

## Arbeitsgruppe WLAN-Infrastruktur

# Gutachten zur EMVU-Belastung durch das WLAN

Die Universität Bremen betreibt auf ihrem Campus ein übergreifendes Funknetz nach IEEE 802.11b („WLAN“) als selbstverständliche Infrastruktur für ihre Mitarbeiter und Studierenden.

Grundlage hierfür ist u.a. eine zwischen dem Personalrat und dem Kanzler der Universität bestehende Betriebsvereinbarung.

Diese Vereinbarung beinhaltet u.a. die Bestellung eines unabhängigen Gutachtens „zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Funk-Netzwerke an der Universität Bremen“. Dieses Gutachten wurde inzwischen vorgelegt.

### **Ansprechpartner an der Universität Bremen**

Personalrat der Universität Bremen

Postfach 330 440  
28334 Bremen

Fon +49 421 218 2784  
Fax +49 421 218 2904

[personalrat@uni-bremen.de](mailto:personalrat@uni-bremen.de)

<http://www.personalrat.uni-bremen.de/>

Kanzler der Universität Bremen

Postfach 330 440  
28334 Bremen

Fon +49 421 218 7212  
Fax +49 421 218 4259

[sekrkanz@uni-bremen.de](mailto:sekrkanz@uni-bremen.de)

Arbeitsgruppe WLAN-Infrastruktur

Postfach 330 440  
28334 Bremen

c/o Niels Pollem, FB 3, TZI

Fon +49 421 218 2972  
Fax +49 421 218 7000

[wlan-t@tzi.de](mailto:wlan-t@tzi.de)

<http://www.dmn.tzi.de/wlan/>

## **Gutachten**

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

<b>Auftraggeber</b>	Universität Bremen Der Kanzler Postfach 33 04 40, 28334 Bremen
<b>Untersuchungsobjekt</b>	verschiedene Universitätsgebäude

### Inhaltsverzeichnis:

	Seite
Kap. 1 Auftrag und Zweck des Gutachtens	2
Kap. 2 Grenz- und Vorsorgewerte	2
Kap. 3 Das Untersuchungsobjekt	3
Kap. 4 Messungen der hochfrequenten elektromagnetischen Strahlung und Auswertung der Ergebnisse	4
Kap. 5 Bewertung der Messergebnisse	19
Anhang Grundrisspläne	
Anhang Tabellarische Darstellung der Messergebnisse	
Anhang Wissenschaftliche Grundlage der Grenz- und Vorsorge- werte hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung	
Anhang Internationale Grenz- und Vorsorgewerte	



## 1 Auftrag und Zweck des Gutachtens

Mit Datum vom 02.10.01 erteilte der Kanzler der Universität Bremen, Herr Kück, dem nova-Institut den Auftrag, Messungen durchzuführen und ein Gutachten zu erstellen, in dem die Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Funknetzwerke zur drahtlosen Netzwerkanbindung von Notebooks in den Universitätsgebäuden untersucht werden soll.

Es soll die Belastung durch W-LAN-Netzwerke in verschiedenen Situationen festgestellt und die Abstrahlungen der Sendeantennen und Notebook-Steckkarten in verschiedenen Abständen gemessen werden. Zum Vergleich sollen Messungen an anderen Strahlungsquellen in ähnlichen Frequenzbereichen vorgenommen werden, z.B. Schnurlostelefone nach dem DECT-Standard und Mikrowellenherde.

## 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 Leistungsflussdichte hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung in den wesentlichen Frequenzbereichen, die bei den Messungen an der Universität Bremen festgestellt wurden:

	Leistungsflussdichte in W/m <sup>2</sup>				
	bis 400 MHz (UKW, usw.)	440 MHz	930 MHz (D-Netz)	1800 MHz (E-Netz, DECT)	2450 MHz (W-LAN, ISM-Band)
Gesetzlicher Grenzwert (26. BImSchV)	2,0	2,2	4,65	9,0	10,0
Empfehlungen des <b>nova</b> -Instituts	0,02	0,022	0,0465	0,09	0,1
Schweiz Anlagengrenzwert für Wohnbereiche			0,042	0,095	
Italien (Daueraufenthalt)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Erläuterung: Der gesetzliche Grenzwert in Deutschland stützt sich ausschließlich auf thermische Effekte und auf Studien, bei denen zweifelsfrei



Schädigungen nachgewiesen wurden. Die Vorsorgewerte kritischer Institute wie auch die des nova-Instituts stützen sich auf Effekte, die in ernst zu nehmenden wissenschaftlichen Studien gefunden wurden, über die aber noch keine volle Einigkeit in der Wissenschaft besteht. Oder anders ausgedrückt: Es gibt einen großen Grauzonenbereich, in dem Schädigungen vermutet werden, aber noch nicht „gerichtsfest“ nachgewiesen sind. Der gesetzliche Grenzwert liegt am oberen Ende dieser Grauzone, die nova-Vorsorgewerte 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. Die Schweiz und Italien stützen sich bei der Festlegung ihrer Grenzwerte auf ähnliche Überlegungen wie kritische Wissenschaftler hier zu Lande.

Der Begutachtung liegen die o.g. nova-Vorsorgewerte zu Grunde, die bei einem Hunderstel der gesetzlichen Grenzwerte liegen. Zur Begründung für diese Vorsorgewerte siehe **Anlage 1** im Anhang „Wissenschaftliche Grundlage der Grenz- und Vorsorgewerte hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung“.

### **3 Das Untersuchungsobjekt**

Das Gelände der Universität Bremen liegt im Nordwesten der Stadt Bremen. Die Universitätsgebäude erstrecken sich zu beiden Seiten der Universitätsallee auf der Kufsteiner Straße und der Bibliothekstraße. Die Computer-Arbeitsplätze in den einzelnen Gebäuden der Universität sind per W-LAN miteinander vernetzt. An insgesamt 10 ausgewählten Standorten soll exemplarisch die Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung festgestellt werden. Die Standorte befinden sich in folgenden Gebäuden:

- Gebäude der Naturwissenschaften (NW 1), Kufsteiner Str.
- Mehrzweck-Hochhaus (MZH), Bibliothekstraße
- Gebäude der Universitätsbibliothek, Bibliotheksstraße
- Gebäude der Geisteswissenschaften (GW 2), Bibliothekstraße.



## 4 Durchführung der Messungen vor Ort und Auswertung der Ergebnisse

**Datum der Messungen:** Dienstag, 16.10.2001

**Zeitraum:** 11.00 bis 19.30 Uhr

### 4.1 Vorgehensweise

Vor Beginn der Messungen wurde die Vorgehensweise mit Herrn Volk vom FB Physik/Elektrotechnik besprochen. Wie bereits bei der Vorbesprechung bei Herrn Kück am 19.09.01 vereinbart, sollen an 10 Messpunkten die Leistungsflussdichten gemessen werden, die von den Accesspoints des W-LAN-Systems ausgehen. Weiterhin soll in den drei Gebäuden, in denen mehrere Messpunkte liegen, jeweils eine Übersichtsmessung über den gesamten Frequenzbereich von 50 MHz bis 3 GHz vorgenommen werden, um die Belastung durch das W-LAN-System in Relation setzen zu können zu Belastungen in anderen Frequenzbereichen.

Die Messungen wurden durchgeführt mit einem Spektrumanalysator Advantest R 3131 A und einer bikonischen Messantenne Schwarzbeck UBA 9116 für den Frequenzbereich bis 1 GHz sowie einer Dipolantenne Schwarzbeck UBA 9125 D für 1 GHz bis 3 GHz. Bei beiden Antennen handelt es sich um Rundstrahl- bzw. Rundsichtantennen. Die einzelnen Messpunkte sind in die **Grundrisspläne 1 bis 8** im Anhang eingezeichnet. Für die W-LAN-Messungen wurde an mehreren Messpunkten exemplarisch überprüft, dass die maximale Signalstärke bei senkrechter Polarisation auftrat. Für alle Messungen am W-LAN-System erfolgte die Messung immer mit senkrechter Polarisations-einstellung der Antenne. Die Polarisationsrichtungen wurden für die Übersichtsmessungen immer vor den einzelnen Messungen manuell auf maximale Signalstärke eingestellt.

## 4.2 Einzelmessungen

Die Ergebnisse der im folgenden aufgeführten Einzelmessungen sind in **Tabelle 2** im Anhang dargestellt. Die Herrn Volk vorliegende Liste der Messpunkte war mit dem Personalrat und dem Kanzler abgestimmt.

NW 1, Raum 122:

### Erste Übersichtsmessung und Festlegung des Messverfahrens

Am Messpunkt 1 (s. **Grundrissplan 1** im Anhang) in Raum 122 (Büro von Herrn Matthies und Herrn Paradies) erfolgte der Messaufbau und eine erste Übersichtsmessung. Ein Accesspoint befand sich im Flur an der Decke vor dem Büro.



Foto 1: Raum 122, NW 1, Messpunkt 1 und Übersichtsmessung

Im Beisein von Herrn Volk und Herrn Könsgen – die auch während der gesamten Messung anwesend waren –, Herr Gudath vom Personalrat, Herr Raber vom Arbeitsschutz und Herr Raffel vom IALB erläuterte der Sachverständige die Messtechnik. Zu Beginn wurden Probemessungen durchgeführt, um die von den Accesspoints ausgehenden Signale eindeutig identifizieren zu können und sie ebenso eindeutig von den Signalen der Funknetzwerkarten in den Notebooks unterscheiden zu können. Als optimal geeignet erwies sich hierbei die Zerospan-Betriebsart des Spektrumanalysators, bei der das empfangene Signal zeitaufgelöst

dargestellt wird (s. Abbildung 1) Hierbei sind die im Abstand von einer Zehntelsekunde ausgesandten Erkennungsbaken der Accesspoints eindeutig zu erkennen. In mehreren Vergleichsmessungen wurde überprüft, dass die eigentlichen Datenübertragungspakete (s. Abbildung 2) mit der gleichen Intensität wie die Baken ausgesandt werden. Mit zunehmender Datenübertragung steigt die Häufigkeit der übertragenen Datenpakete an und geht bei Volllastung des Systems in einen praktisch kontinuierlichen Sendebetrieb über. Diese Volllastungssituation wird bei kontinuierlicher Datenanforderung auch mit nur einem über Funk verbundenen Notebook erreicht. Bei mehreren verbundenen Notebooks erfolgen die einzelnen Datenübertragungen im Zeitmultiplexverfahren nacheinander.

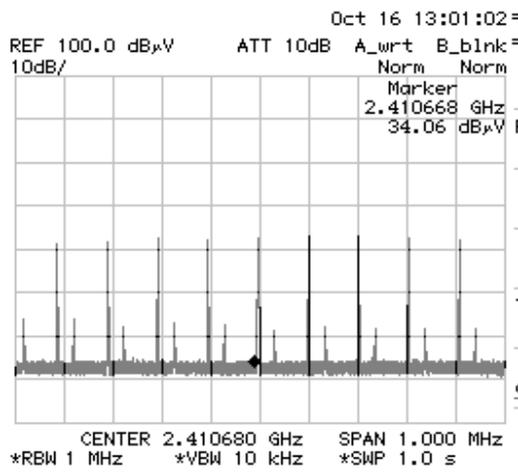


Abbildung 1: Erkennungsbaken von 2 Accesspoints

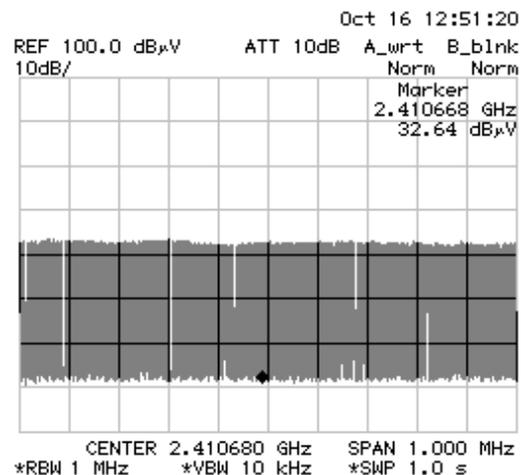


Abbildung 2: Volllast-Sendebetrieb eines Accesspoints

Für alle folgenden Messungen wurde daher immer die Intensität der Baken gemessen und für die Worst-Case-Situation angenommen, dass die Accesspoints permanent mit dieser Intensität senden, was jedoch tatsächlich nur in Volllastsituationen geschieht.

NW 1, Raum 143:

Am zweiten Messpunkt in Raum 143 erfolgten Messungen in 3 Messpositionen: Messpunkt 2 a am Arbeitsplatz von Prof. Orlik (s. Foto 2), Messpunkt 2 b am Arbeitsplatz im Vorzimmer und Messpunkt 2 c im Flur vor Raum 143 (s. Grundrissplan 1 im Anhang).



Messantenne

Foto 2: Messpunkt 2a, Raum 143, NW 1,

(Auf Wunsch von Prof. Orlik wurde zusätzlich an seinem Arbeitsplatz eine Messung des niederfrequenten Magnetfeldes vorgenommen, wobei sich Werte von 0,3 bis 0,45  $\mu\text{T}$  ergaben. Da die Werte mit zunehmendem Abstand vom Fußboden abnahmen, wurden elektrotechnische Installationen in den darunter liegenden Räumen als Ursache vermutet. Im Rahmen dieser Untersuchung kann hierauf jedoch nicht näher eingegangen werden.)



### NW 1, Raum 311:

Der dritte Messpunkt befand sich im Institut für Umweltphysik (s. **Grundrissplan 2** im Anhang) im Büro von Frau Pacheise, Raum 311. Ein Accesspoint war an der Decke im Flur vor dem Büro angebracht. Die Leistungsflussdichten wurden in verschiedenen Abständen vom Accesspoint gemessen (s. Messpunkte 3 a und 3 b im Grundrissplan 2 im Anhang). Bei den Messergebnissen fällt auf, dass bei Messpunkt 3 b mit 5,30 m Abstand zum Accesspoint ein höherer Messwert festgestellt wurde als am Messpunkt 3 a mit 4,60 m Abstand zum Accesspoint. Als Ursache hierfür kommen z. B. Reflexionen an Wänden und Möbelstücken in Betracht. Zur allgemeinen Berücksichtigung solcher Effekte wird bei allen Messergebnissen ein Sicherheitsaufschlag von 6 dB hinzuaddiert (s. Kap. 4.6).



Foto 3: Messpunkt 3 a, R. 311, NW 1  
4,60 m Abstand zum Accesspoint



Foto 4: Messpunkt 3 b, R. 311, NW 1  
5,30 m Abstand zum Accesspoint

Mehrzweckhochhaus, Raum 5390:

Die zweite Übersichtsmessung erfolgte in Raum 5390 am Messpunkt 4 (s. **Grundrissplan 3** im Anhang).

Der Standort des nächstliegenden Accesspoints war nicht bekannt.



Foto 5: Messpunkt 4, MZH, Übersichtsmessung



### Mehrzweckhochhaus, Raum 4290

In Raum 4200 (ZAIT-Schulungsraum) wurden Messungen an zwei Messpositionen in verschiedenen Abständen zum Accesspoint vorgenommen (s. Messpunkte 5 a und 5 b im **Grundrissplan 4** im Anhang). Der nächstliegende Accesspoint befindet sich im gleichen Raum oberhalb der Eingangstür (s.Foto 8).



Foto 6: Messpunkt 5a

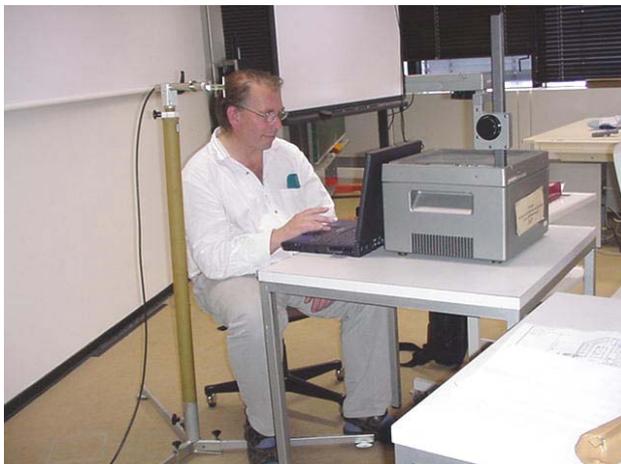


Foto 7: Messpunkt 5b



Foto 8: Accesspoint in R. 4200

Mehrzweckhochhaus, Hörsaal 022/021

Beim Messpunkt 6 im Hörsaal 022/021 (s. **Grundrissplan 5** im Anhang) befand sich ein Accesspoint in Raum 019 ca. 15 m entfernt (s. Grundrissplan 5 im Anhang).



Foto 9: Messpunkt 6, MZH, Hörsaal 021/022

Universitätsbibliothek:

Eine weitere Messung erfolgte in der Universitätsbibliothek in der Eingangshalle. Hier befinden sich auch 2 Accesspoints in der Nähe des Messpunktes (s. Messpunkt 7, **Grundrissplan 6**)



Foto 10: Messpunkt 7, Bibliothek

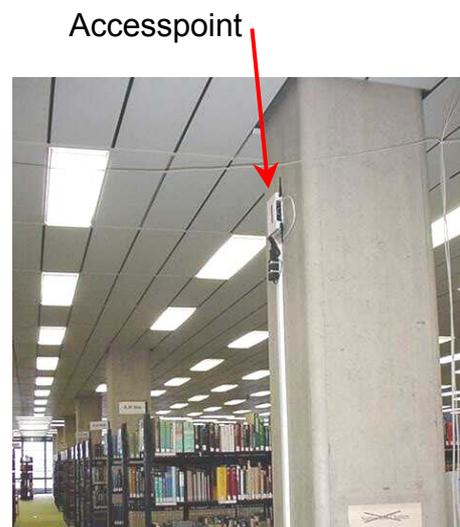


Foto 11: Accesspoint 1 in der Bibliothek



GW 2, Cafeteria, 1. Balkon:



Foto 12: Messpunkt 8, GW 2, Cafeteria

Der Messpunkt 8 befindet sich in der Cafeteria im Gebäude der Geisteswissenschaften (s. **Grundrissplan 7** im Anhang).

GW 2, Hörsaal B 1400:

Als nächster Messpunkt wurde der Hörsaal B 1400 gewählt (s. Messpunkt 9 im **Grundrissplan 7** im Anhang).



Foto 13: Messpunkt 9, GW 2, Hörsaal B 1400



GW 2, Hörsaal B 2890:

Beim letzten Messpunkt 10 (s. **Grundrissplan 8** im Anhang) erfolgte eine letzte Übersichtsmessung



Foto 14: Messpunkt 10, GW 2, Hörsaal 2890, Übersichtsmessung

Die Standorte der nächstliegenden Accesspoints waren für die letzten drei Messpunkte (8,9,10) nicht bekannt.



### 4.3 Übersichtsmessungen über das gesamte Frequenzspektrum

Wie oben erwähnt wurde in allen untersuchten Gebäuden jeweils eine Übersichtsmessung durchgeführt, die den Frequenzbereich von 50 MHz bis 3 GHz umfasste. Hierzu wurde der Frequenzbereich in drei Teile unterteilt, die jeweils mit einer passenden Messantenne untersucht wurden.

Als wesentliche Anteile wurden ermittelt:

- Rundfunksender im UKW-Bereich 87 bis 110 MHz
- Fernsehsender im UHF-Bereich 440 bis 710 MHz
- Mobilfunk D-Netz 930 bis 965 MHz
- Mobilfunk E-Netz 1820 bis 1860 MHz
- W-LAN, 2400 bis 2485 MHz

Insbesondere im unteren Frequenzbereich von 50 MHz bis 1 GHz liegen mehrere zu untersuchende Einzelbereiche, die teilweise unterschiedliche Polarisationsrichtungen aufweisen. Hierzu wurden jeweils mehrere Einzelmessungen vorgenommen, bei denen vorab die Messantenne auf maximale Signalstärke in dem jeweiligen Bereich ausgerichtet wurde. Aus den während der Messung aufgenommenen Einzelspektren wurde jeweils die Gesamtleistungsflussdichte für die 5 o.g. Frequenzbereiche ermittelt. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 3** dargestellt.

Die Messpunkte der einzelnen Übersichtsmessungen befanden sich an folgenden Standorten:

- Gebäude NW 1 am Messpunkt 1 in Raum 122
- Mehrzweckhochhaus am Messpunkt 4 in Raum 5390
- Gebäude GW 2 am Messpunkt 10 in Raum B 2890

Als Ergänzung und Vergleich sind in den Tabellen 3 bis 5 zusätzlich die Ergebnisse der W-LAN-Messwerte der übrigen Messpunkte angegeben.

Als Beispiel für die Übersichtsmessungen sind in den folgenden Abbildungen die wesentlichen Spektren der Messung an Messpunkt 4 (MZH, Raum 5390) dargestellt:

Spektren der Übersichtsmessung an Messpunkt 4 (MZH, Raum 5390):

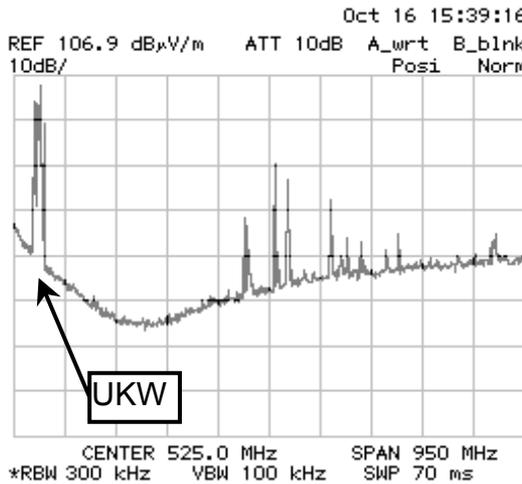


Abbildung 3: Übersichtsmessung 50 bis 1000 MHz, horizontale Polarisation

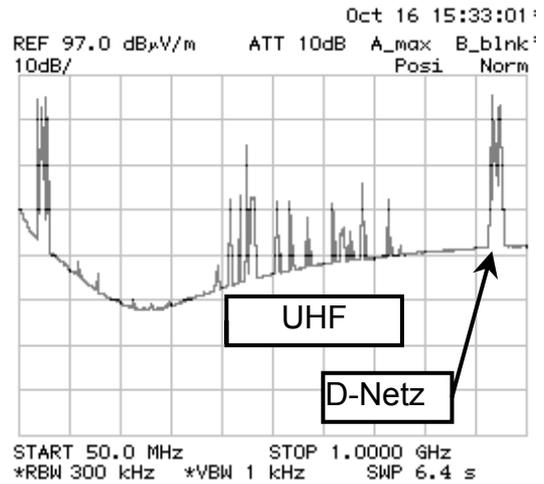


Abbildung 4: Übersichtsmessung 50 bis 1000 MHz, vertikale Polarisation

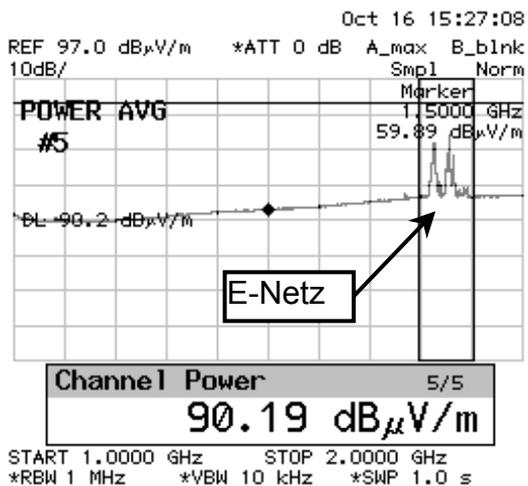


Abbildung 5: Übersichtsmessung 1000 bis 2000 MHz, vertikale Polarisation

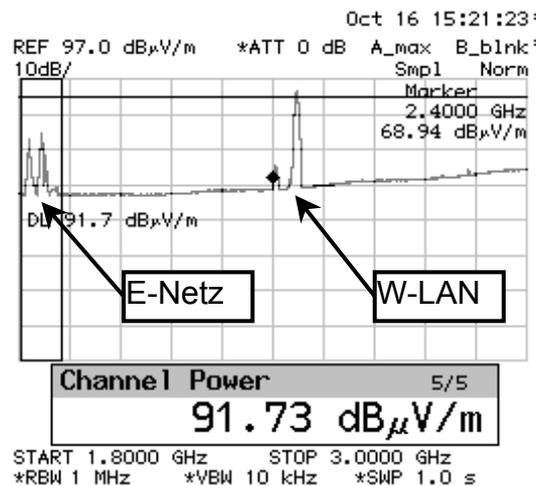


Abbildung 6: Übersichtsmessung 1800 bis 3000 MHz, vertikale Polarisation

Erläuterungen zu den Grenz- und Vorsorgewerten in Tabellen 3 bis 5

Die von der internationalen Strahlenschutzkommission ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) festgelegten Grenzwerte für elektromagnetische Strahlung sind in Kapitel 2 für die vorkommenden Frequenzen beschrieben. In Anlehnung an die ICNIRP legt der Gesetzgeber in der 26. BImSchV für die oben aufgeführten Frequenzbereiche unterschiedliche Grenzwerte fest. Ebenso sind die in diesem Gutachten empfohlenen Vorsorgewerte frequenzabhängig. Inner-



halb eines Frequenzbereiches ist in den Tabellen 3 bis 5 immer der niedrigste in diesem Bereich vorkommende Grenz-/Vorsorgewert angegeben, um bei Vergleichen gegen diese Grenz- und Vorsorgewerte immer auf der sicheren Seite zu liegen.

Für den unmittelbaren Vergleich der in einem bestimmten Frequenzband gemessener Leistungsflussdichten mit den Grenz- bzw. Vorsorgewerten für dieses Frequenzband wird immer davon ausgegangen, dass die Belastung im Wesentlichen diesem einem Frequenzband entstammt.

In Situationen – wie der hier vorgefundenen – mit Belastungen in vielen verschiedenen Frequenzbereichen reicht es daher zur Bewertung der Gesamtbelastung nicht aus, jeweils zu überprüfen, dass in jedem Frequenzbereich der zugehörige Grenz- bzw. Vorsorgewert eingehalten wird. Es ist vielmehr erforderlich, durch ein geeignetes Summierungsverfahren die Gesamtbelastung zu bestimmen und in Beziehung zu Grenz- und Vorsorgewerten zu setzen. Entsprechend dem in der 26. BImSchV vorgeschriebenen Summierungsverfahren wird daher für jeden Frequenzbereich einzeln der prozentuale Anteil an dem für den jeweiligen Frequenzbereich gültigen Grenzwert ermittelt (siehe **Tabelle 4** im Anhang). Anschließend werden die so erhaltenen Prozentwerte addiert (s. letzte Spalte in Tabelle 4). Der gesetzliche Grenzwert wird dann eingehalten, wenn die so ermittelte Summe unter 100 Prozent liegt.

Analog zu diesem Verfahren sind in **Tabelle 5** (s. Anhang) die Messergebnisse in Relation gesetzt zu den diesem Gutachten zu Grunde liegenden Vorsorgewerten. Die Vorsorgewerte werden – ebenso wie oben beschrieben – dann eingehalten, wenn der in der letzten Spalte von Tabelle 5 angegebene Summenwert unter 100 Prozent liegt.



#### 4.4 Leistungsflussdichten der W-LAN-Netzwerkkarten der Notebooks

Zur Ermittlung der Leistungsflussdichten, denen ein Benutzer eines über W-LAN angebundenen Notebooks ausgesetzt ist, wurden Messungen in verschiedenen Abständen zur Netz Karte durchgeführt. Die folgenden Fotos zeigen die Messpositionen an einem Notebook in verschiedenen Entfernungen zur Antenne der W-LAN-Netzwerkkarte.

Die Ergebnisse sind in **Tabelle 6** im Anhang dargestellt. Im Gegensatz zu den Accesspoints senden die Netzwerkkarten in den Notebooks nur dann, wenn wirklich Daten zu übertragen sind. Die in Tabelle 6 angegebenen Werte beziehen sich allerdings auf den Volllast-Sendebetrieb der Notebooks, eine Situation, die im praktischen Betrieb nur äußerst selten vorkommt.



Foto 15: 1,50 m Abstand



Foto 16: 80 cm Abstand



Foto 17: 60 cm Abstand



Foto 18: 10 cm Abstand zur Karte



Foto 19: 20 cm Abstand zur Karte

#### 4.5 Vergleichsmessungen



#### 4.5.1 Schnurlose Telefone nach dem DECT-Standard

Zum Vergleich mit anderen Strahlungsquellen in einem ähnlichen Frequenzbereich wurden zusätzliche Messungen an schnurlosen Telefonen nach dem DECT-Standard in typischen Wohnungen bzw. Büros durchgeführt. Einige Messwerte sind in **Tabelle 6** (s. Anhang) angegeben. Die Strahlung der Basisstationen der DECT-Telefone tritt unabhängig davon auf, ob mit diesem Telefon gerade telefoniert wird oder nicht. Hierbei muss beachtet werden, dass es sich um kurze Pulsleistungen handelt, auf die jeweils eine Sendepause von 10msec folgt.

Bezüglich des Puls-/Pausenverhältnisses kann dies näherungsweise mit dem Funk-Netzwerk bei schwacher Auslastung verglichen werden, bei dem die Accesspoints kontinuierlich Kennungen (Baken) aussenden. Allerdings sind hier die Pausen zwischen den einzelnen Signalen zehnmal so lang wie bei den DECT-Telefonen, d.h. hier ist der Signalabstand 100 msec.

#### 4.5.2 Mikrowellenherde

Für eine weitere Vergleichsquelle im gleichen Frequenzbereich wie das W-LAN erfolgten Messungen an Mikrowellenherden in typischer Wohn-/Büroumgebung. Zu den Ergebnissen der Messungen siehe **Tabelle 7** im Anhang.

### 4.6 Fehlerabschätzung

Zur Berücksichtigung möglicher Fehlerquellen, die das Messergebnis verfälschen können (z.B. Kalibrierung des Analysators und der Antenne, Einfluss der Personen im Raum, kurzfristige zeitliche Schwankungen der Feldstärken), wird die Messunsicherheit des gesamten Messsystems mit 6 dB abgeschätzt. Für die Berechnung der in den Tabellen angegebenen Leistungsflussdichten wurde zu den Originalmesswerten der Sicherheitszuschlag von 6 dB hinzuaddiert.



## 5 Bewertung der Messergebnisse

Die von der internationalen Strahlenschutzkommission ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) festgelegten Grenzwerte für elektromagnetische Strahlung, auf die sich die Grenzwerte der 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV) in Deutschland beziehen, sind in Kapitel 2, Tabelle 1, für die vorkommenden Frequenzen beschrieben. Außerdem sind dort die Vorsorgewerte des nova-Institutes und die Regelungen in anderen europäischen Staaten genannt (zur Begründung siehe auch Anlage 2 im Anhang).

Wie zu erwarten war lagen die Belastungen durch die Accesspoints des W-LANs an allen untersuchten Messpositionen deutlich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte nach der 26. BImSchV. Auch die Vorsorgewerte des nova-Instituts, die bei einem Hunderstel der gesetzlichen Grenzwerte liegen, werden an allen Messpunkten erheblich unterschritten (s. Tabelle 2 im Anhang). Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass sich alle dort angegebenen Messwerte immer auf den Volllast-Betrieb beziehen, wenngleich die Messungen häufig im Ruhebetrieb erfolgten (siehe hierzu ausführlich Kapitel 4.2 „Festlegung des Messverfahrens“). Bei intensiver Nutzung durch mehrere Notebooks – insbesondere bei der Übertragung von Multimedia-Dateien mit bewegten Bildern – können die Accesspoints durchaus im Dauerbetrieb arbeiten. Werden die Notebooks hingegen zum „normalen Internet-Surfen“ oder für gelegentliche Dateizugriffe verwendet, liegt die Auslastung deutlich niedriger.

Der höchste Messwert mit ca. 2,5 mW/m<sup>2</sup> findet sich im Gebäude NW 1 in Raum 122 (Messpunkt 1) an dem Arbeitsplatz unmittelbar neben der Tür in 1,70 m Messhöhe. Hiermit werden 0,025 % des gesetzl. Grenzwertes und ca. 2,5 % des vom nova-Institut empfohlenen Vorsorgewertes erreicht. Selbst bei Volllast-Betrieb bleibt also an diesem Arbeitsplatz die Belastung einen Faktor 40 unter dem Vorsorgewert. Nach Auskunft der Universitätsmitarbeiter soll dieser Accesspoint allerdings an einen weiter von einem Dauerarbeitsplatz entfernten Standort verlegt werden,



da an dieser Stelle nicht berücksichtigt worden war, dass sich direkt hinter der Wand ein Arbeitsplatz befindet.

Die nächst höhere Belastung findet sich im Mehrzweckhochhaus in Raum 4200 (Messpunkt 5b), in dem sich ein Accesspoint unmittelbar neben der Eingangstür befindet. Hier beträgt die Leistungsflussdichte ca.  $0,67 \text{ mW/m}^2$  (entsprechend  $0,67 \%$  des nova-Vorsorgewertes). Danach folgt Raum 5390 (Messpunkt 4) mit ca.  $0,32 \%$  des nova-Vorsorgewertes. An allen anderen ausgemessenen Standorten beträgt die Leistungsflussdichte maximal  $0,1 \text{ mW/m}^2$ , was einem Tausendstel des nova-Vorsorgewertes entspricht. Hier sei auch hingewiesen auf die Ergebnisse der Vergleichsmessungen, bei denen an drei Messpunkten das gesamte elektromagnetische Spektrum von 50 bis 3000 MHz untersucht wurde (s. Tab. 3 bis 5). Die wesentlichen Ergebnisse sind hier noch einmal kurz dargestellt: An dem am höchsten durch das W-LAN belasteten Messpunkt (NW 1, R. 122) beträgt die Gesamtbelastung ca.  $3 \%$  des Vorsorgewertes, wovon ca.  $2,5 \%$  vom W-LAN verursacht werden und jeweils knapp  $0,2 \%$  von den UKW-Rundfunksendern und von D-Netz-Basisstationen. Umgekehrt ist die Situation an Messpunkt 4 (MZH, R. 5390). Hier beträgt die Gesamtbelastung ca.  $4,5 \%$  des Vorsorgewertes, wovon ca.  $3,3 \%$  von den UKW-Sendern,  $0,7 \%$  von den D-Netz-Basisstationen und  $0,3 \%$  vom W-LAN verursacht werden. Messpunkt 10 (GW2, R. B 2890) ist mit  $0,3 \%$  des Vorsorgewertes insgesamt sehr niedrig belastet, wovon ca.  $0,24 \%$  von den D-Netz-Basisstationen,  $0,04 \%$  von den UKW-Sendern und  $0,004 \%$  vom W-LAN ausgehen. Zum Vergleich mit Belastungen durch andere büroübliche Geräte sind in den Tabellen 7 und 8 die von Mikrowellenherden und schnurlosen Telefonen nach dem DECT-Standard ausgehenden Belastungen dargestellt. Bei den Mikrowellenherden ergeben sich in 1 Meter Abstand je nach Bauart Belastungen von  $4,5$  bis  $60 \%$  des Vorsorgewertes. Wegen der relativ geringen täglichen Betriebsdauer eines Mikrowellenherdes ist dies allerdings weniger gravierend als die typischen Belastungen, die von einem üblichen schnurlosen Telefon (DECT-Standard) ausgehen, unabhängig davon, ob mit dem Telefon gerade telefoniert wird oder nicht. Hier



werden in üblichen „Schreibtisch-Entfernungen“ (40 bis 60 cm) die Vorsorgewerte deutlich überschritten (170 mW/m<sup>2</sup>, entsprechen 180 % des Vorsorgewertes in 40 cm Entfernung) und selbst in 3 m Abstand liegt die Belastung mit 11 % des Vorsorgewertes erheblich höher als alle an den W-LAN-Accesspoints gemessenen Werte. Zum Puls-/Pausenverhältnis siehe die Diskussion in Kap. 4.5.1.

Der Vollständigkeit halber sei noch einmal darauf hingewiesen, dass sowohl für das W-LAN als auch für die DECT-Telefone immer die Pulsleistungen angegeben sind und die mittleren Leistungen i.a. erheblich geringer sind.

Aus Sicht des Sachverständigen ist daher eine gesundheitliche Belastung durch die W-LAN-Accesspoints nicht zu erwarten.

Etwas anders stellt sich die Situation für die Notebook-Benutzer dar. In geringen Entfernungen (10 bis 20 cm) von den W-LAN-Netzwerkkarten der Notebooks werden Werte von 50 bis 160 % der Vorsorgewerte erreicht. In der Kopfposition bei typischem Arbeitsabstand von 35 % beträgt der Wert allerdings nur noch 4 % des Vorsorgewertes. Wer also besonders dicht über das Notebook gebeugt arbeitet, muss mit einer Überschreitung der Vorsorgewerte rechnen.

Hierbei sollte allerdings bedacht werden, dass dies für den Vollastsendebetrieb der Notebooks gilt. Im praktischen Betrieb werden die mittleren Sendeleistungen der Notebooks i. Allg. erheblich niedriger liegen, insbesondere, wenn mehrere Notebooks sich einen Accesspoint „teilen müssen“. Ausserdem senden die W-LAN-Netzwerkkarten der Notebooks keine periodischen Kennungen, sondern geben nur dann Strahlung ab, wenn von diesem Notebook aus ein aktiver Netzwerkzugriff erfolgt.

Bezüglich der festgestellten niederfrequenten Belastung in Raum 143 (NW 1) am Messpunkt 2 siehe Kap. 4.2, S. 7.



Hürth, den 9. November 2001

Dipl.-Phys. Dr. Peter Nießen  
EMF-Abteilung des nova-Instituts



## **Wissenschaftliche Grundlage der in den nova-Gutachten herangezogenen Grenz- und Vorsorgewerte hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung**

### **1. Thermische Effekte als Grundlage der gesetzlichen Grenzwerte**

Die in der Bundesrepublik Deutschland gültigen Grenzwerte für die Leistungsflussdichte hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung sind in der 26. BImSchV (26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) festgelegt und stützen sich weitestgehend auf die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission für nichtionisierende Strahlung (ICNIRP= International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Die ICNIRP berücksichtigt für ihre Grenzwertempfehlungen im hochfrequenten Bereich ausschließlich thermische Effekte der elektromagnetischen Strahlung. Hierunter versteht man, dass die Absorption elektromagnetischer Strahlung in biologischen Geweben zu einer Erwärmung dieser Gewebe führt. Unter Zuhilfenahme medizinischer Erkenntnisse über tolerierbare Erwärmung von Körperteilen wird sodann diejenige zugeführte Wärmeleistung ermittelt, die vom Temperaturregulations- und Wärmetransportsystem des Körpers schadlos abgeführt werden kann. Die ICNIRP legt ihre Grenzwerte für die Leistungsflussdichte elektromagnetischer Strahlung entsprechend so fest, dass die aus der Absorption dieser Strahlung resultierende Erwärmung unter Berücksichtigung eines hinreichenden Sicherheitsabstandes unter der medizinisch tolerierbaren Erwärmung bleibt.

Diese – von der ICNIRP angewandte – Folgerungskette beruht also darauf, dass die Erwärmung von Körpergewebe der einzige biologisch relevante Effekt ist, der bei der Absorption von nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung in Lebewesen auftritt. Zweifelsohne ist dieser sogenannte "Erwärmungseffekt" der unmittelbar verständliche und allseits akzeptierte Effekt.



## **2. Athermische Effekte als Grundlage der nova-Vorsorgewertempfehlungen**

Viele Wissenschaftler bezweifeln jedoch, dass der Erwärmungseffekt der einzige biologisch relevante Effekt nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung ist. Alle über die direkte Erwärmung hinausgehenden Auswirkungen – also z.B. unmittelbare Effekte der hochfrequenten elektrischen und magnetischen Felder – werden in der Literatur zusammenfassend als "athermische Effekte" bezeichnet.

Bisher ist der diesbezügliche wissenschaftliche Kenntnisstand aber nicht eindeutig genug für den Beweis gesundheitsschädigender Effekte. Ebenso ist aber auch keineswegs eindeutig, dass athermische Effekte nicht gesundheitsgefährdend sind. Vorsorgender Gesundheitsschutz ist daher dringend angeraten, vor allem auch vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus der Vergangenheit, wo der sorglose Umgang mit als harmlos geltenden Substanzen zu verheerenden Folgen geführt hat, wie z.B. der Einsatz von Holzschutzmitteln, Asbest, FCKW, etc.). Unverständlich erscheint daher die Einschätzung der Strahlenschutzkommission, die die Festsetzung ihrer allein auf thermischen Effekten beruhenden Grenzwerte damit begründet, dass die vielen ernstzunehmenden Untersuchungen (z.B. aus Zellexperimenten, Schlaflaboruntersuchungen, usw. ) so komplex seien, "...die aufgezeigten Wirkungen so wenig gesichert... und die Relevanz für die Gesundheit des Menschen so unsicher ..., dass es unmöglich ist, diese Gesamtheit an Daten als Grundlage für die Festsetzung von Grenzwerten für die Exposition des Menschen heranzuziehen...." <sup>1</sup>.

Bei dem momentanen noch unsicheren wissenschaftlichen Erkenntnisstand erscheint es dem nova-Institut nicht angeraten, sich bei der Einschätzung der Wirkung nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung ausschließlich auf thermische Effekte zu stützen. Im Sinne eines vorsorgenden Gesundheitsschutzes empfiehlt das nova-Institut, für die Leis-



tungsflussdichten hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung Vorsorgewerte einzuhalten, die um einen Faktor 100 unter den von der ICNIRP (bzw. der 26. BImSchV) geforderten Werten liegen<sup>2</sup>. Auf diese Vorsorgewerte stützen sich alle in diesem Gutachten angegebenen Bewertungen und Empfehlungen.

Die Vorsorgewerte des nova-Instituts beruhen auf dem derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand. Beim Menschen sind nachteilige organische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder, wie sie beim Mobilfunk verwendet werden, für Leistungsflussdichten von 0,2 W/m<sup>2</sup> nachgewiesen worden (z.B. schädigende Wirkungen auf das Immunsystem, die die Entstehung von Krankheiten begünstigen können). Einige Ergebnisse von Studien, die den Wissenschaftlern des nova-Instituts wichtig erschienen, sind nachstehend aufgeführt:

#### Augentumore

Eine epidemiologische Studie von Andreas Stang und Karl-Heinz Jöckel von der Universität Essen sieht einen möglichen Zusammenhang zwischen der Entstehung von Augentumoren und der Benutzung von Handys und Funkgeräten<sup>3</sup>. Die Studie ergab ein 4-fach erhöhtes Risiko für Handy-Nutzer.

#### Tumorförderung

Eine australische Forschergruppe um Michael Repacholi untersuchte die tumorfördernde (im Gegensatz zu einer tumorauslösenden) Wirkung von GSM-Mobiltelefonstrahlung auf Mäuse, bei denen auf gentechnische Weise ein Tumor induziert worden war. Dies ist ein übliches Verfahren, um mögliche tumorfördernde Effekte von Umwelteinflüssen zu testen. Die Forschergruppe fand heraus, dass die der Mobilfunkstrahlung aus-

---

<sup>1</sup> Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch elektromagnetische Felder; Heft 23, 1999, 75.

<sup>2</sup> von anderen kritischen wissenschaftlichen Instituten werden ebenfalls diese oder noch strengere Vorsorgewerte gefordert.

<sup>3</sup> Stang, A., Anastassiou, G., Ahrens, W., Bromen, K., Bornfeld, N., Jöckel, K.-H.: The possible role of radio-frequency radiation in the development of uveal melanoma. Epidemiology 2001, Vol. 12, 7-12.



gesetzten Mäuse etwa doppelt so häufig Tumore entwickelten wie die nicht bestrahlten<sup>4</sup>.

### Blut-Hirn-Schranke

Verschiedene Forschergruppen beschäftigen sich mit der Veränderung der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke unter dem Einfluss von Mobilfunkstrahlung. Schon 1994 fanden Salford und Mitarbeiter im Tierexperiment bei 915 MHz (gepulst und ungepulst) und SAR-Werten von 0,016 bis 5 W/kg eine signifikant erhöhte Durchlässigkeit für bestimmte Eiweißstoffe<sup>5</sup>. Diese Erkenntnisse wurden in einer neueren Studie der Universität Münster in einem Zellkultur-Experiment bestätigt, bei der eine Strahlung von 1,8 GHz mit 217 Hz gepulst (E-Netz) verwendet wurde. Obwohl die Bestrahlungsintensität mit ca. 0,3 W/kg im nichtthermischen Bereich deutlich unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte lag, zeigte sich eine nach zwei Tagen um 50 Prozent und nach 4 Tagen um nahezu 100 Prozent erhöhte Durchlässigkeit für Sucrose<sup>6</sup>.

### Krebssterblichkeit

Eine polnische Studie fand bei Militärpersonal, das elektromagnetischer Strahlung im Bereich von 150 MHz bis 3,5 GHz bei Intensitäten von 0,1 bis 6 W/m<sup>2</sup> ausgesetzt war, eine signifikante Erhöhung der Krebssterblichkeit um das Doppelte. Die Studie untersuchte über einen Zeitraum von 15 Jahren die Krebshäufigkeit des polnischen Militärpersonals (ca. 128 000 Personen) im Alter von 20 bis 59 Jahren, von denen ca. 3 Prozent der oben beschriebenen Strahlung ausgesetzt waren<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> Repacholi, M.H., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, J., Harris, A. W.: Lymphomas in Ep-pim 1transgenic mice exposed topulsed 900 MHz electromagnetic fields: Radiation Research 1997, Vol. 147, 637-640.

<sup>5</sup> Salford, L.G., Brun, A., Stuesson, K., Eberhardt, J.L., Persson, B.R.R.: Permeability of the Blood-Brain Barrier Induced by 915 MHz Electromagnetic Radiation, Continuous Wave and Modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz: Microscopy Research and Technique, 1994, Vol. 27, 535-542.

<sup>6</sup> Schirmacher, A., Winters, S., Fischer S., Goeke, J., Galla, HJ., Kullnick, U., Ringelstein, EB., Stogbauer, F.: Electromagnetic fields (1,8 GHz) increase the permeability to sucrose of the blood-brain barrier in vitro: Bioelectromagnetics 2000, Vol. 21, 338-345.

<sup>7</sup> Szmigielski, St.: Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation: The Science of the Total Environment, 1996, Vol. 180, 9-17.



### Hirnströme

Eine Schweizer Arbeitsgruppe untersuchte in einem Laborexperiment mit 16 gesunden Männern die EEG-Veränderungen unter dem Einfluss von GSM-Mobilfunkstrahlung von 1 W/kg. Hierbei zeigte sich, dass eine EMF-Exposition während des Wachzustandes zu Veränderungen der Hirnströme führte, die einige Stunden später während des Schlafs gemessen wurden<sup>8</sup>.

### Zusammenfassung

Die hier dargestellten Studien sind nur eine Auswahl einer Vielzahl von Untersuchungen, die seit den 70er Jahren zum Thema „Wirkungen hochfrequenter Felder auf biologische Systeme“ veröffentlicht wurden. Sie stützen die Vermutung, dass es unterhalb der thermischen Schwellen und der darauf basierenden gesetzlichen Grenzwerte Effekte hochfrequenter elektromagnetische Strahlung auf biologische Systeme gibt und entsprechende Vorsorge notwendig ist.

Empfehlungen der britischen Stuart-Kommission deuten in die gleiche Richtung. Es wird dort bestätigt, dass innerhalb bestehender Expositions-Richtlinien Mobilfunkstrahlung biologische Effekte ausübt, die in ihrer Stärke ausreichen, um das Verhalten zu beeinflussen<sup>9</sup>. Auch die Bundesärztekammer warnt vor Mobilfunkstrahlung: „...Es gibt gewichtige Hinweise aus Tierversuchen, dass die Strahlen auch unterhalb der gültigen Grenzwerte schädigen können. Wir fordern das Bundesamt für Strahlenschutz auf, sich mit den seriösen wissenschaftlichen Ergebnissen auseinanderzusetzen....“<sup>10</sup>.

(nova Juli 2001)

---

<sup>8</sup> Borbély, A.A., Huber, R., Graf, T., Fuchs, B., Gallmann, E., Achermann, P.: Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram: *Neuroscience Letters*, 1999, Vol. 275, 207-210.

Huber, R., Graf, T., Cote, K.A., Wittmann, L., Gallmann, E., Matter, D., Schuderer, J., Kuster, N., Borbély, A.A., Achermann, P.: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG: *Neuro Report*, 2000, Vol. 11, 3321-3325

<sup>9</sup> Independent Expert Group on Mobile Phones: *Mobile Phones and Health*. 2000: <http://www.iegmp.org.uk/iegmp.txt.htm>.

<sup>10</sup> Eckel, H.: *Deutsches Ärzteblatt*, September 2000.



**Aktuelle Vorsorgewerte sowie Grenzwerte, die auf dem Vorsorgeprinzip gründen**

	<i>Niederfrequenz (NF) Magnetfeld 50 Hz</i>		<i>Hochfrequenz (HF) Leistungsflussdichte 400 bis 2.000 MHz</i>	
	<b>µT</b>	<b>Bedingung</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>Bedingung</b>
Italien 1999	0,5 2 0,2	(Entwurf) Jahresmittel max. Kurzwert Zielwert	1 0,1	Kurzwert Dauerbelastung
Schweiz 2000 („Anlagegrenzwert“)	1		0,042 0,095	900 MHz (*) 1.800 MHz (*)
Nordrheinwestfalen Bauleitplanung 1998 (Neubauten)	10		-	
Russland 1999	-		0,1	
China 1999 (Gesundheitsministerium)	-		0,1 0,4	Dauerbelastung kurzfristig
China 1999 (Umweltministerium)	-		0,4	
nova-Institut 2000	0,2		0,02 - 0,1	(*)
Ecolog-Institut 2000	0,1 0,2	Einzelanlage Gesamtbelastung	0,01	
Bonn 10/99: Resolution Bürgerforum & EMF-Expertenrunde (u.a. Bundesverband gegen Elektrosmog)	0,1 0,02	Wachbereich Ruhe- und Schlafbereich	0,000 1 0,000 001 0,000 001 0,000 000 01	ungepulst, Wachbereich ungepulst, Ruhe- und Schlaf gepulst, Wachbereich gepulst, Ruhe- und Schlaf
<b>zum Vergleich</b>				
ICNIRP 1987-1998	100		2 – 10	(*)
Deutschland (26. BImSchV) 1997	100 200	Dauerbelastung kurzzeitig & kleinräumig	2 – 10	(*)

(\*): Grenz- und Vorsorgewerte frequenzabhängig

(nova 2001)

Tabelle 2: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2400 bis 2485 MHz (ISM-Band)  
hier: W-LAN-Accesspoints

Spalte A: Maximalwert der Messergebnisse einschl. 6 dB Fehlerabschätzung (+)

Spalte B: Welcher Anteil des nova-Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

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

Messposition	Messpunkt *	Maximum	Max. bezogen auf nova-Vorsorgewert	Maximum bezogen auf 26.BImSchV
		W/m <sup>2</sup> (A)	(B)	(C)
<b>Gebäude Naturwissenschaften 1</b>				
Raum 122, Arbeitsplatz neben Tür, 1,20m Höhe	1	0,000792	0,792%	0,007919%
Raum 122, Arbeitsplatz neben Tür, 1,70m Höhe	1	0,002504	<b>2,504%</b>	0,025041%
Raum 122, Arbeitsplatz neben Tür, 2,00m Höhe	1	0,001989	<b>1,989%</b>	0,019891%
Raum 143, Arbeitsplatz Prof. Orlik	2a	0,0000005	0,0005%	0,000005%
Raum 143, Arbeitsplatz Sekretärin	2b	0,000001	0,001%	0,000006%
Flur vor Raum 143	2c	0,000003	0,003%	0,000032%
Raum 311, 4,60m Abstand zum Access Point	3a	0,000050	0,050%	0,000500%
Raum 311, 5,30m Abstand zum Access Point	3b	0,000100	0,100%	0,000997%
<b>Mehrzweckhochhaus</b>				
Raum 5390	4	0,000315	0,315%	0,003153%
Raum 4200, 3,80m Abstand vom Accesspoint	5a	0,000529	0,529%	0,005292%
Raum 4200, 2,50m Abstand vom Accesspoint	5b	0,000666	0,666%	0,006663%
Raum 021/022	6	0,000025	0,025%	0,000250%
<b>Bibliotheksgebäude</b>				
Arbeitsplatz Ebene 2, 1. AccessPoint	7	0,000025	0,025%	0,000250%
Arbeitsplatz Ebene 2, 2. AccessPoint	7	0,000002	0,002%	0,000020%
<b>Gebäude Geisteswissenschaften 2</b>				
Cafeteria, 1. Balkon	8	0,000008	0,008%	0,000079%
Raum B 1400	9	0,0000005	0,0005%	0,000005%
Raum B 2890, Frequenz 2415,48 MHz	10	0,000002	0,002%	0,000020%
Raum B 2890, Frequenz 2410,30 MHz	10	0,000004	0,004%	0,000035%
Raum B 2890, Frequenz 2438,30 MHz	10	0,000001	0,001%	0,000013%
Raum B 2890, Frequenz 2461,90 MHz	10	0,000001	0,001%	0,000009%
Vorsorgewert des nova-Instituts		<b>0,100000</b>		
Grenzwert 26. BImSchV.		<b>10,000000</b>		

\* Zur Lage der Messpunkte siehe Grundrisspläne 1 bis 8 im Anhang

+ siehe Kapitel 4.6

Messhöhe: Falls nicht anders angegeben, erfolgte die Messung jeweils in 1,25 m Höhe

Tabelle 3: Gemessene Leistungsflussdichten in den einzelnen Frequenzbereichen <sup>1)</sup>

Messposition	Messpunkt *	Maximalwerte der Leistungsflussdichte (einschl. 6 dB Korrekturfaktor) (+)					
		UKW W/m <sup>2</sup>	UHF W/m <sup>2</sup>	D-Netz W/m <sup>2</sup>	E-Netz W/m <sup>2</sup>	W-LAN W/m <sup>2</sup>	Summe W/m <sup>2</sup>
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 122	1	0,000037	0,000009	0,000078	0,000021	0,002533	0,002679
Mehrzweckhochhaus, Raum 5390	4	0,000651	0,000033	0,000334	0,000016	0,000319	0,001353
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Raum B 2890	10	0,000008	0,000001	0,000111	0,000014	0,000004	0,000137
zum Vergleich:							
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 143	2					0,000003	
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 311	3					0,000101	
Mehrzweckhochhaus, Raum 4200	5					0,000666	
Mehrzweckhochhaus, Raum 021/022	6					0,000025	
Bibliotheksgebäude, Arbeitsplatz Ebene 2	7					0,000025	
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Cafeteria, 1. Balkon	8					0,000008	
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Raum B 1400	9					0,000001	
<b>Vorsorgewert des nova-Instituts</b>		<b>0,020000</b>	<b>0,022000</b>	<b>0,046500</b>	<b>0,090000</b>	<b>0,100000</b>	
<b>Grenzwert 26. BImSchV</b>		<b>2,000000</b>	<b>2,200000</b>	<b>4,650000</b>	<b>9,000000</b>	<b>10,000000</b>	

<sup>1)</sup> Zum Vergleich mit Grenz- und Vorsorgewerten siehe die folgenden Tabellen 4 und 5

(+) siehe Kapitel 4.6

\* Zur Lage der Messpunkte siehe Grundrisspläne 1 bis 8 im Anhang

Tabelle 4: Leistungsflussdichten in den einzelnen Frequenzbereichen, bezogen auf die jeweiligen Grenzwerte der 26. BImSchV

Messposition	Messpunkt *	Maximalwerte der Leistungsflussdichte (einschl. 6 dB Korrekturfaktor)(+), angegeben als prozentualer Anteil an dem für den jeweiligen Frequenzbereich gültigen Grenzwert der 26. BImSchV					
		UKW	UHF	D-Netz	E-Netz	W-LAN	Summe
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 122	1	0,00187%	0,00043%	0,00168%	0,00023%	0,02533%	0,030%
Mehrzweckhochhaus, Raum 5390	4	0,03256%	0,00152%	0,00718%	0,00017%	0,00319%	0,045%
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Raum B 2890	10	0,00039%	0,00005%	0,00238%	0,00015%	0,00004%	0,003%
zum Vergleich:							
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 143	2					0,00003%	
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 311	3					0,00101%	
Mehrzweckhochhaus, Raum 4200	5					0,00666%	
Mehrzweckhochhaus, Raum 021/022	6					0,00025%	
Bibliotheksgebäude, Arbeitsplatz Ebene 2	7					0,00025%	
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Cafeteria, 1. Balkon	8					0,00008%	
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Raum B 1400	9					0,00001%	
<b>Grenzwert 26. BImSchV</b>		<b>W/m<sup>2</sup></b> <b>2,000000</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b> <b>2,200000</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b> <b>4,650000</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b> <b>9,000000</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b> <b>10,000000</b>	

(+) siehe Kapitel 4.6

\* Zur Lage der Messpunkte siehe Grundrisspläne 1 bis 8 im Anhang

Tabelle 5: Leistungsflussdichten in den einzelnen Frequenzbereichen, bezogen auf die vom nova-Institut empfohlenen Vorsorgewerte

Messposition	Messpunkt *	Maximalwerte der Leistungsflussdichte (einschl. 6 dB Korrekturfaktor)(+), angegeben als prozentualer Anteil an dem für den jeweiligen Frequenzbereich vom nova-Institut empfohlenen Vorsorgewert					
		UKW	UHF	D-Netz	E-Netz	W-LAN	Summe
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 122	1	0,187%	0,043%	0,168%	0,023%	2,533%	2,955%
Mehrzweckhochhaus, Raum 5390	4	3,256%	0,152%	0,718%	0,017%	0,319%	4,462%
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Raum B 2890	10	0,039%	0,005%	0,238%	0,015%	0,004%	0,301%
zum Vergleich:							
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 143	2					0,003%	
Gebäude Naturwissenschaften 1, Raum 311	3					0,101%	
Mehrzweckhochhaus, Raum 4200	5					0,666%	
Mehrzweckhochhaus, Raum 021/022	6					0,025%	
Bibliotheksgebäude, Arbeitsplatz Ebene 2	7					0,025%	
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Cafeteria, 1. Balkon	8					0,008%	
Gebäude Geisteswissenschaften 2, Raum B 1400	9					0,0005%	
<b>Vorsorgewert-Empfehlung</b>		<b>W/m<sup>2</sup> 0,020000</b>	<b>W/m<sup>2</sup> 0,022000</b>	<b>W/m<sup>2</sup> 0,046500</b>	<b>W/m<sup>2</sup> 0,090000</b>	<b>W/m<sup>2</sup> 0,100000</b>	

(+) siehe Kapitel 4.6

\* Zur Lage der Messpunkte siehe Grundrisspläne 1 bis 8 im Anhang

Tabelle 6: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2400 bis 2485 MHz (ISM-Band)  
hier: W-LAN-Netzwerkkarten

Spalte A: Maximalwert der Messergebnisse einschl. 6 dB Fehlerabschätzung (+)

Spalte B: Welcher Anteil des nova-Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

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

Messposition	Maximum	Max. bezogen auf nova-Vorsorgewert	Maximum bezogen auf 26.BImSchV
	W/m <sup>2</sup>	(B)	(C)
	(A)		
<b>W-LAN-Netzwerkkarten der Notebooks</b>			
1,50 m Abstand (s. Foto 15)	0,00158	1,58%	0,016%
0,80 m Abstand (s. Foto 16)	0,00126	1,26%	0,013%
0,60 m Abstand (s. Foto 17)	0,00315	3,15%	0,032%
0,35 m Abstand (ohne Foto)	0,00397	3,97%	0,040%
0,10 m Abstand (s. Foto 18)	0,04996	49,96%	0,500%
0,20 m Abstand (s. Foto 19)	0,09969	<b>99,69%</b>	0,997%
0,20 m Abstand (veränderte Kopfhaltung)	0,15800	<b>158,00%</b>	1,580%
Vorsorgewert des nova-Instituts	<b>0,100000</b>		
Grenzwert 26. BImSchV.	<b>10,000000</b>		

+ siehe Kapitel 4.6

Tabelle 7: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 1880 bis 1900 MHz  
hier: Schnurlos-Telefon nach dem DECT-Standard

Spalte A: Messergebnisse, einschl. 6 dB Fehlerabschätzung<sup>+</sup>

Spalte B: Welcher Anteil des nova-Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

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

Messposition	Messwert	Messw. bezogen auf nova-Vorsorgewert	Messwert bezogen auf 26.BImSchV
	W/m <sup>2</sup> (A)	(B)	(C)
<b>DECT-Telefon</b>			
40 cm Abstand	0,171261	180,3%	1,803%
60 cm Abstand	0,132941	139,9%	1,399%
1,70 m Abstand	0,020121	21,2%	0,212%
3,00 m Abstand	0,011058	11,6%	0,116%
Vorsorgewert des nova-Instituts	<b>0,0950</b>		
Grenzwert 26. BImSchV.	<b>9,5000</b>		

<sup>+</sup> siehe Kapitel 4.6

Tabelle 8: Leistungsflussdichten im Frequenzbereich 2450 MHz (ISM-Band)  
hier: Mikrowellenherde

Spalte A: Mittelwert der Messergebnisse, einschl. 6 dB Fehlerabschätzung<sup>+</sup>

Spalte B: Maximalwert der Messergebnisse (MaxHold-Funktion), einschl. 6 dB Fehlerabschätzung<sup>+</sup>

Spalte C: Welcher Anteil des nova-Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte A erreicht

Spalte D: Welcher Anteil des nova-Vorsorgewertes wird durch den Wert in Spalte B erreicht

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

Spalte F: Welcher Anteil des gesetzlichen Grenzwertes wird durch den Wert in Spalte B erreicht

Messposition	Mittelwert	Maximum	Mittelw. bezogen auf nova-Vorsorgewert	Max. bezogen auf nova-Vorsorgewert	Mittelwert bezogen auf 26.BImSchV	Maximum bezogen auf 26.BImSchV
	W/m <sup>2</sup> (A)	W/m <sup>2</sup> (B)	(C)	(D)	(E)	(F)
<b>1. Obergeschoss, neueres Gerät</b>						
0,50 m Abstand	0,0039	0,0078	3,9%	7,8%	0,039%	0,078%
1,00 m Abstand	0,0020	0,0044	2,0%	4,4%	0,020%	0,044%
2,00 m Abstand	0,0010	0,0020	1,0%	2,0%	0,010%	0,020%
3,50 m Abstand	0,0002	0,0008	0,2%	0,8%	0,002%	0,008%
<b>Erdgeschoss, altes Gerät</b>						
0,35 m Abstand	0,0986	0,3116	98,6%	311,6%	0,986%	3,116%
0,50 m Abstand	0,0622	0,1562	62,2%	156,2%	0,622%	1,562%
1,00 m Abstand	0,0156	0,0622	15,6%	62,2%	0,156%	0,622%
2,00 m Abstand	0,0025	0,0078	2,5%	7,8%	0,025%	0,078%
3,00 m Abstand	0,0010	0,0025	1,0%	2,5%	0,010%	0,025%
Flur, Tür geschlossen	0,0001	0,0002	0,1%	0,2%	0,001%	0,002%
Vorsorgewert des nova-Instituts		<b>0,1000</b>				
Grenzwert 26. BImSchV.		<b>10,0000</b>				

<sup>+</sup> siehe Kapitel 4.6

Messhöhe: Falls nicht anders angegeben, erfolgte die Messung jeweils in 1,25 m Höhe