

nehmer wurde unter Doppelblindbedingungen vor und während der Aufnahme einem typischen Mobilfunksignal (902,4 MHz, mit einer Pulsung von 217 Hz und einer Stärke von 0,25 Watt) ausgesetzt. Dabei fielen leichte Einflüsse im so genannten Alpha-Band auf. Diese Wirkung war während der Mobilfunkexposition stärker als bei einer Messung der Hirnströme im Anschluss an eine entsprechende Exposition. Die Autoren weisen darauf hin, dass ihre Ergebnisse „die Idee unterstützen, dass gepulste hochfrequente elektromagnetische Felder die normale Gehirnfunktion beeinflussen können, auch wenn keine Folgerungen über mögliche gesundheitliche Wirkungen daraus gezogen werden können.“

Die Frage, ob Mobilfunkstrahlung die Hirnströme beeinflussen kann, wird seit mehr als 10 Jahren kontrovers diskutiert. Heute gibt es jedoch daran wenig Zweifel. Die Diskussion hat sich daher zunehmend auf die Frage verlagert, ob diese Veränderungen von gesundheitlicher Relevanz sind.

Zu den früheren Untersuchungen, die einen Einfluss gepulster hochfrequenter Felder auf die elektrische Hirnaktivität untersuchten, zählen die Studien von Borbely et al. 1999, Croft et al. 2002, Eulitz et al. 1998, Freude et al. 1998, Huber et al. 2002 und Reiser et al. 1995. In einigen dieser Studien wurde eine verstärkte Alpha-Aktivität nachgewiesen.

Auch in zwei Studien, die den Einfluss niederfrequenter Felder untersuchten, wurde eine Beeinflussung der elektrischen Hirnaktivität im Alpha-Band beobachtet (Marino et al. 2004, Cook et al. 2004). Allerdings waren dazu vergleichsweise starke Magnetfelder von 100 bzw. 200 Mikrottesla erforderlich. Die Bedeutung einer verstärkten Alpha-Aktivität ist unklar. Cook et al. (2004) vermuten, dass „die Alpha-Reaktion nach der Exposition eine nicht-spezifische Reaktion des zentralen Nervensystems ist. Da der Mensch kein spezifisches Sinnesorgan für elektromagnetische Felder besitzt, reagiere er nach dieser Theorie unspezifisch mit der Verstärkung des Grundrhythmus des Gehirns.“

### Franjo Grotenhermen

#### Quellen:

- Borbely AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P. Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett* 1999;275(3):207-10.
- Cook CM, Thomas AW, Prato FS. Resting EEG is affected by exposure to a pulsed ELF magnetic field. *Bioelectromagnetics* 2004;25(3):196-203.
- Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, Barry RJ, Williams JD, Clarke AR. Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 2002;113(10):1623-1632.
- Curcio G, Ferrara M, Moroni F, D'Inzeo G, Bertini M, De Genaro L. Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. *Neurosci Res* 12. August 2005; [Elektronische Publikation vor dem Druck].
- Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 1998;9(14):3229-32.
- Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I. Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics* 1998;19(6):384-7.
- Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 2002;11(4):289-295.
- Marino AA, Nilsen E, Chesson AL Jr, Fritel C. Effect of low-frequency magnetic fields on brain electrical activity in human subjects. *Clin Neurophysiol* 2004;115(5):1195-201.
- Reiser H, Dimpfel W, Schober F. The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med Res* 1995;1(1):27-32.

## Hochfrequenz / Technik

# Strahlungsintensitäten in Mobilfunknetzen

**Häufig finden sich sehr widersprüchliche Angaben zu der für ein Mobilfunknetz erforderlichen Strahlungsstärke (Leistungsflussdichte). So werden von den Netzbetreibern wesentlich höhere Werte genannt als sie nach Angaben von Mobilfunkkritikern für ein Mobilfunkgespräch erforderlich sind. Im Folgenden soll untersucht werden, welche technischen und ökonomischen Hintergründe zu den genannten Kontroversen beitragen und wodurch sich eine optimierte Funknetzauslegung von der heute üblichen unterscheidet.**

Grundsätzlich gilt die hier dargestellte Problematik für alle heutigen Mobilfunknetze, wird in diesem Beitrag aber der Einfachheit halber am Beispiel des in Deutschland bisher am weitesten verbreiteten Mobilfunknetzes (D-Netz, GSM-900) dargestellt, wenn auch teilweise auf Besonderheiten des neuen UMTS-Netzes eingegangen wird. In der folgenden Tabelle ist zunächst einmal der sehr große Bereich von Leistungsflussdichten vorgestellt, der sowohl in der Grenz- und Vorsorgewertdiskussion als auch im Bereich der technischen Erfordernisse eines Mobilfunknetzes eine Rolle spielt:

| Mobilfunk GSM-900 (D-Netz)  | Leistungsflussdichte (mW/m <sup>2</sup> ) |
|---|---|
| gesetzl. Grenzwert (ICNIRP/26.BImSchV)  | 4.650                                     |
| Italien 2001 (über 4 Stunden Aufenthalt)  | 100                                       |
| Schweizer Anlagengrenzwert  | 42,4                                      |
| Vorsorgewert ecolog-Institut  | 10  |
| Salzburger Richtwert 1998   | 1   |
| Salzburger Richtwert 2002 (außen)   | 0,01                                      |
| Salzburger Richtwert 2002 (innen)   | 0,001                                     |
| Grenzwert für empfindliche technische Geräte (1 V/m)                                      | 2,7                                       |
| Besonders hohe Immissionen in der Umgebung von Mobilfunkanlagen (sehr selten anzutreffen) | um 100                                    |
| hohe Immissionen in der Umgebung von Mobilfunkanlagen (an ungünstigen Standorten)         | 10 bis 30                                 |
| typische Immissionen in der Umgebung von Mobilfunkanlagen                                 | von 0,1 bis 10                            |
| typische innerstädtische Immissionen bei freier Sicht zur Mobilfunkanlage                 | von 0,01 bis 1,0                          |
| typische Werte in Büroräumen mit guter Mobilfunkversorgung (Summe)                        | von 0,000.1 bis 0,4                       |
| typische Werte in Büroräumen mit guter Mobilfunkversorgung (ein Mobilfunknetz)            | von 0,000.1 bis 0,005                     |
| mäßig gut versorgte innerstädtische Innenräume (Erdgeschoss)                              | von 0,000.01 bis 0,000.1                  |
| Einzelkanal eines Mobilfunknetzes, der ein Mobilfunkgespräch in Innenräumen ermöglicht    | von 0,000.000.2 bis 0,000 .01             |
| Schweizer Mindestpegel für BAKOM-Konzessionserfüllung (45 dBµ V/m) ca.                    | 0,000.000.1                               |

Am oberen Ende der extrem großen Spannweite von Leistungsflussdichten steht der in Deutschland und den meisten westeuropäischen Ländern gültige Grenzwert von 4,6 Watt pro Quadratmeter, der sich auf die ausschließlich auf thermischen Wirkungen

basierende Empfehlung der internationalen Strahlenschutzkommission (ICNIRP) stützt. Auf die weiterhin genannten Grenz- und Vorsorgewerte wurde bereits in vielen Artikeln im Elektromog-Report eingegangen. Am unteren Ende der Skala steht mit ca. 0,1 Nanowatt pro Quadratmeter (= 0,000.000.1 mW/m<sup>2</sup> = 0,000.1 µW/m<sup>2</sup>, s. letzte Zeile der Tabelle) der Mindestversorgungspegel, den das Schweizer Bundesamt für Kommunikation (BAKOM) ansetzt. Ebenso wie hierzulande ist auch in der Schweiz die Konzessionsvergabe für Mobilfunknetze an die Versorgung eines bestimmten Bevölkerungs- oder Gebietsanteils mit diesem Mobilfunknetz verbunden. Das Schweizer BAKOM (im Gegensatz zu dem Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL keineswegs als mobilfunkkritisch bekannt) definiert dazu den genannten Mindestpegel von ca. einem Zehnmillionstel Milliwatt pro Quadratmeter.

Wenn nun aber unbestritten solch geringe Leistungsflussdichten von weniger als 0,001 µW/m<sup>2</sup> für ein problemloses Mobilfunkgespräch ausreichen, erscheint es zunächst einmal sehr schwer verständlich, warum die Netzbetreiber es für den ungestörten Ausbau ihrer Mobilfunknetze für erforderlich halten, den gesetzlichen Grenzwert gegebenenfalls ausschöpfen zu können, obwohl dieser mit 4,6 W/m<sup>2</sup> um wesentlich mehr als den Faktor eine Milliarde höher liegt als die mindestens für ein Mobilfunkgespräch erforderliche Leistungsflussdichte. Relativ ähnlich ist auch die Situation in der Schweiz, wo der (vom eher mobilfunkkritischen BUWAL erlassene) Anlagengrenzwert von ca. 42 mW/m<sup>2</sup> ca. 400 Millionenfach höher liegt als der BAKOM-definierte Mindestversorgungspegel.

Die wesentlichen Ursachen für diese Diskrepanz sollen im Folgenden näher betrachtet werden:

## Innenraumversorgung

Bei den klassischen drahtlosen Kommunikationstechniken (Rundfunk, Fernsehen) wird üblicherweise eine Antenne an einem funktentechnisch günstigen Standort montiert, z.B. für den Fernsehempfang eine Dachantenne. Sofern Rundfunkgeräte ohne externe Antenne betrieben werden, hat man sich daran gewöhnt, sie zumindest an einer funkversorgungsmäßig günstig gelegenen Stelle des Raumes aufzustellen (z.B. in der Nähe eines Fensters) und die Antenne geeignet auszurichten. Ganz anders sind – zumindest nach Ansicht der Netzbetreiber und auch vieler Nutzer – die Anforderungen bei der Mobilfunkversorgung. Ein Handy soll natürlich in jedem Raum der Wohnung oder des Bürogebäudes funktionieren und natürlich auch unabhängig davon, wo es sich gerade in diesem Raum befindet (z.B. in der Aktentasche auf dem Boden oder in der abgelegenen Ecke des Konferenzraums). In der (meist englischen) Fachsprache der Mobilfunktechnologie bezeichnet man diese beiden Effekte mit:

1. indoor loss: Die Dämpfung (Intensitätsverlust), den die elektromagnetische Welle beim Durchgang durch die Hauswände erfährt, wird in der Mobilfunkplanung typischerweise abgeschätzt mit 18 dB:

|             | Dezibel | Dämpfungsfaktor |
|-------------|---------|-----------------|
| indoor loss | 18      | 63              |

2. fast fading: Die sehr kleinräumigen Intensitätsunterschiede, die sich innerhalb typischer Innenräume durch die komplizierten Reflexions- und Beugungsverhältnisse einstellen, werden als Minimum abgeschätzt mit 10 dB:

|             | Dezibel | Dämpfungsfaktor |
|-------------|---------|-----------------|
| fast fading | 10      | 10              |

Das heißt, möchte man in der ungünstigen Raumecke eine Versorgung von nur dem Mindestversorgungspegel haben, so ist dafür

außen vor dem Gebäude schon ca. die 600-fache Leistungsflussdichte erforderlich.

## Viele parallel betriebene Mobilfunknetze

Die bisherige Betrachtung bezieht sich auf ein einzelnes Mobilfunknetz, also z.B. eines der beiden D-Netze in Deutschland. Nun sind aber bereits in den klassischen GSM-Netzen vier Mobilfunknetzbetreiber tätig (T-Mobile/D1, Vodafone/D2, E-Plus, O2-Germany) und jedes Netz benötigt seine eigenen Basisstationen, die jeweils entsprechende Immissionen verursachen. Die zur Zeit noch im Aufbau befindlichen neuen UMTS-Netze sollen zumindest auf absehbare Zeit parallel zu den existierenden GSM-Netzen betrieben werden und strahlen somit zusätzliche Sendeleistung ab. Ursprünglich waren sechs separate UMTS-Netzbetreiber mit jeweils einem eigenständigen Sendernetz vorgesehen. Mittlerweile hat sich die Anzahl der UMTS-Netzbetreiber auf ebenfalls vier verringert, womit sich also im zu erwartenden Endausbau vier Netzbetreiber mit jeweils 2 unabhängigen Mobilfunknetzen ergeben.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass in jedem Mobilfunknetz viele Nutzer gleichzeitig telefonieren wollen/sollen. In den GSM-Netzen existiert jeweils ein Basiskanal, der bis zu 8 gleichzeitige Gespräche abwickeln kann und unabhängig von der vorliegenden Gesprächsauslastung immer auf Sendung ist. Kommen in der gleichen Funkzelle weitere gleichzeitige Nutzer des gleichen Netzbetreibers hinzu, so wird ein weiterer Sendekanal zugeschaltet, der wiederum acht Gespräche bewältigen kann. Eine typische GSM-Basisstation ist mit vier Sendekanälen ausgestattet und kann somit maximal 32 gleichzeitige Gespräche pro Sektor abwickeln. Kleinere Stationen verfügen über 2 Kanäle. Dies bedeutet, dass bei Vollastbetrieb pro Netzbetreiber die doppelte bzw. vierfache Immission bezogen auf die Schwachlastzeiten (z.B. nachts) auftritt. Im Folgenden wird als Mittelwert von 3 Kanälen pro Basisstationssektor ausgegangen.

Etwas anders ist die Situation in den UMTS-Netzen, da hier ein anderes Mehrbenutzerzugangsverfahren angewandt wird (vgl. Elektromog-Report April 2002 und Oktober 2004). Pro Netzbetreiber gibt es hier zwei jeweils 5 MHz breite Frequenzblöcke, von denen beim momentanen Netzausbau jeweils nur einer genutzt wird. Rein funktentechnisch gesehen handelt es sich hierbei um zwei Frequenzkanäle, man berücksichtige aber die mögliche Sprachverwirrung, da im üblichen UMTS-Sprachgebrauch der Begriff Kanal nicht für Frequenzkanäle verwendet wird, sondern für einzelne (durch Codes getrennte) Bestandteile eines Frequenzblocks, so z. B. für den sogenannten Pilotkanal (CPICH = Common Pilot Channel), der für ähnliche Signalisierungs- und Koordinationsübertragungen genutzt wird wie der erste Zeitschlitz des Basiskanal einer GSM-Station.

Bezüglich der Immissionen bedeutet dies, dass die Sendeleistung des Pilotkanals (zur Zeit ca. 15 Prozent der Maximalleistung) permanent ausgestrahlt wird und zusätzliche Gespräche bzw. Datenverbindungen kontinuierlich (anstatt in 8-er Blocks) hinzukommen. Zusätzlich kompliziert wird die Situation dadurch, dass bei Datenübertragung im UMTS-Netz (wofür das Netz hauptsächlich gedacht ist) höhere Datenübertragungsraten auch höhere Feldstärken, d.h. bzgl. der Immissionsbetrachtung höhere Leistungsflussdichten erfordern. Dies im Detail zu untersuchen, sprengt den Rahmen dieses Artikels. Daher werden für die folgende Betrachtung für alle Netze die Faktoren verwendet, die zuvor für die GSM-Netze beschrieben wurden. Der hierdurch entstehende Fehler macht auf jeden Fall weniger als einen Faktor 2 aus und ist daher im Rahmen der Gesamtbetrachtung eher unbedeutend.

Somit ergibt sich insgesamt durch die parallel betriebenen Netze mit vielen gleichzeitigen Nutzern:

|                               | Faktor |
|-------------------------------|--------|
| 2 Mobilfunknetze (GSM / UMTS) | 2      |
| 4 Netzbetreiber               | 4      |
| 3 Kanäle                      | 3      |
| gesamt                        | 24     |

## Inhomogenität der Mobilfunknetze

Die Problematik der optimalen Gestaltung eines Mobilfunknetzes liegt zum großen Teil in den klein- und großräumigen Strukturen sowohl der Geländeformen als auch der Bebauung. Eine optimale Situation – und zwar sowohl bezüglich der Mobilfunkversorgungsqualität als auch der Immissionsminimierung – liegt dann vor, wenn es gelingt, das gesamte zu versorgende Gebiet mit einer möglichst gleichmäßigen Einstrahlung zu versehen. In diesem Fall genügt es, die Leistungsflussdichte so zu wählen, dass sie gerade für eine Mobilfunkverbindung guter Qualität ausreicht. Liegen hingegen Abweichungen von dieser Optimalsituation der völlig homogenen Versorgung vor, so orientieren sich die Mobilfunkbetreiber bei ihrem Netzausbau naturgemäß an dem Punkt des Versorgungsgebietes mit der schlechtesten Funkverbindung und wählen die Sendeleistung so, dass dort noch eine hinreichend gute Gesprächsqualität möglich ist. Zwangsläufig entsteht so in den übrigen Gebieten mit besserer Funkverbindung eine mehr oder weniger ausgeprägte „Übersversorgung“. Diese – sich zwangsläufig aus den Inhomogenitäten des Netzes ergebende – Übersversorgung ist der Hauptgrund für die in der näheren Umgebung von Basisstationen auftretenden erhöhten Immissionen. Die Höhe der Immissionen wird dabei keineswegs nur durch den Abstand von der Sendeanlage bestimmt, da im Nahbereich die Nebenkeulen der Sendantennen die auftretenden Leistungsflussdichten bestimmen und erst in größerem Abstand (ab 50 bis 500 Metern) die Leistungsflussdichten mit dem Quadrat des Abstands fallen. Grob abgeschätzt ergibt sich:

| Inhomogenitäten der Netze | Dezibel | Faktor |
|---------------------------|---------|--------|
| typisches Netz            | 25      | 300    |
| optimiertes Netz          | 5       | 3      |

Dazu kommen unterschiedliche Verluste je nach Standort des Mobilfunknutzers. Soll ein Mobilfunkgespräch auch in einer innerstädtischen Straßenschlucht funktionieren, so führt dies naturgemäß dazu, dass an einer benachbarten Stelle in etwa gleicher Entfernung zur Basisstation, aber freier Sicht zu den Sendantennen eine erheblich höhere Leistungsflussdichte auftritt:

|              | Dezibel | Dämpfungsfaktor |
|--------------|---------|-----------------|
| Pfadverluste | 15      | 30              |
|              | 20      | 100             |

## Zusammenfassung

Die vorgenannten Faktoren werden in der folgenden Tabelle noch einmal zusammengefasst.

|                           | Faktor       |              |
|---------------------------|--------------|--------------|
|                           | von          | bis          |
| indoor loss               | 63           | 63           |
| fast fading               | 10           | 10           |
| mehrere Mobilfunknetze    | 24           | 24           |
| Pfadverluste              | 30           | 100          |
| Inhomogenitäten der Netze | 3            | 300          |
| Gesamtfaktor              | ca. 1,5 Mio. | ca. 500 Mio. |

Setzt man nun als Mindestpegel für ein Mobilfunkgespräch den oben genannten BAKOM-Wert von  $0,000.1 \mu\text{W/m}^2$  ( $= 0,000.000.1 \text{ mW/m}^2$ ) an, so ergibt sich in einem optimierten Netz mit unproblematischer Siedlungsstruktur (geringe Pfadverluste) und optimal

gewählten Basisstationsstandorten ein maximal auftretender Immissionswert von ca.

$$0,15 \text{ mW/m}^2 \quad (= 1,5 \text{ Mio.} \times 0,000.1 \mu\text{W/m}^2)$$

wohingegen in den heute üblichen Netzen mit großen Inhomogenitäten deutlich höhere maximale Immissionen auftreten:

$$50 \text{ mW/m}^2 \quad (= 500 \text{ Mio.} \times 0,000.1 \mu\text{W/m}^2)$$

Und dieser Wertebereich stellt auch in etwa den Spielraum dar, der eine strahlungsoptimierte Mobilfunkplanung von einer heute üblichen Mobilfunkplanung unterscheidet.

Peter Nießen

## Offizieller WiMax-Standard-Test beginnt im Oktober

Das internationale WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)-Forum will im Oktober dieses Jahres mit den offiziellen Tests und der Zertifizierung des WiMax-Standards IEEE 802.16-2004 beginnen. Kommende Woche werde die Prüfung des Test-Systems in Malaga abgeschlossen sein, sagte Gordon Antonello, Vorsitzender des Wimax Forums. Der Standard soll für den stationären Betrieb getestet werden. Die Tests sollen die Interoperabilität zwischen den verschiedenen Systemen garantieren. WiMax ist ein drahtloser IEEE-Standard für Breitband-Internet, der theoretisch eine Reichweite von über 50 Kilometer und eine Geschwindigkeit von mehr als 109 Mbit/s (bei einer Bandbreite von 28 MHz) übertreffen soll. Aufgrund der Leistungsfähigkeit von WiMax wird die Technologie als mögliche Alternative zu DSL-Leitungen und zu UMTS/OFDM-Verbindungen gehandelt. WiMax soll es unter anderem ermöglichen, auch entlegene Regionen kostengünstig an das Internet anzubinden. Ebenso wird der Einsatz zum Beispiel in Berlin erwogen, wo von der Telekom nach der Wiedervereinigung ganze Stadtteile mit Glasfaserkabel ausgerüstet wurden, die nicht DSL-fähig sind. Ein Problem der WiMax-Technik besteht allerdings darin, dass sich alle Nutzer in der viele Kilometer großen Funkzelle die an sich sehr hohe Übertragungsrate von 108 Megabit pro Sekunde (doppelt so hoch wie bei aktuellen WLAN-Systemen nach IEEE 802.11g) teilen müssen. In üblichen drahtgebundenen LANs wird demgegenüber jeder Benutzer mit 100 Megabit pro Sekunde angeschlossen.

### Quellen

- FGF-Infoline vom 25.08.2005,  
<http://www.fgf.de/fup/publikat/index.html>
- <http://www.inside-handy.de/>

### Impressum – Elektrosmog-Report im Strahlentelex

Erscheinungsweise: monatlich im Abonnement mit dem Strahlentelex **Verlag und Bezug:** Thomas Dersee, Strahlentelex, Waldstraße 49, D-15566 Schöneiche b. Berlin, ☎ 030 / 435 28 40, Fax: 030 - 64 32 91 67. E-Mail: [strahlentelex@t-online.de](mailto:strahlentelex@t-online.de). Jahresabo: 60 Euro.

### Herausgeber und Redaktion:

nova-Institut für politische und ökologische Innovation, Hürth Michael Karus (Dipl.-Phys.) (V.i.S.d.P.), Monika Bathow (Dipl.-Geogr.), Dr. med. Franjo Grotenhermen, Dr. rer. nat. Peter Nießen (Dipl.-Phys.).

**Kontakt:** nova-Institut GmbH, Abteilung Elektrosmog, Goldenbergst. 2, 50354 Hürth,

☎ 02233 / 94 36 84, Fax: / 94 36 83

E-Mail: [EMF@nova-institut.de](mailto:EMF@nova-institut.de); <http://www.EMF-Beratung.de>;

<http://www.HandyWerte.de>; <http://www.datadiwan.de/netzwerk/>