenbereich des Campus (Sportstätten, Freiflächen, etc.) dienen sollen.

Weiterhin soll die Strahlungsexposition beim Einsatz des für zukünftige WLAN-Netze vorgesehenen Frequenzbereichs bei 5,2 GHz nach IEEE 802.11a untersucht werden.

Die im Text gemachten Aussagen und Bewertungen beziehen sich ausschließlich auf den Untersuchungsgegenstand und erlauben keinerlei darüber hinaus gehende Aussagen.



2 Grenz- und Vorsorgewerte

Nachstehend sind die zur Bewertung der vor Ort gemessenen Felder herangezogenen Grenz- und Vorsorgewerte aufgeführt:

Tabelle 1: Empfehlungen und Grenzwerte für die Leistungsflussdichte¹ hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung in den verschiedenen Frequenzbereichen:

	Leistungsflussdichte in mW/m ²					
	bis 400 MHz (UKW, usw.)	ab 440 MHz (UHF)	930 MHz (D-Netz)	1800 MHz (E-Netz)	2450 MHz WLAN (802.11b, g)	5200 MHz WLAN (802.11a)
Gesetzlicher Grenzwert (26. BImSchV) ²	2000	2200	4650	9000	10000	10000
Schweiz Anlagengrenzwert für Wohnbereiche	(20)*	(22)*	42	95	95	95
Salzburger Richtwert 1998 ³ (Summe GSM ⁴ außen)	(1)*	(1)*	1	1	1	1
Salzburger Richtwert 2002 (Summe GSM außen)			0,01	0,01	0,01	0,01
Salzburger Richtwert 2002 (Summe GSM innen)			0,001	0,001	0,001	0,001

* Für die eingeklammerten Werte existiert keine Definition des Ordnungsgebers. Die hier in Klammern angegebenen Werte wurden vom Sachverständigen sinngemäß ergänzt.

Erläuterung: Der gesetzliche Grenzwert in Deutschland entsprechend der 26. BImSchV (26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) stützt sich ausschließlich auf thermische Effekte, d.h. man geht davon aus, dass der einzige biologisch relevante Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung die Erwärmung des Körpergewebes ist. Der Grenzwert für die Leistungsflussdichte wird so festgelegt, dass die resultierende Erwärmung (mit

¹ Die Leistungsflussdichte ist die Messgröße, die die an einem bestimmten Ort (Immissionspunkt) vorliegende Intensität elektromagnetischer Strahlung beschreibt. Die Leistungsflussdichte wird normalerweise angegeben in Watt pro Quadratmeter (W/m²). In vorliegendem Gutachten wird der besseren Lesbarkeit wegen die Einheit mW/m² verwendet (1 W/m² = 1000 mW/m²)

² Die gesetzlichen Grenzwerte in Deutschland für elektromagnetische Strahlung stützen sich weitgehend auf Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP).

³ Dieser Wert wurde 1998 von der Landessanitätsdirektion Salzburg empfohlen und mit dem dort seinerzeit tätigen Netzbetreiber abgestimmt. Da hierbei gezeigt wurde, dass ein funktionierendes Mobilfunknetz bei Einhaltung dieses Vorsorgewertes von 1 mW/m² aufgebaut werden kann, wird der Wert in diesem Gutachten zur Beurteilung mit herangezogen.

⁴ GSM = Global System for mobile communication (Mobilfunkstandard für D- und E-Netze)



einem hinreichenden Sicherheitsabstand) unter der medizinisch tolerierbaren Erwärmung bleibt.

Viele Wissenschaftler sind der Ansicht, dass es über die direkte Erwärmung hinausgehende Auswirkungen – sog. athermische Effekte – hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung gibt. Dies könnten z.B. direkte Auswirkungen der hochfrequenten elektrischen Felder auf Körperzellen sein. Die Wissenschaftler stützen ihre Vorsorgeempfehlungen auf Effekte, die in ernst zu nehmenden wissenschaftlichen Studien gefunden wurden, über die aber keine Einigkeit in der Wissenschaft besteht. Oder anders ausgedrückt: Es gibt einen großen Grauzonenbereich, in dem Schädigungen vermutet werden, aber noch nicht mit absoluter Sicherheit nachgewiesen sind. Der gesetzliche Grenzwert liegt am oberen Ende dieser Grauzone, die Vorsorgewerte kritischer Institute basieren auf dem Ansatz eines vorsorgenden Umwelt- und Gesundheitsschutzes bei hinreichendem Verdacht auf nachteilige Wirkungen für den Menschen und liegen daher am unteren Ende dieser Grauzone.

Entsprechend der aktuellen wissenschaftlichen Kenntnislage orientiert sich das nova-Institut bei der Einschätzung möglicher Gesundheitsgefahren an zwei im europäischen Raum verwendeten Grenz- bzw. Vorsorgewerten. Zur Einschätzung der Belastung durch elektromagnetische Strahlung an Dauer-aufenthaltsplätzen, d.h. vornehmlich in Wohn- und Schlafbereichen wird die Einhaltung des Salzburger Vorsorgewertes von 1 mW/m² (1998) empfohlen. Für alle übrigen Bereiche, in denen nur temporärer Aufenthalt erfolgt, d.h. zum Beispiel für Bereiche, in denen der Aufenthalt auf einige Stunden während des Tages beschränkt ist, erscheint es nach Ansicht des nova-Instituts ausreichend, den Schweizer Anlagengrenzwert einzuhalten.

Auch haben verschiedene Gremien Vorsorgeempfehlungen ausgesprochen, von denen einige in der Tabelle im Anhang aufgeführt sind (vgl. Anlage 1).

Abgesehen von den dort genannten Empfehlungen wird zum Beispiel vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) im Rahmen der Immissionsminimierung elektromagnetischer Strahlung der Vorsorgeaspekt diskutiert. So wurden bei der Bewertung der Ergebnisse umfangreicher Immissi-



onsmessungen von Mobilfunk-Basisstationen der in der Schweiz gültige Anlagengrenzwert für Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN) als Bewertungsgröße herangezogen. Die Schweizer Werte der Leistungsflussdichte liegen ca. bei einem Hundertstel der Grenzwerte in Deutschland.

Auch das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich für Vorsorgemaßnahmen ein und empfiehlt „...unnötige Expositionen müssen vermieden und unvermeidbare Expositionen müssen so weit wie möglich minimiert werden...⁵“.

In vorliegendem Gutachten werden die Messergebnisse in Relation gesetzt zu den gesetzlichen Grenzwerten, den Schweizer Anlagengrenzwerten sowie dem Salzburger Richtwert von 1998 (vgl. Fußnote 3). Einen Überblick über weitere Grenz- und Vorsorgewerte findet sich im Anhang, **Anlage 1** „Internationale Grenz- und Vorsorgewerte“.

3 Das Untersuchungsobjekt

Das Gelände der Universität Bremen liegt im Nordwesten der Stadt Bremen an der A27, Ausfahrt Horn-Lehe. Die Universität verfügt in vielen Gebäuden über ein WLAN-System und damit über einen drahtlosen Netzwerkzugang für Notebooks.

Bei einem vorausgehenden Gutachten des nova-Instituts von 2001 war an ca. 10 Messpunkten in verschiedenen Universitätsgebäuden die Strahlungsemission von WLAN-Accesspoints untersucht worden, die nach dem bisher üblichen Standard IEEE 802.11b arbeiten (im Frequenzbereich 2,4 GHz) und bis heute in Betrieb sind.

Die Untersuchung im vorliegenden Gutachten erfolgte im Außen- und Innenbereich des Gebäudes NW 1, Otto-Hahn-Allee.

Im Rahmen dieser Untersuchung soll als Fortschreibung des vorgenannten Gutachtens nicht eine erneute Untersuchung an vielen verschiedenen Messpunkten erfolgen, sondern es sollen folgende Fragestellungen untersucht werden:

⁵ Wolfram König, Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz in seiner Eröffnungssprache zum zweiten BfS-Fachgespräch „Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“, Berlin, 25.9.2003.



1. In Erweiterung zur bisherigen Versorgung von Innenräumen ist zukünftig auch eine Versorgung von Außenbereichen vorgesehen. Dazu sollen zwei verschiedene, für Außenmontage geeignete Antennen eingesetzt werden:

- Richtantenne WL-ANT-Y12 (vgl. Foto 3 und Foto 4), vornehmlich zur Versorgung von Sportanlagen. Die Richtwirkung erfolgt in horizontaler und vertikaler Richtung.
- Rundstrahlantenne Cushcraft S2403 BP (vgl. Foto 5). Diese Antenne ist zur allgemeinen Versorgung von Freiflächen vorgesehen. Eine Richtwirkung liegt nur in vertikaler Richtung vor.

Beide Antennen haben – ebenso wie die Antennen von Mobilfunkbasisstationen – eine Richtwirkung, d.h. im Vergleich zu den kurzen „Stummel“-Antennen, die unmittelbar an den Accesspoints für Innenraumeinsatz montiert sind, senden Richtantennen die Strahlung nicht in alle Richtungen (einigermaßen) gleichmäßig aus, sondern vornehmlich in ein beschränktes Raumgebiet (bei beiden Antennen vornehmlich in Bereiche, die sich in etwa in gleicher Höhe befinden wie die Antenne). Bei der Richtantenne erfolgt zusätzlich eine horizontale Beschränkung auf einen Bereich mit ca. 120° Öffnungswinkel. Durch diese Beschränkung auf ein gewisses Raumgebiet können solche Antennen mit Richtwirkung dieses Raumgebiet mit einer höheren Feldstärke versorgen als eine ungerichtete Antenne. Dieser Effekt, der technisch als Antennengewinn bezeichnet wird, bewirkt, dass in der Hauptstrahlrichtung (dem bevorzugten Versorgungsgebiet) der Antenne höhere Feldstärken bzw. Leistungsflussdichten erreicht werden, ohne dass dazu ein zusätzlicher Verstärker eingesetzt werden muss.

Die im Umfeld dieser Antennen auftretenden Leistungsflussdichten sollen untersucht werden

2. Die WLAN-Technologie ist seit 2001 weiterentwickelt worden, insbesondere zur Erhöhung des Datendurchsatzes. Seit einiger Zeit stehen Accesspoints nach dem Standard IEEE 802.11g zur Verfügung, die im gleichen Frequenzbereich (2,4 bis 2,5 GHz) wie die bisherigen Accesspoints



nach Standard 802.11b arbeiten, im Gegensatz zu diesen aber ein anderes Modulationsverfahren OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) benutzen, das das zur Verfügung stehende Frequenzband effektiver ausnutzt und daher insgesamt höhere Datenraten als bei der bisherigen Technik möglich macht (bis 54 Mbit/sec).

In Vergleichsmessungen soll untersucht werden, ob sich das andere Modulationsverfahren auf die Strahlungsbelastung auswirkt.

3. Als weitere Option zur Erhöhung des Datendurchsatzes bietet sich die Nutzung eines anderen Frequenzbereichs an. Hierzu ist der WLAN-Standard IEEE 802.11a entwickelt worden, der im Frequenzbereich um 5,2 GHz arbeitet. Accesspoints und Notebook-Karten dieser Technologie sollen untersucht und mit der herkömmlichen Technologie verglichen werden.

4 Mess- und Auswerteverfahren

4.1 Vorgehensweise

Die Messungen wurden durchgeführt mit folgenden Messgeräten:

- Spektrumanalysator Advantest R 3131 A für die Messungen im Frequenzbereich bis 3 GHz
- Spektrumanalysator HP 8593 E für die Messungen im Frequenzbereich ab 3 GHz
- bikonische Messantenne Schwarzbeck UBA 9116 für den Frequenzbereich bis 1 GHz
- Dipolantenne Schwarzbeck UBA 9125 D mit verschiedenen Elementlängen für den Frequenzbereich ab 1 GHz.

Bei beiden eingesetzten Messantennen handelt es sich um Rundstrahl- bzw. Rundsichtantennen.

Bei den Messungen sowohl im Innen- als auch im Außenbereich wurde jeweils ein Übersichtsspektrum über den Frequenzbereich von 50 MHz bis 3 GHz aufgenommen, um zu überprüfen, ob sich seit der Messung von 2001⁶ abgesehen von den WLAN-Netzen Veränderungen bei der Immission elektromagnetischer Strahlung in den übrigen Frequenzbereichen ergeben

⁶ vgl. Gutachten des nova-Instituts vom 09.11.2001



haben. (vgl. **Diagramme 1** und **2** im Anhang). Der WLAN-Frequenzbereich wurde hierbei mit Absicht nicht betrachtet, da im Rahmen dieser Untersuchung nicht die Immissionen an typischen Aufenthaltsorten gemessen wurden, sondern WLAN-Systemvergleiche in unterschiedlichen Abständen von den Accesspoints bzw. WLAN-Antennen vorgenommen wurden. Die Einbeziehung der WLAN-Immissionen bei einem zufällig herausgegriffenen Abstand ergibt daher keinen Sinn.

Da sich abgesehen vom WLAN keine relevanten Immissionen oberhalb von 2 GHz zeigten wurde der Darstellungsbereich auf 2 GHz beschränkt.

4.2 Bestimmung der Leistungsflussdichte

Alle Untersuchungen an den WLAN-Systemen wurden bei sehr hoher Auslastung (annähernd Volllast) der jeweiligen Accesspoints vorgenommen. Dazu wurden jeweils ein zusätzliches Notebook eingesetzt, das durch Kopieren großer Dateien eine hohe Auslastung der Funkstrecke bewirkte. Da bei den Vergleichsmessungen zwischen verschiedenen WLAN-Standards die Emissionen beider Systeme in einem gemeinsamen Spektrum erfasst werden sollten, wurden hier parallel 2 Notebooks zur Lasterzeugung eingesetzt. Systembedingt senden diese Notebooks im gleichen Frequenzbereich wie die zugehörigen Accesspoints; die Notebooks wurden daher in größerer Entfernung bzw. in Nebenräumen betrieben, um die Messungen an den Accesspoints nicht zu verfälschen

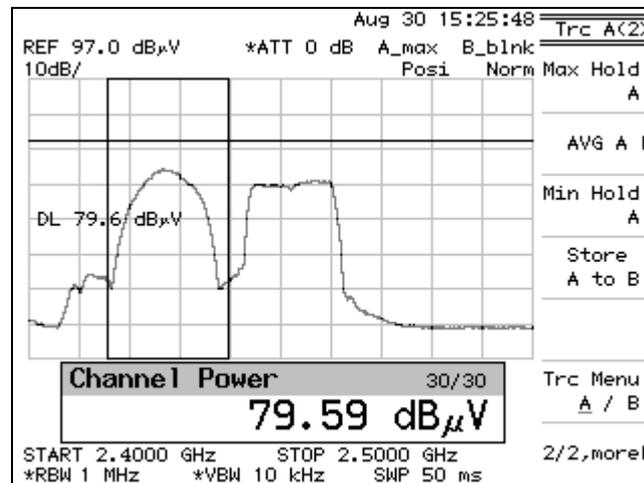
Alle Messungen wurden mit der Max-Hold-Funktion des Spektrumanalysators durchgeführt. Die Beobachtungszeit wurde dabei jeweils so lange ausgedehnt, bis sich ein vollständiges Spektrum über das gesamte vom jeweiligen Accesspoint benutzte Frequenzband ergeben hatte. Da die Accesspoints während der Messungen unter hoher Last betrieben wurden, bildet sich das Spektrum jeweils sehr schnell heraus. Durch die Messung im Max-Hold-Modus wird in jedem Fall (unabhängig von der zum Messzeitpunkt tatsächlich vorliegenden Auslastung) die maximal mögliche Emission durch den jeweiligen Accesspoint ermittelt, d.h. es wird eine Worst-Case-Betrachtung durchgeführt. Dies gilt weiterhin unabhängig davon, wie viele Notebooks im realen Betrieb parallel an einem solchen Accesspoint eingesetzt werden. Da



bei mehreren gleichzeitigen Benutzern die Systemkapazität im Zeitmultiplexverfahren auf die Benutzer aufgeteilt wird, steigt in keinem Fall die Gesamtemission über die hier ermittelten Werte, sondern es reduziert sich die einem einzelnen Benutzer zur Verfügung stehende Datenübertragungskapazität.

4.2.1 Integration der Spektren

Die einzelnen Kanäle von WLAN-Accesspoints nach IEEE 802.11 belegen eine Bandbreite von jeweils ca. 20 MHz. Im folgenden Beispielspektrum einer Vergleichsmessung ist dies gut zu erkennen sowohl an dem Signal eines Accesspoints nach IEEE 802.11b (linker Peak) als auch an dem Signal eines Accesspoints nach IEEE 802.11g (rechter Peak).



Da die belegte Bandbreite von ca. 20 MHz wesentlich größer ist als die Auflösungsbandbreite des Spektrumanalysators (RBW) von 1 MHz kann die Leistungsflussdichte nicht einfach durch Ablesen der maximalen Peakhöhe im Spektrum bestimmt werden, sondern es muss eine Integration über den gesamten Kanal vorgenommen werden. Der Spektrumanalysator kann für jede Messung immer nur einen solchen Kanal mittels der Channel-Power-Funktion integrieren, wie dies im obigen Beispiel für den linken Peak dargestellt wird (die waagerechte Linie im oberen Teil des Spektrums entspricht dem Integrationsergebnis). Bei der späteren Auswertung erfolgt eine entsprechende Integration für alle relevanten Peaks.

4.2.2 Einsatz mehrerer Antennen an einem Accesspoint

An den Accesspoints für Inneneinsatz sind meist 2 Antennen montiert. Dementsprechend werden auch die für den Außeneinsatz vorgesehenen Anten-



nen paarweise eingesetzt. Diese beiden Antennen eines Accesspoints werden entweder dezidiert nur für Sende- oder Empfangsbetrieb genutzt oder die Betriebsart wird im Zeitmultiplexverfahren zwischen den beiden Antennen gewechselt (Normalfall). Für die Durchführung der Messung ist es sehr wichtig, dass zu keinem Zeitpunkt beide Antennen parallel im Sendebetrieb arbeiten, da sich ansonsten Interferenzstrukturen im Strahlungsfeld herausbilden würden, die detaillierter untersucht werden müssten.

4.3 Messunsicherheiten

Eine Messung im Hochfrequenzbereich erstreckt sich typischerweise über viele Größenordnungen der Leistungsflussdichte und ist zum Beispiel auf Grund der Kalibrierpräzision der eingesetzten Messgeräte und Messantennen immer mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Um im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung als Endergebnis einer Untersuchung eine Aussage der Art „Die Strahlungsimmission ist nicht höher als ...“ treffen zu können, werden die bei der Messung ermittelten Werte mit einem Sicherheitsaufschlag zur Berücksichtigung der Messunsicherheiten versehen.

Zu den Messunsicherheiten gehören in diesem Fall u.a.

- Kalibrierung des Spektrumanalysators
- Kalibrierung der Messantennen
- Genauigkeit der Abstandsmessung
- Exemplarstreuungen der Accesspoints

Die Messunsicherheit des gesamten Messsystems wird für die Messungen im Außenbereich mit 3 dB abgeschätzt. Zusätzlich zu den oben genannten Punkten sind darin berücksichtigt die Verfälschungen durch leichte Geländeunebenheiten sowie Reflexionen an Gebäudewänden.

Im Innenbereich hat die Reflexion der Strahlung an Gebäudewänden, -decken und -böden erheblichen Einfluss auf die Immission an einem bestimmten Ort. Die Leistungsflussdichten in Innenräumen unterliegen daher deutlich größeren Schwankungen als im Außenbereich. Zur Berücksichtigung dieses Effekts wurde – wiederum im Sinne einer Worst-Case-Abschätzung – für alle Innenraummessungen ein zusätzlicher Sicherheitsaufschlag von weiteren 3 dB, also insgesamt 6 dB angebracht. Dies dient vor allem zur Berücksichtigung der Tatsache, dass bei der Auswahl des konkreten Mess-



punktes – bedingt durch kleinräumige Schwankungen der Feldstärke – eventuell nicht der am höchsten belasteten Punkt erfasst wurde.

Für die Berechnung der in den Tabellen 2, 3 und 4 (Außenbereich) angegebenen Leistungsflussdichten wurde zu den Originalmesswerten der Sicherheitsaufschlag von 3 dB hinzuaddiert, wodurch die dort genannten Leistungsflussdichten um den **Faktor 2** höher liegen als die tatsächlichen Messwerte. Analog dazu wurde für die Berechnung der in den Tabellen 5 bis 7 (Innenbereich) angegebenen Leistungsflussdichten zu den Originalmesswerten der Sicherheitsaufschlag von 6 dB hinzuaddiert, wodurch die dort genannten Leistungsflussdichten um den **Faktor 4** höher liegen als die tatsächlichen Messwerte.

5 Durchführung der Messung

Datum der Messungen: Mittwoch, 26.05.2004, 09:00 bis 19:30 Uhr
Montag, 30.08.2004, 11:00 bis 16:00 Uhr

5.1 Vorgehensweise

Zu Beginn erfolgte eine Einführungsbesprechung an der folgende Personen teilnahmen:

Jürgen Bürhop, Herr Grueger (Arbeitssicherheit), Horst Gudat (Personalrat), Andreas Könsgen, Heinrich Masemann (Hochfrequenzlabor), Niels Pollem, Karl-Heinz Volk, alle Universität Bremen

Dr. Peter Nießen und Monika Bathow vom nova-Institut.

Der Messablauf wurde wie folgt festgelegt:

1. Aussenmessungen
Hierbei sollen die Immissionen der für den Aussenbetrieb (Campus und Sportplätze) gedachten Antennen (Richt- und Rundstrahlantennen) untersucht werden.
2. Messungen an Accesspoints 2,4 GHz bisheriger (IEEE 802.11b) und neuer Technik (IEEE 802.11g)
3. Messungen an Accesspoints der 5,2 GHz-Technik (IEEE 802.11a).



Die Messpunkte wurden mit den Mitarbeitern der Universität abgesprochen. Karl-Heinz Volk und Andreas Könsgen standen den Mitarbeitern des nova-Instituts als Ansprechpartner während des Messtages zur Verfügung.

Es wird im Innen- und Außenbereich an jeweils einem Messstandort eine Übersichtsmessung über den gesamten Frequenzbereich von 50 MHz bis 3 GHz vorgenommen, um die Belastung durch das WLAN-System in Relation setzen zu können zu Belastungen in anderen Frequenzbereichen.

5.2 Antennen für Außeneinsatz

In den beiden folgenden Abbildungen (Foto 1 und Foto 2) sind die Messstandorte im Aussenbereich des Universitätsgebäudes NW 1 dokumentiert. Beim ersten Standort (vgl. Foto 1) vor dem Eingang des Gebäudes der Naturwissenschaften konnten jedoch die Emissionen der zu untersuchenden Antennen nicht korrekt bestimmt werden, da die Messergebnisse durch im gleichen Frequenzbereich arbeitende Accesspoints innerhalb des Gebäudes sowie Ad-hoc-Netze verfälscht wurden.

Als Standort für die Untersuchung der Außenantennen wurde daraufhin die Gebäuderückseite mit Blick zur Freifläche gewählt (vgl. Foto 2).



Foto 1: Messstandort 1, Gebäude NW 1, vor dem Eingang



Foto 2: Messstandort 2, Gebäude NW 1, Rückseite

5.2.1 Richtantenne WL-ANT-Y12

Zunächst wurden die Immissionen zentral vor der Vorderseite der Richtantenne WL-ANT-Y12 gemessen. Dazu wurde ein Notebook zur Speisung des die Richtantenne versorgenden Accesspoints eingesetzt. Der Accesspoint wurde in der Betriebsart 802.11b und mit 50 mW Ausgangsleistung betrie-



ben. Ein weiteres Notebook in ca. 50 m Abstand diente zur Erzeugung von Datenübertragungslast, so dass der Accesspoint bei annähernd Vollast arbeitete. Die Richtantennen wurden bei der Messung über 15m lange Anschlusskabel betrieben, deren Dämpfung (3,54 dB bei 2440 MHz) bei der Auswertung der Messergebnisse herausgerechnet wurde.

Die Messungen erfolgten in verschiedenen Abständen zentral vor einer der beiden Richtantennen. Zum paarweisen Einsatz der Antennen siehe auch die Diskussion in Kap. 4.2.2.

Die beiden Abbildungen in Foto 3 und Foto 4 dokumentieren den Messaufbau. Die Unterkante der Richtantenne befand sich beim Messaufbau ca. 2 m über dem Erdboden, die Messhöhe betrug 2,15 m mittig vor der Antenne. Bei Probemessungen wurde die Polarisationsrichtung überprüft. Da dabei festgestellt wurde, dass sowohl die Richt- als auch die Rundstrahlantenne ein vertikal polarisiertes Signal liefern, wurde für alle Messungen im 2,4 GHz-Bereich die Messantenne auf vertikale Polarisation eingestellt. Die Messergebnisse für die Richtantenne WL-ANT-Y12 sind in den **Tabellen 2** und **3** im Anhang dargestellt. Die bei der Abstandsverteilung angegebenen Abstände sind stets von der Vorderseite der Antenne (Vorderkante Radom) bis zur Messantenne gemessen. Die Richtantenne hat eine vertikale Ausdehnung von ca. 50 cm, die Unterkante der Antenne befand sich bei den Messungen in 2,00 m über Boden. Die Messungen wurden in drei Situationen vorgenommen:

1. Mittig vor der Vorderseite, Messhöhe 2,15 m (vgl. Foto 3). Diese Messhöhe auf gleicher Höhe mit der Sendeantenne ist bei der vorgesehenen Montagehöhe der Antennen nur relevant für Wartungsarbeiten etc.
2. Mittig vor der Vorderseite, Messhöhe 1,30 m (diese Messhöhe wurde gewählt, da diese bei der vorgesehenen späteren Montagehöhe der Antenne (3 m) der Kopfhöhe eines aufrecht stehenden großen Menschen entspricht.
3. Mittig vor der Rückseite der Antenne, Messhöhe 2,15 m (vgl. Foto 4). Diese Messhöhe wurde gewählt, da auf der gleichen Höhe mit der Sendeantenne mit den höchsten Immissionen zu rechnen ist und die Immis-

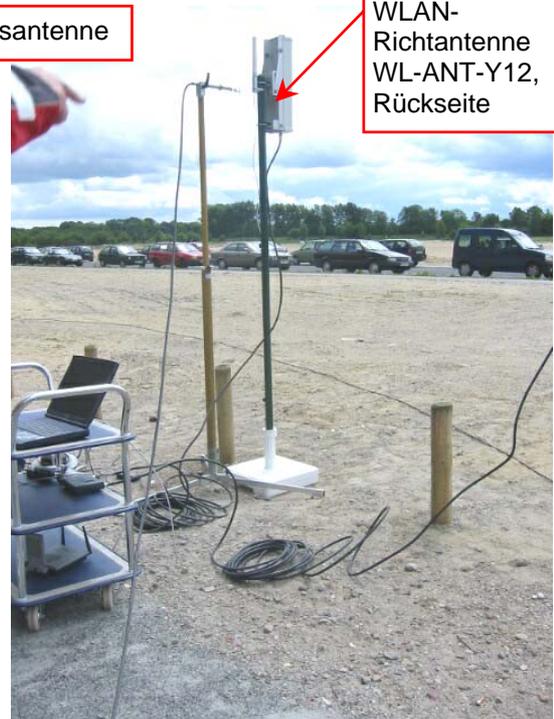


sionen an der Rückseite vornehmlich für Menschen interessant sind, die in dem Gebäude arbeiten, an dessen Aussenwand die Antennen montiert werden. Dabei kann es durchaus vorkommen, dass die Aufenthaltsbereiche von Menschen sich auf der gleichen Höhe befinden wie die an der Aussenwand des Gebäudes montierten Antennen.



WLAN-Richtantenne WL-ANT-Y12, Vorderseite

Messantenne

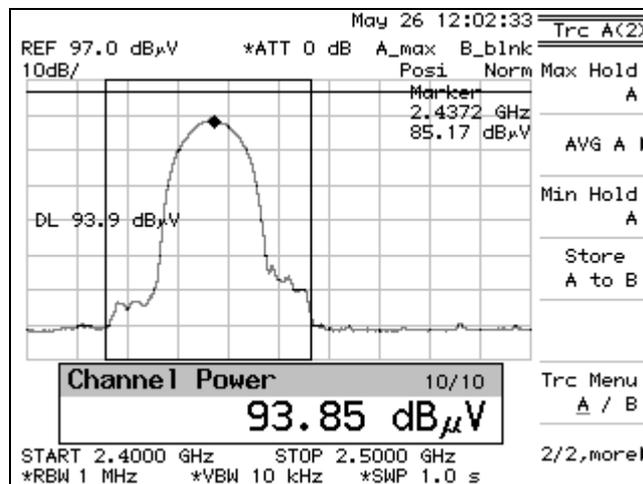


WLAN-Richtantenne WL-ANT-Y12, Rückseite

Foto 3: Messaufbau Richtantenne WL-ANT-Y12, Abstandsmessung an der Antennenvorderseite ab Vorderkante Radom

Foto 4: Messaufbau Richtantenne, Abstandsmessung an der Antennenrückseite ab Gehäuserückseite

Die folgende Abbildung zeigt ein typisches Spektrum dieser Messung (Betriebsart IEEE 802.1b)





Erläuterungen

Wie die Messergebnisse in Tabelle 2 und 3 im Anhang zeigen wurden die höchsten Werte an der Antennenvorderseite gemessen in gleicher Höhe wie die Sendeantenne. Die in dieser Höhe an der Vorderseite der Sendeantenne vorgenommenen Messungen dienen nur als Vergleich und haben für den Normaleinsatz keine praktische Bedeutung, da sich in dieser Höhe keine Menschen aufhalten.

Bei den Messergebnissen in 1,30 m Höhe (entsprechend Kopfhöhe beim späteren Einsatz) liegen die höchsten Werte im Abstand von 5,00 m bis 6,50 m zur Sendeantenne (bis ca. 2,2 mW/m²).

Bei den Messungen an der Antennenrückseite liegt der höchste Wert im Abstand von 0,20 m und in Höhe der Sendeantenne (2,15 m) bei ca.

7,5 mW/m². Diese Messposition ist weniger relevant für Personen, die sich im Außengelände aufhalten als für Personen im Inneren des Gebäudes, an dem die Antennen ggf. montiert werden.

5.2.2 Rundstrahlantenne Cushcraft S2403 BP

Die Messung an den Rundstrahlantennen Cushcraft S2403 BP ist in den folgenden Fotos dokumentiert. Der Messaufbau erfolgte weitgehend analog zu den im vorigen Kapitel dargestellten Messungen an den Richtantennen. Die Messergebnisse sind in **Tabelle 4** im Anhang dargestellt.

Die Antenne war im Versuchsaufbau in 2,40 m Höhe über dem Boden montiert (Antennenmitte). Dies entspricht fast der später vorgesehenen Montagehöhe von 2,50 m. Die Messungen wurden für folgende Höhen vorgenommen:

1. auf gleicher Höhe mit der Sendeantenne (in der unmittelbaren Nähe der Antenne in 2,40 m Höhe, in größerem Abstand wegen des einfacheren Messaufbaus in 2,20 m Höhe)
2. in 1,90 m Höhe. Diese Messhöhe wurde gewählt, da diese bei der vorgesehenen späteren Montagehöhe der Antenne von 2,40 m der Kopfhöhe eines aufrecht stehenden großen Menschen entspricht.



Foto 5: Messaufbau an der Rundstrahlantenne

An den Antennenmasten sind zusätzlich noch die Richtantennen von der vorigen Messung (vgl. Kap. 5.2.1) montiert, die aber hier nicht in Betrieb sind. Damit die Richtantennengehäuse nicht als Reflexionskörper wirken, wurden diese 90° zur Seite geschwenkt.

Erläuterungen

Zur Beurteilung der realen Bedingungen sind die Messergebnisse in 1,90 m Messhöhe relevant. Hier wurden 50 cm unterhalb der Antenne ca. 5 mW/m² gemessen. Im Unterschied zur Richtantenne WL-ANT-Y12 zeigt die Antenne Cushcraft S2403 BP keine so ausgeprägte Nebenkeulenstruktur wie die zuvor untersuchte Richtantenne. Die Leistungsflussdichten nehmen daher mit der Entfernung zur Sendeantenne kontinuierlich ab.

5.3 Übersichtsmessungen

Im Anschluss an die Einzelmessungen erfolgte eine Übersichtsmessung am gleichen Standort, an dem die Einzelmessungen durchgeführt worden waren. Während der Übersichtsmessung waren die WLAN-Testsender abgeschaltet. Der Messplatz war ausgewählt worden, um dort keine Signale von sonstigen WLAN-Accesspoints auf dem Universitätsgelände empfangen zu können. Die Übersichtsmessung erfolgte zunächst über den Frequenzbereich von 50 MHz bis 3 GHz, wobei erwartungsgemäß keine WLAN-Signale festgestellt und auch keine anderen Quellen oberhalb von 2 GHz beobachtet wurden. Insbesondere wurden keine relevanten Intensitäten im Frequenzbereich der UMTS-Mobilfunknetze beobachtet. Daher wurde die Übersichtsmessung auf den Frequenzbereich von 50 MHz bis 2 GHz beschränkt. Das Ergebnis der



Messung ist in **Diagramm 1** im Anhang dargestellt. Insgesamt zeigte sich bei den Übersichtsmessungen keine wesentliche Veränderung gegenüber der Situation von 2001, so dass auch die im vorigen Gutachten getroffenen Aussagen zu externen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung weiterhin Gültigkeit haben (vgl. Fußnote 6, S. 7). Die wesentlichen Intensitäten liegen in den Frequenzbereich der UKW-Rundfunksender, Fernsehsender sowie der D-Netz-Mobilfunksender.

Ein weiteres Übersichtsspektrum wurde im Gebäude NW1 (Flurbereich vor Raum S 2250) aufgenommen (s. **Diagramm 2** im Anhang). Hierbei zeigt sich insgesamt eine deutlich verringerte Intensität im Vergleich zum Außenbereich. Man beachte, dass im Gebäudeinnern die wesentlichen Intensitäten im Mobilfunkbereich durch Handys und nicht durch Mobilfunkbasisstationen hervorgerufen werden.

5.4 Vergleichsmessungen an Accesspoints bisheriger und neuer Technik bei 2,4 GHz

Um die Accesspoints nach Standard IEEE 802.11b (bisher genutzte Technik) mit den Accesspoints nach Standard IEEE 802.11g (neue Technik mit höherer Datenübertragungsrate) vergleichen zu können, wurde im Hörsaal des Gebäudes NW1 eine Testinstallation aufgebaut, bei der ein bisheriger Accesspoint (Cisco AIRONET 340, IEEE 802.11b, s. Foto 6) und ein neuer Accesspoint (Cisco 1200, IEEE 802.11g, s. Foto 7) nebeneinander installiert wurden. Der Gesamtaufbau der Testinstallation ist in Foto 8 dargestellt. In Foto 9 ist die Parallelinstallation der beiden Accesspoints sowie die davor angeordnete Messantenne zu erkennen.



Foto 6: Accesspoint Cisco AIRONET 340 Series (IEEE 802.11b)



Foto 7: Accesspoint Cisco 1200 Series (IEEE 802.11g)



Foto 8: Testinstallation im Hörsaal



Foto 9: Parallelbetrieb von Accesspoints bisheriger und neuer Technik

Die beiden Accesspoints wurden auf unterschiedliche Kanäle eingestellt, so dass deren Signale im Spektrum bei unterschiedlichen Frequenzen auftreten. Dadurch können die Signale beider Accesspoints in einem gemeinsamen Spektrum gemessen und analysiert werden. Ein typisches Spektrum dieser Vergleichsmessung wurde bereits in Kap. 4.2.1 dargestellt.

Zur Vermeidung der Verfälschung der Messung durch reflektierende, absorbierende oder leitfähige Materialien in der Nähe der Accesspoints wurde die Testinstallation auf 2 Pappkartons aufgebaut, da das Strahlungsfeld durch das Kartonmaterial nicht wesentlich beeinflusst wird.

Um Einflüsse durch Reflexionen an den Wänden des Hörsaals zu minimieren wurden nach Messung der Abstandsverteilung die Standorte der beiden Accesspoints getauscht (links - rechts) und die Messung wiederholt. Als Ergebnisse der Vergleichsmessungen sind in **Tabelle 5** im Anhang die Mittelwerte der beiden Einzelmessungen dargestellt.



5.5 Accesspoints nach IEEE 802.11g (neue 2,4 GHz-Technik)

Zur weiteren Untersuchung von Accesspoints und Notebook-Karten nach IEEE 802.11g, die im gleichen Frequenzbereich wie das bisherige WLAN-System arbeiten, aber einen höheren Datendurchsatz bieten, wurden Einzelmessungen in diesem Frequenzbereich durchgeführt. Vor Beginn der eigentlichen Messungen wurde die Leistungseinstellung des Accesspoints (Cisco 1200 Series) überprüft. Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

Messsituation	Leistungsflussdichte
70 cm Abstand, Einstellung max	2,34 mW/m ²
70 cm Abstand, Einstellung 30 mW	2,40 mW/m ²
70 cm Abstand, Einstellung 10 mW	0,97 mW/m ²

Man beachte, dass im Gegensatz zu den Ergebnistabellen im Anhang bei den in vorstehender Tabelle genannten Daten kein Sicherheitsaufschlag eingerechnet wurde, da diese Messung eher der technischen Einschätzung des Accesspoints dienen soll. Es ist klar zu erkennen, dass zwischen den Einstellungen „max“ und „30 mW“ kein Unterschied besteht.

Die nachfolgenden Messungen an den Accesspoints erfolgten bei der Leistungseinstellung „max“ und wurden in verschiedenen Abständen an zwei Messstandorten vorgenommen:

1. Gebäude NW1, Flur vor Raum S2300 (vgl. Foto 12)

Dies ist eine typische Situation für kleinere Räume und schmale Flure, in denen mit relativ hohen Reflexionen zu rechnen ist.

2. Gebäude NW1, Hörsaal (vgl. Foto 8)

Die Messdaten hierzu entstammen der Vergleichsmessung aus Kap. 5.4. Dies entspricht einer typischen Situation in größeren Räumen oder Innenraumfreiflächen, bei denen zumindest im Nahbereich der Accesspoints weniger Reflexionen zu erwarten sind

Die Ergebnisse sind in **Tabelle 6** im Anhang dargestellt. An den beiden Abstandsverteilungen ist gut zu erkennen, dass es bei der Strahlungsimmission in typischen Innenräumen keineswegs nur auf den Abstand ankommt, sondern die baulichen Gegebenheiten in der Umgebung einen starken Einfluss haben und einzelne Messwerte daher durchaus erheblich vom allgemeinen



Trend abweichen können. Besonders auffällig wird dies bei den beiden Messungen in 2,50 m Abstand, die sich um mehr als den Faktor 5 unterscheiden. Unabhängig von auffälligen Einzelmesspunkten ist in beiden Messungen ein klarer Trend erkennbar. Insgesamt ergibt sich aus den beiden Abstandsmessungen ein guter Überblick über mögliche Immissionen in der Nähe der Accesspoints. Unter Berücksichtigung des bei allen Messungen im Innenraum angewandten Sicherheitsaufschlags von 6 dB (das entspricht einer Erhöhung der Messwerte um den Faktor 4) können die in Tabelle 6 angegebenen Werte mit Sicherheit als Worst-Case-Abschätzung betrachtet werden. Anschließend erfolgte eine Messung an den WLAN-Netzwerkkarten der Notebooks. Untersucht wurde hier eine Karte „Buffalo G54“ für den Einsatz im Bereich IEEE 802.11g. Die Messung erfolgte im Gebäude NW 1 im Flur vor Raum 2250 und ist in den folgenden Abbildungen (Foto 10 und Foto 11) dokumentiert. Foto 11 zeigt eine Abstandsmessung an der Notebook-Karte. Die Messergebnisse sind in Tab. 6 dargestellt und werden in Kapitel 6.4 diskutiert.



Foto 10: Messinstallation im Flur vor Raum 2250



Foto 11: Messung an den WLAN-Netzwerkkarten der Notebooks

5.6 Accesspoints nach IEEE 802.1a (5,2 GHz-Bereich)

Die Messungen erfolgten im Gebäude NW1 im Flur vor Raum S2300 (vgl. Foto 12 sowie in Raum S2300 (Teeküche, vgl. Foto 13). An der Wand zu Raum S2300 wurde oberhalb der Tür ein Accesspoint der Serie Cisco 1200 testweise installiert (vgl. Foto 14) und von einem Notebook gespeist.

Die Ergebnisse der Messungen an den Accesspoints im 5,2-Gigahertz-Bereich sind in **Tabelle 7** im Anhang dargestellt und werden in Kapitel 6.5 diskutiert.



Foto 12: Messaufbau im Flur vor Raum S2300



Foto 13: Messung im Raum S2300 (Teeküche)



Foto 14: Testinstallation Accesspoint vor Raum S2300



6 Bewertung der Messergebnisse

Die gesetzlich festgelegten Grenzwerte für elektromagnetische Strahlung entsprechend der 26. BImSchV sind in Kapitel 2 für die vorkommenden Frequenzen beschrieben. Außerdem sind dort Vorsorgewerte und Regelungen in anderen Institutionen und anderen europäischen Staaten genannt.

Erwartungsgemäß werden die gesetzlichen Grenzwerte in allen Messpositionen und an allen Messpunkten weit unterschritten. Dies gilt ebenso für die Arbeitssicherheitsvorschriften der Berufsgenossenschaft.

Aufgrund des nach wie vor unsicheren wissenschaftlichen Kenntnisstandes bezüglich der biologischen Wirkungen unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte raten kritische Wissenschaftler und auch offizielle Stellen zur Vorsorge. Daher werden – wie in Kapitel 2, S. 3 erläutert – die gemessenen Werte im vorliegenden Gutachten in Relation gesetzt sowohl zu den gesetzlichen Grenzwerten in Deutschland als auch zu den Anlagengrenzwerten in der Schweiz sowie dem Salzburger Richtwert von 1 mW/m² (vgl. Fußnote 3, S. 3). Das nova-Institut empfiehlt für Daueraufenthaltsbereiche wie Wohnungen, Schlafplätze und ggf. Dauerarbeitsplätze die Einhaltung des Salzburger Richtwertes⁷. Für Bereiche mit temporärem Aufenthalt, d.h. einige Stunden pro Tag, hält das nova-Institut die Einhaltung des Schweizer Anlagengrenzwert für hinreichend.

6.1 Antennen für den Außeneinsatz

Die in diesem Gutachten untersuchten Antennen mit Richtwirkung (Richtantenne WL-ANT-Y12 und Rundstrahlantenne S2403 BP) sind für die Versorgung von Freigeländen im Außenbereich vorgesehen. Die Antennen werden dabei typischerweise in solchen Höhen über dem Erdboden montiert, dass sich keine Personen unmittelbar vor diesen Antennen aufhalten werden. Die Messungen in gleicher Höhe mit den Antennen erfolgten daher – was die Richtung zum Außengelände angeht – nur der Vollständigkeit halber, da Personen, die sich auf dem Freigelände aufhalten, nicht in die Höhe der An-

⁷ Hier sei verwiesen auf das Gutachten des nova-Instituts vom 9.11.2001. Am MP 1 (Raum 122, NW 1) wurden dort seinerzeit ca. 2,5 mW/m² gemessen. Der Accesspoint wurde an einen vom Arbeitsplatz weiter entfernten Standort verlegt.



tennen gelangen. Zur Beurteilung der Situation auf dem Freigelände wurden daher Messungen in geringerer Höhe vorgenommen, die bei der vorgesehenen Montageposition der Kopfhöhe großer Menschen entsprechen.

6.2 Richtantenne WL-ANT-Y12

Die Ergebnisse der Abstandsmessungen an der Richtantenne WL-ANT-Y12 sind in Tabelle 2 im Anhang dargestellt. Die höchsten Werte werden hier gemessen auf gleicher Höhe mittig vor der Antenne mit knapp 300 mW/m^2 in 20 cm Abstand und ca. 90 mW/m^2 in einem Meter Abstand. Im Hauptstrahl der Antenne liegt also die Leistungsflussdichte im Abstand von einem Meter knapp unterhalb des Schweizer Anlagengrenzwertes. Die Montagehöhe ist – wie schon erwähnt – so vorgesehen, dass sich im Normalfall niemand hier aufhalten kann. Für Wartungsarbeiten an der Antenne oder in ihrer Nähe, bei denen der Abstand weniger als 1 m beträgt, sollte die Antenne daher aus Vorsorgegesichtspunkten abgeschaltet werden. Dies gilt insbesondere für empfindliche Personen oder Implantatträger.

Bei der Abstandsverteilung in 1,30 m Messhöhe (dies entspricht bei der späteren Montagehöhe der Kopfhöhe eines großen stehenden Menschen) zeigt sich im Nahbereich der Antenne ein sehr wechselhafter Verlauf der Leistungsflussdichten, wie er auch von Richtantennen bekannt ist, die bei Mobilfunkbasisstationen eingesetzt werden.

An allen Messpunkten weit unterschritten wird der Schweizer Anlagengrenzwert. Gegen einen temporären Aufenthalt bestehen daher im gesamten Umfeld der Antenne aus Sicht des nova-Instituts nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine Bedenken.

Der Salzburger Richtwert von 1 mW/m^2 wird ab 12 m Entfernung von der Antenne unterschritten; es wird daher empfohlen für Daueraufenthaltsplätze wie Wohn- und Schlafbereich ggf. Dauerarbeitsplätze eine Entfernung von 12 m zur Frontseite der Antenne einzuhalten.

Die Messungen an der Antennenrückseite sind hauptsächlich für den Fall relevant, dass die Antenne an der Außenwand eines bewohnten Gebäudes angebracht ist. Wie die Messergebnisse in Tabelle 3 im Anhang zeigen, wird der Schweizer Anlagengrenzwert auf der Rückseite in allen Messabständen



eingehalten, für temporäre Aufenthalte ist daher die Empfehlung eines Mindestabstandes nicht erforderlich. Der Salzburger Richtwert von 1 mW/m^2 wird ab einer Entfernung von 1,25 m von der Rückseite eingehalten. Für die Antennenmontage wird daher empfohlen, dass sich keine Daueraufenthaltsplätze innerhalb von 1,25 m von der Rückseite der Antenne befinden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass bei den genannten Werten die Dämpfung der Wandmaterialien nicht berücksichtigt wurde und die Belastung in realistischen Situationen auf jeden Fall niedriger ausfällt als hier angegeben.

6.3 Rundstrahlantenne Cushcraft S2403 BP

Entsprechend der Rundstrahlcharakteristik der Antenne S2403 BP entfällt bei dieser Antenne natürlich die Unterscheidung der Immissionen an Front- und Rückseite.

Die Montagehöhe ist auch bei dieser Antenne so vorgesehen, dass sich im Außenbereich normalerweise niemand auf der gleichen Höhe mit der Antenne aufhalten kann, trotzdem wurden auch bei dieser Antenne Messungen auf gleicher Höhe mit der Antenne (hier: 2,40 m und 2,20 m Messhöhe) vorgenommen. Wie bei der Richtantenne WL-ANT-Y12 wurden hier ebenfalls die höchsten Werte bei der Messung in gleicher Höhe mit der Antenne ermittelt (ca. 225 mW/m^2 in 20 cm Abstand, vgl. Tabelle 4 im Anhang). In 50 cm Abstand wird der Schweizer Anlagengrenzwert eingehalten. Für Wartungsarbeiten an der Antenne, bei denen man dichter als 0,50 m an die Antenne herankommt, wird hier entsprechend den Ausführungen im vorigen Kapitel 6.2 ebenfalls empfohlen, die Antenne abzuschalten.

Wichtiger für den normalen Einsatzbereich der Antenne ist die Messung der Abstandsverteilung in 1,90 m Messhöhe, da dies bei der später vorgesehenen Montageposition der Kopfhöhe eines großen stehenden Menschen entspricht. In dieser Höhe wird der Schweizer Anlagengrenzwert an allen Messpunkten weit unterschritten (vgl. Tabelle 4 im Anhang). Ein temporärer Aufenthalt in bis zu 2m Höhe über dem Boden ist daher aus Sicht des nova-Instituts im gesamten Umfeld der Antenne unbedenklich.

Der Salzburger Richtwert von 1 mW/m^2 wird ab 7 m Entfernung von der Antenne unterschritten. Es wird daher empfohlen, für Daueraufenthaltsplätze



wie Wohn- und Schlafbereich und ggf. Dauerarbeitsplätze eine Entfernung von 7 m zu der Antenne einzuhalten.

Da es sich um eine Rundstrahlantenne handelt, sind bei der Montage an Außenwänden von bewohnten Gebäuden grundsätzlich ebenfalls die vorgenannten Abstände zu Daueraufenthaltsplätzen einzuhalten. Die unterschiedlichen Messhöhen spielen bei dieser Antenne eine wesentlich geringere Rolle als bei der Richtantenne und brauchen daher nicht näher berücksichtigt zu werden. Ohne Kenntnis der dämpfenden Eigenschaften der Wandmaterialien wird ein Sicherheitsabstand von 7 m empfohlen. In realistischen Fällen wird der erforderliche Sicherheitsabstand durch die Dämpfung des Wandmaterials zwar erheblich geringer ausfallen, kann aber im Rahmen dieser Untersuchung nicht konkret angegeben werden. Ggf. muß die Dämpfung des Wandmaterials an der vorgesehenen Montageposition durch eine Messung oder Berechnung überprüft werden. Falls es sich bei der Außenwand um eine Metallfassade handelt, ist deren Dämpfung allerdings so hoch, dass davon ausgegangen werden kann, dass im Inneren des Gebäudes die Vorsorgeempfehlungen eingehalten werden.

6.4 Vergleich Accesspoint 802.11b mit 802.11g

Wie in Kapitel 5.4, S.17 beschrieben führt das bei den Accesspoints neuerer Technik nach IEEE 802.11g verwendete Modulationsverfahren OFDM zu einer gleichmäßigeren Belegung des Spektrums. Zumindest bei den hier untersuchten Accesspoints führt dies im Ergebnis dazu, dass die Gesamtleistungsflussdichte (aufintegriert über das benutzte Frequenzband) etwas geringer ausfällt als bei den bisherigen Accesspoints nach dem Standard 802.11b (vgl. Tabelle 5 im Anhang).

Nach Kenntnis des nova-Instituts liegen keine Erkenntnisse darüber vor, dass das bei den Accesspoints nach IEEE 802.11g eingesetzte Modulationsverfahren OFDM andere biologische Auswirkungen zeigt als das bisherige.

Auf die niederfrequente Pulshaltigkeit des Signals – von der biologische Auswirkungen zumindest nicht ausgeschlossen werden können – hat das verwendete Modulationsverfahren OFDM keinen Einfluss. Die Pulshaltigkeit



wird wie bisher fast ausschließlich von der Auslastungssituation des WLAN-Netzes bestimmt.

Insgesamt kann somit ausgesagt werden, dass durch den Wechsel der eingesetzten WLAN-Technik von IEEE 802.11b auf IEEE 802.11g keine Erhöhung der Strahlungsbelastung auftritt.

6.4.1 WLAN-Notebook-Karten nach IEEE 802.11g (2,4 GHz)

Wie die Messergebnisse an den WLAN-Netzwerkkarten zeigen (vgl. Tabelle 6 im Anhang) wird im Abstand von 40 cm der Salzburger Richtwert von 1 mW/m^2 eingehalten, so dass ab diesem Abstand aus Sicht des nova-Instituts nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand auch gegen eine längere Nutzungszeit keine Bedenken bestehen. Die Leistungsflussdichten bei der untersuchten Karte Buffalo G54 sind deutlich niedriger als bei den im Gutachten des nova-Instituts vom 09.11.2001 untersuchten Notebook-Karten nach IEEE 802.11b (vgl. Tab. 6 des damaligen Gutachtens). Insgesamt ist damit festzustellen, dass bei den Accesspoints als auch bei den Notebook-Karten mit dem Wechsel nach IEEE 802.11g eine Verringerung der Strahlungsbelastung eintritt.

6.5 Accesspoints nach IEEE 802.11a (5,2 GHz)

Wie die Messergebnisse in Tabelle 7 im Anhang zeigen, werden die Anlagengrenzwerte der Schweiz an allen Messpunkten weit unterschritten. Der höchste Messwert beträgt ca. 6 mW/m^2 in 0,70 m Abstand zum Accesspoint und erreicht damit ca. 6,5 % des Schweizer Anlagengrenzwertes.

In der näheren Umgebung des Accesspoints (bis ca. 3 m) werden bei freier Sicht zum Accesspoint Leistungsflussdichten im Bereich von 1 bis 10 mW/m^2 erreicht. Die Leistungsflussdichten der Accesspoints nach IEEE 802.11a bei 5,2 GHz liegen damit durchweg etwas niedriger als die im Rahmen dieser Untersuchung ausgemessenen Accesspoints nach IEEE 802.11b und 802.11g bei 2,4 GHz.

Ohne direkte Sichtverbindung ist bei der hier verwendeten Frequenz von 5,2 GHz die Dämpfung von üblichen Tür- und Wandmaterialien auch bei dünnen Wänden bereits so hoch, dass sich nur noch sehr geringe Leistungsflussdichten ergeben, wenn sich der Accesspoint nicht im gleichen Raum



befindet. Exemplarisch untersucht wurden die Leistungsflussdichten im Gebäude NW 1, Raum S 2300. Hier wurde ein Maximalwert von weniger als $0,05 \text{ mW/m}^2$ in ca. 1,15 m Abstand zu einem Accesspoint gemessen, der testweise unmittelbar hinter der Wand montiert war (vgl. Kapitel.5.6, S. 21). Das entspricht knapp 5 % des Salzburger Richtwertes von 1 mW/m^2 .

Insgesamt bedeutet dieses Ergebnis, dass aus Sicht des nova-Instituts keine Bedenken gegen einen Daueraufenthalt bestehen, sofern sich die Accesspoints nicht im gleichen Raum befinden. Ansonsten sollte wie beschrieben ein Abstand von ca. 3 m zu Dauerarbeitsplätzen eingehalten werden.

6.5.1 WLAN-Notebook-Karten nach IEEE 802.11a (5,2 GHz)

Wie die Messergebnisse an den WLAN-Netzwerkkarten zeigen (vgl. Tabelle 7 im Anhang) wird im Abstand von 30 cm der Salzburger Richtwert von 1 mW/m^2 eingehalten, so dass ab diesem Abstand aus Sicht des nova-Instituts nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand auch gegen eine längere Nutzungszeit keine Bedenken bestehen. Die Leistungsflussdichten sind deutlich niedriger als bei den bisherigen Notebook-Karten im 2,4 GHz-Bereich (vgl. dazu Tabelle 6 im Anhang für Karten nach IEEE 802.11g sowie das Gutachten des nova-Instituts vom 09.11.2001 für Notebook-Karten nach IEEE 802.11b).

Es sei darauf hingewiesen, dass die angegebenen Messergebnisse für Volllastbetrieb gelten und die realistische Belastung entsprechend dem Nutzungsverhalten des Notebook-Benutzers im Allgemeinen sehr viel niedriger ausfällt.

Köln, den 16.11.2004

Dipl.-Phys. Dr. Peter Nießen, EMF-Abteilung des nova-Instituts
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für EMVU



Anhangsverzeichnis

		Anzahl Seiten
Diagramm 1	Spektrum Übersichtsmessung: Leistungsflussdichte, Messstandort außen, Gebäuderückseite NW 1	1
Diagramm 2	Spektrum Übersichtsmessung: Leistungsflussdichte, Messstandort innen, Gebäude NW 1, vor Raum 2250	1
Tabelle 2	Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz (WLAN 802.11b) – Antennenvorderseite Richtantenne WL-ANT-Y12	1
Tabelle 3	Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz (WLAN 802.11b) – Antennenrückseite Richtantenne WL-ANT-Y12	1
Tabelle 4	Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz (WLAN 802.11b) – Rundstrahlantenne Cushcraft S2403 BP	1
Tabelle 5	Vergleich der Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz, Accesspoints nach Standard IEEE 802.11b (bisherige Technik) und IEEE 802.11g (neue Technik)	1
Tabelle 6	Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz, Accesspoints und Notebook-Karten nach Standard IEEE 802.11g (neue Technik)	1
Tabelle 7	Leistungsflussdichten im Frequenzbereich um 5,2 GHz, Accesspoints und Notebook-Karten nach Standard IEEE 802.11a	1
Anlage 1	Internationale Grenz- und Vorsorgewerte	1

Diagramm 1: Übersichtsmessung Leistungsflussdichte, Gebäuderückseite NW 1, außen

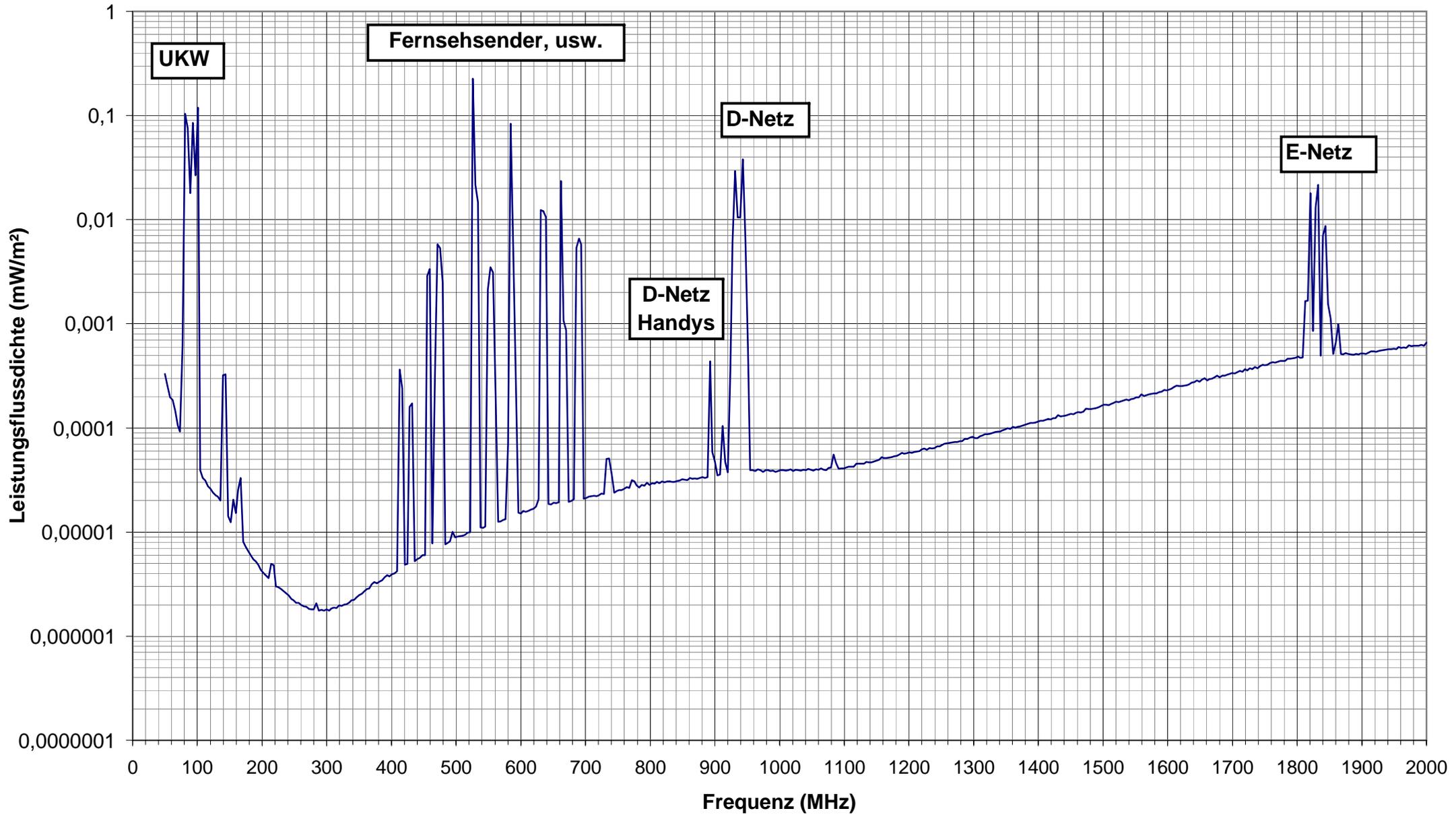


Diagramm 2: Übersichtsmessung Leistungsflussdichte im Gebäude NW1, vor Raum 2250

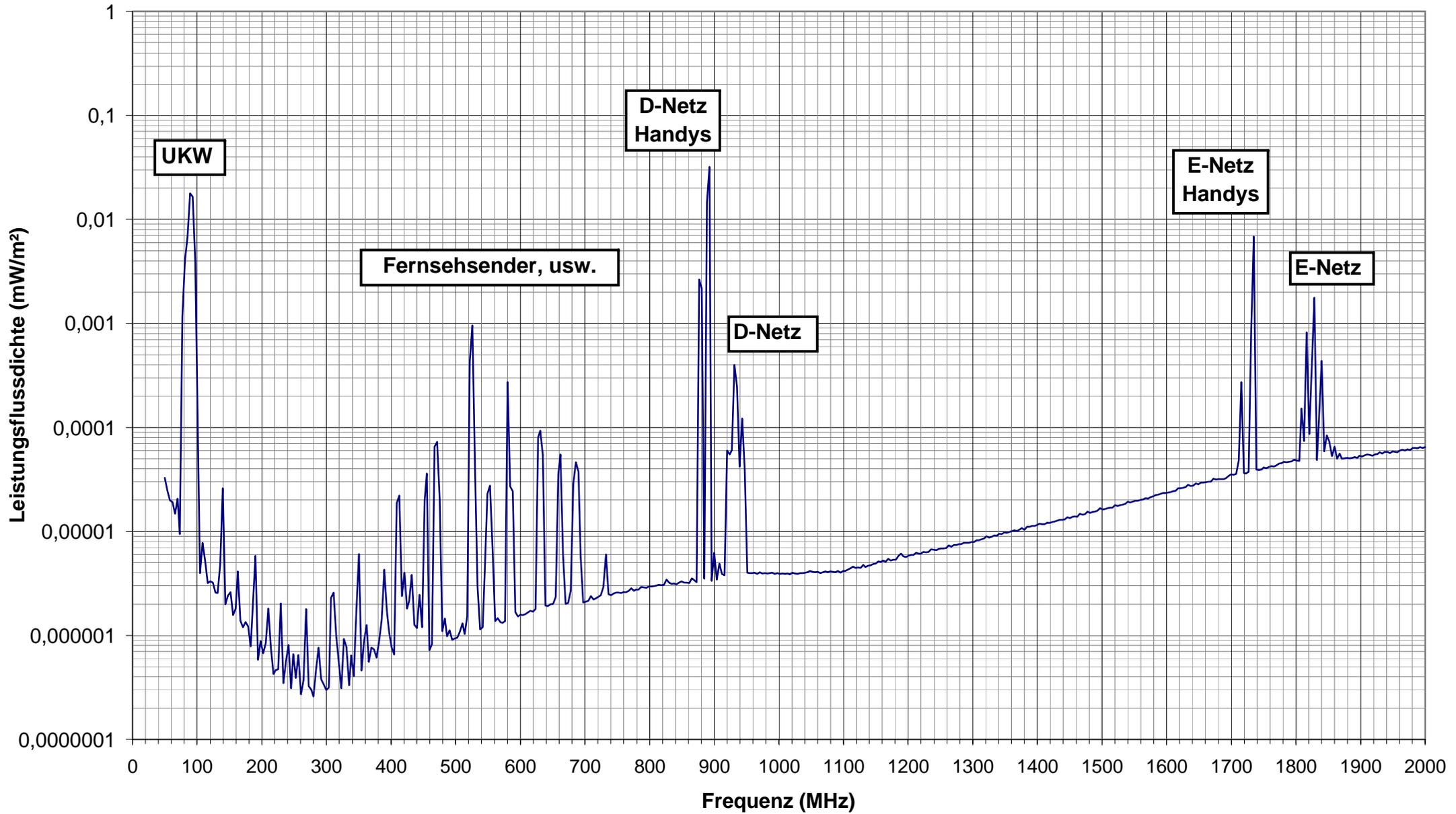


Tabelle 2: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz (WLAN 802.11b)
Richtantenne WL-ANT-Y12 für Außenmontage, Frontseite

Spalte A: Maximalwert der Messergebnisse (MaxHold-Funktion), einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag⁺

Spalte B: Welcher Anteil des Salzburger Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht*

Spalte C: Welcher Anteil des Schweizer Anlagen-Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Spalte D: Welcher Anteil des gesetzlichen Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Messposition Hauptstrahlrichtung Antennenvorderseite	Maximum	bezogen auf Salzburger Vorsorgewert*	bezogen auf Schweizer Anla- gengrenzwert	bezogen auf Grenzwert 26. BImSchV
	mW/m ² (A)	(B)	(C)	(D)
Messhöhe: 2,15 m, mittig vor der Antenne				
0,20 m Abstand	293,53	29353%	308,98%	2,9353%
1,00 m Abstand	88,65	8865%	93,31%	0,8865%
Messhöhe: 1,30m, mittig vor der Antenne				
0,00 m Abstand	0,31	31%	0,32%	0,0031%
0,20 m Abstand	0,60	60%	0,63%	0,0060%
0,35 m Abstand	1,83	183%	1,92%	0,0183%
0,50 m Abstand	1,17	117%	1,23%	0,0117%
1,00 m Abstand	1,07	107%	1,12%	0,0107%
1,50 m Abstand	0,75	75%	0,79%	0,0075%
2,00 m Abstand	0,95	95%	1,00%	0,0095%
2,50 m Abstand	0,34	34%	0,36%	0,0034%
3,00 m Abstand	0,30	30%	0,32%	0,0030%
3,50 m Abstand	0,45	45%	0,48%	0,0045%
4,00 m Abstand	1,22	122%	1,29%	0,0122%
4,50 m Abstand	1,90	190%	1,99%	0,0190%
5,00 m Abstand	2,18	218%	2,29%	0,0218%
5,50 m Abstand	2,08	208%	2,19%	0,0208%
6,00 m Abstand	2,03	203%	2,14%	0,0203%
6,50 m Abstand	1,94	194%	2,04%	0,0194%
7,00 m Abstand	1,73	173%	1,82%	0,0173%
8,00 m Abstand	1,73	173%	1,82%	0,0173%
9,00 m Abstand	1,47	147%	1,55%	0,0147%
10,00 m Abstand	1,28	128%	1,35%	0,0128%
12,00 m Abstand	0,93	93%	0,98%	0,0093%
14,00 m Abstand	0,61	61%	0,65%	0,0061%
16,00 m Abstand	0,64	64%	0,68%	0,0064%
18,00 m Abstand	0,67	67%	0,71%	0,0067%
20,00 m Abstand	0,28	28%	0,30%	0,0028%
22,00 m Abstand	0,34	34%	0,36%	0,0034%
Salzburger Vorsorgewert*	1			
Schweizer Anlagengrenzwert	95			
Grenzwert 26. BImSchV	10000			

⁺ siehe Kapitel 4.3

* siehe Kapitel 2, Fußnote 3, S. 3

Tabelle 3: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz (WLAN 802.11b)
Richtantenne WL-ANT-Y12 für Außenmontage, Rückseite

Spalte A: Maximalwert der Messergebnisse (MaxHold-Funktion), einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag⁺

Spalte B: Welcher Anteil des Salzburger Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht*

Spalte C: Welcher Anteil des Schweizer Anlagen-Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Spalte D: Welcher Anteil des gesetzlichen Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Messposition Antennenrückseite	Maximum	bezogen auf Salzburger Vorsorgewert*	bezogen auf Schweizer Anla- gengrenzwert	bezogen auf Grenzwert 26.BImSchV
	mW/m ² (A)	(B)	(C)	(D)
Messhöhe: 2,15m (gleiche Höhe wie Sendeantenne) mittig vor Antennenrückseite				
0,20 m Abstand	7,37	737%	7,76%	0,0737%
0,50 m Abstand	1,69	169%	1,78%	0,0169%
0,75 m Abstand	1,37	137%	1,45%	0,0137%
1,00 m Abstand	1,20	120%	1,26%	0,0120%
1,25 m Abstand	0,85	85%	0,89%	0,0085%
1,50 m Abstand	0,48	48%	0,50%	0,0048%
2,00 m Abstand	0,21	21%	0,22%	0,0021%
2,50 m Abstand	0,12	12%	0,13%	0,0012%
3,00 m Abstand	0,11	11%	0,11%	0,0011%
4,00 m Abstand	0,06	6%	0,06%	0,0006%
5,00 m Abstand	0,03	3%	0,03%	0,0003%
Salzburger Vorsorgewert*	1			
Schweizer Anlagengrenzwert	95			
Grenzwert 26. BImSchV	10000			

* siehe Kapitel 2, Fußnote 3, S. 3

+ siehe Kapitel 4.3

Tabelle 4: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz (WLAN 802.11b)
 Rundstrahlantenne Cushcraft S2403 BP für Außenmontage

Spalte A: Maximalwert der Messergebnisse (MaxHold-Funktion), einschl. 3 dB Sicherheitsaufschlag⁺

Spalte B: Welcher Anteil des Salzburger Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht*

Spalte C: Welcher Anteil des Schweizer Anlagen-Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Spalte D: Welcher Anteil des gesetzlichen Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Messposition	Maximum	bezogen auf Salzburger Vorsorgewert*	bezogen auf Schweizer Anlagen-grenzwert	bezogen auf Grenzwert 26.BImSchV
	mW/m ² (A)	(B)	(C)	(D)
Messhöhe 2,40m gleiche Höhe wie Sendeantennenmitte				
0,20 m Abstand, Messhöhe 2,40 m	225,77	22577%	237,65%	2,2577%
0,50 m Abstand, Messhöhe 2,40 m	50,54	5054%	53,20%	0,5054%
1,00 m Abstand, Messhöhe 2,40 m	29,08	2908%	30,62%	0,2908%
Messhöhe 2,20m				
20 cm unterhalb Sendeantennenmitte				
1,50 m Abstand, Messhöhe 2,20 m	10,08	1008%	10,62%	0,1008%
2,00 m Abstand, Messhöhe 2,20 m	6,51	651%	6,85%	0,0651%
3,00 m Abstand, Messhöhe 2,20 m	3,12	312%	3,28%	0,0312%
4,00 m Abstand, Messhöhe 2,20 m	1,88	188%	1,98%	0,0188%
Messhöhe 1,90m				
50 cm unterhalb der Sendeantennenmitte				
1,00 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	5,29	529%	5,57%	0,0529%
1,50 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	4,30	430%	4,53%	0,0430%
2,00 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	4,61	461%	4,85%	0,0461%
3,00 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	3,19	319%	3,36%	0,0319%
4,00 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	1,79	179%	1,89%	0,0179%
5,00 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	1,30	130%	1,37%	0,0130%
7,00 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	0,78	78%	0,82%	0,0078%
10,00 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	0,29	29%	0,31%	0,0029%
15,00 m Abstand, Messhöhe 1,90 m	0,19	19%	0,20%	0,0019%
Salzburger Vorsorgewert*	1			
Schweizer Anlagengrenzwert	95			
Grenzwert 26. BImSchV	10000			

* siehe Kapitel 2, Fußnote 3, S. 3

⁺ siehe Kapitel 4.3

Tabelle 5: Vergleich der Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz
Accesspoints nach Standard IEEE 802.11b (bisherige Technik) und IEEE 802.11g (neue Technik)

Spalte A: Maximalwert der Messergebnisse (MaxHold-Funktion), einschl. 6 dB Sicherheitsaufschlag⁺

Spalte B: Welcher Anteil des Salzburger Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht*

Spalte C: Welcher Anteil des Schweizer Anlagen-Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Spalte D: Welcher Anteil des gesetzlichen Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Messposition	Maximum	bezogen auf Salzburger Vorsorgewert*	bezogen auf Schweizer Anlagen-Grenzwert	bezogen auf Grenzwert 26.BImSchV
	mW/m ² (A)	(B)	(C)	(D)
Accesspoint 802.11b (bisherige Technik)				
freie Sicht zum Accesspoint				
1,00 m Abstand zum Accesspoint	7,37	737%	7,76%	0,074%
1,50 m Abstand zum Accesspoint	1,61	161%	1,70%	0,016%
2,00 m Abstand zum Accesspoint	1,36	136%	1,43%	0,014%
2,50 m Abstand zum Accesspoint	2,16	216%	2,27%	0,022%
3,00 m Abstand zum Accesspoint	1,89	189%	1,99%	0,019%
Accesspoint 802.11g (neue Technik)				
freie Sicht zum Accesspoint				
1,00 m Abstand zum Accesspoint	4,10	410%	4,31%	0,041%
1,50 m Abstand zum Accesspoint	0,93	93%	0,98%	0,009%
2,00 m Abstand zum Accesspoint	0,92	92%	0,97%	0,009%
2,50 m Abstand zum Accesspoint	0,33	33%	0,34%	0,003%
3,00 m Abstand zum Accesspoint	0,72	72%	0,76%	0,007%
Salzburger Vorsorgewert*	1			
Schweizer Anlagengrenzwert	95			
Grenzwert 26. BImSchV	10000			

* siehe Kapitel 2, Fußnote 3, S. 3

+ siehe Kapitel 4.3

Tabelle 6: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2,4 bis 2,5 GHz
Accesspoints und Notebook-Karten nach Standard IEEE 802.11g (neue Technik)

Spalte A: Maximalwert der Messergebnisse (MaxHold-Funktion), einschl. 6 dB Sicherheitsaufschlag[†]

Spalte B: Welcher Anteil des Salzburger Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht*

Spalte C: Welcher Anteil des Schweizer Anlagen-Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Spalte D: Welcher Anteil des gesetzlichen Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Messposition	Maximum	bezogen auf Salzburger Vorsorgewert*	bezogen auf Schweizer Anlagen-Grenzwert	bezogen auf Grenzwert 26.BImSchV
	mW/m ² (A)	(B)	(C)	(D)
NW1, 2.OG, Flur vor Raum S2300				
freie Sicht zum Accesspoint				
0,70 m Abstand zum Accesspoint	9,30	930%	9,79%	0,093%
1,20 m Abstand zum Accesspoint	5,70	570%	6,00%	0,057%
1,70 m Abstand zum Accesspoint	4,26	426%	4,49%	0,043%
2,50 m Abstand zum Accesspoint	1,81	181%	1,91%	0,018%
5,00 m Abstand zum Accesspoint	0,18	18%	0,19%	0,002%
NW1, Hörsaal				
freie Sicht zum Accesspoint				
1,00 m Abstand zum Accesspoint	4,10	410%	4,31%	0,041%
1,50 m Abstand zum Accesspoint	0,93	93%	0,98%	0,009%
2,00 m Abstand zum Accesspoint	0,92	92%	0,97%	0,009%
2,50 m Abstand zum Accesspoint	0,33	33%	0,34%	0,003%
3,00 m Abstand zum Accesspoint	0,72	72%	0,76%	0,007%
WLAN-Netzwerkkarten der Notebooks				
Netzwerkkarte Buffalo G54				
60 cm Abstand zur Karte	0,25	25%	0,27%	0,003%
40 cm Abstand zur Karte	0,91	91%	0,95%	0,009%
30 cm Abstand zur Karte	4,12	412%	4,33%	0,041%
20 cm Abstand zur Karte	6,30	630%	6,64%	0,063%
10 cm Abstand zur Karte	24,14	2414%	25,41%	0,241%
3 cm Abstand zur Karte	188,22	18822%	198,12%	1,882%
Salzburger Vorsorgewert*	1			
Schweizer Anlagengrenzwert	95			
Grenzwert 26. BImSchV	10000			

* siehe Kapitel 2, Fußnote 3, S. 3

[†] siehe Kapitel 4.3

Tabelle 7: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich um 5,2 GHz
Accesspoints und Notebook-Karten nach Standard IEEE 802.11a

Spalte A: Maximalwert der Messergebnisse (MaxHold-Funktion), einschl. 6 dB Sicherheitsaufschlag⁺

Spalte B: Welcher Anteil des Salzburger Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht*

Spalte C: Welcher Anteil des Schweizer Anlagen-Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Spalte D: Welcher Anteil des gesetzlichen Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Messposition	Maximum	bezogen auf Salzburger Vorsorgewert*	bezogen auf Schweizer Anlagen-Grenzwert	bezogen auf Grenzwert 26.BImSchV
	mW/m ² (A)	(B)	(C)	(D)
Flur vor Raum S2300 (Teeküche), Gebäude NW 1				
freie Sicht zum Accesspoint				
0,70 m Abstand zum Accesspoint	6,218	621,8%	6,545%	0,06218%
1,20 m Abstand zum Accesspoint	3,923	392,3%	4,130%	0,03923%
1,70 m Abstand zum Accesspoint	0,783	78,3%	0,824%	0,00783%
2,50 m Abstand zum Accesspoint	1,392	139,2%	1,465%	0,01392%
5,00 m Abstand zum Accesspoint	0,175	17,5%	0,184%	0,00175%
Raum S2300 (Teeküche), Tür geschlossen				
Accesspoint hinter Wand/bzw. Tür				
1,00 m Abstand zur Tür bzw. 1,15 m zum Accesspoint	0,044	4,4%	0,046%	0,00044%
2,50 m Abstand zur Tür bzw. 2,65 m zum Accesspoint	0,035	3,5%	0,037%	0,00035%
WLAN-Netzwerkkarten der Notebooks				
65 cm Abstand zur Karte	0,986	98,6%	1,037%	0,00986%
40 cm Abstand zur Karte	0,698	69,8%	0,734%	0,00698%
30 cm Abstand zur Karte	0,554	55,4%	0,583%	0,00554%
20 cm Abstand zur Karte	1,753	175,3%	1,845%	0,01753%
10 cm Abstand zur Karte	6,977	697,7%	7,344%	0,06977%
3 cm Abstand zur Karte	44,021	4402,1%	46,338%	0,44021%
Salzburger Vorsorgewert*	1			
Schweizer Anlagengrenzwert	95			
Grenzwert 26. BImSchV	10000			

* siehe Kapitel 2, Fußnote 3, S. 3

+ siehe Kapitel 4.3



Aktuelle Grenzwerte- und Vorsorgewerte (Auswahl)

<i>Hochfrequenz (HF) Leistungsflussdichte 400 bis 2000 MHz</i>		
	mW/m ²	Bedingung
ICNIRP ¹ 1987-1998 Deutschland, gesetzlicher Grenzwert nach 26. BImSchV	2000	bis 400 MHz
	4650	930 MHz (D-Netz)
	9000	1800 MHz (E-Netz, DECT)
Italien 1999	1000	Kurzzeitwert
	100	Daueraufenthalt
	1	Qualitätsziel je Anlage
Schweiz 2000 Anlagengrenzwert für Wohnbereiche	42	900 MHz (D-Netz)
	95	1.800 MHz (E-Netz)
Russland 1999	100	
China 1999 (Gesundheitsministerium)	100	Dauerbelastung
	400	kurzfristig
China 1999 (Umweltministerium)	400	
Ecolog-Institut 2000	10	
Salzburger Richtwert 1998	1	Summe GSM ² außen
Salzburger Richtwert 2002	0,01	Summe GSM außen
	0,001	Summe GSM innen
Standard der Baubiologie für gepulste Strahlung für Schlafbereiche (innen)	> 0,1	extreme Anomalie
	0,005 – 0,1	starke Anomalie
	0,0001 – 0,005	schwache Anomalie
	< 0,0001	keine Anomalie
Bonn 10/99: Resolution Bürgerforum & EMF- Expertenrunde (u.a. Bundesverband gegen Elektrosmog)	0,1	ungepulst ³ , Wachbereich
	0,001	ungepulst, Ruhe- und Schlaf
	0,001	gepulst ⁴ , Wachbereich
	0,000 01	gepulst, Ruhe- und Schlaf

nova: Januar 2004

¹ ICNIRP = International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)

² GSM= Global System for mobile communication (Mobilfunkstandard für D- und E-Netze)

³ un gepulst Strahlung, z.B. Rundfunksender

⁴ gepulst Strahlung, z.B. GSM-Mobilfunk