

## Strahlungsintensitäten in Mobilfunknetzen

Über die für ein Mobilfunknetz erforderliche Strahlungsstärke (Leistungsflussdichte) gibt es widersprüchliche Angaben. Netzbetreiber nennen wesentlich höhere Werte als Mobilfunkkritiker. Das EMF - Institut hat untersucht, welche technischen und ökonomischen Hintergründe zu den genannten Kontroversen beitragen und wodurch sich eine optimierte Funknetzauslegung von der heute üblichen unterscheidet.

Die im folgenden dargestellte Problematik gilt für alle heutigen Mobilfunknetze, soll aber der Einfachheit halber am Beispiel des in Deutschland bisher am weitesten verbreiteten Mobilfunknetzes (D-Netz, GSM-900) erläutert werden. Teilweise wird zudem auf die Besonderheiten des neuen UMTS-Netzes eingegangen.

### Welche Leistungsflussdichte braucht Mobilfunk?

Ausgangspunkt ist der sehr große Bereich von Leistungsflussdichten, der sowohl in der Grenz- und Vorsorgewertdiskussion als auch im Bereich der technischen Erfordernisse eines Mobilfunknetzes eine Rolle spielt. Die diskutierten Werte sind in einer Tabelle zusammengefasst.

Mobilfunk GSM-900 (D-Netz)	Leistungsflussdichte (mW/qm)
gesetzlicher Grenzwert (26. BImSchV)	4.650
Italien 2001 (über 4 Stunden Aufenthalt)	100
Schweizer Anlagengrenzwert	42,4
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 Immission in der Umgebung von Mobilfunkanlagen (sehr selten)	ca. 100
hohe Immission in der Umgebung von Mobilfunkanlagen (an ungünstigen Orten)	10 - 30
typische Immission in der Umgebung von Mobilfunkanlagen	0,1 - 10
typische innerstädtische Immission bei freier Sicht auf Mobilfunkanlage	0,01 - 1,0
typische Werte von Büroräumen mit guter Mobilfunkversorgung (Summe)	0,0001 - 0,4
typische Werte von Büroräumen mit guter Mobilfunkversorgung (ein Mobilfunknetz)	0,0001 - 0,005
mäßig gut versorgte innerstädtische Innenräume (Erdgeschoss)	0,00001 - 0,0001
Einzelkanal eines Mobilfunknetzes, der ein Mobilfunkgespräch in Innenräumen ermöglicht	0,0000002 - 0,00001
Schweizer Mindestpegel für BAKOM-Konzessionserfüllung ((45 dBµV/m)	0,0000001
Vorsorgewert ecolog-Institut für Mobilfunkanlagen	10

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 *Elektrosmog-Report* eingegangen.

Am unteren Ende der Skala steht mit ca. 0,1 Nanowatt pro Quadratmeter (=  $0,000.000.1 \text{ mW/m}^2 = 0,000.1 \text{ } \mu\text{W/m}^2$ , 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  $0,001 \text{ } \mu\text{W/m}^2$  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  $4,6 \text{ W/m}^2$  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.  $42 \text{ mW/m}^2$  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 funktechnisch 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 hinzugeschaltet, 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. Elektrosmog-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 funkttechnisch gesehen handelt es sich hierbei um zwei Frequenzkanäle, man berücksichtigt 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 Basiskanals 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 „Überversorgung“. Diese – sich zwangsläufig aus den Inhomogenitäten des Netzes ergebende – Überversorgung 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 Sendeantennen 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:

Inhomogenität 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 Sendeantennen 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	24	24
Mobilfunknetze	30	100
Pfadverluste	3	300
Inhomogenität Netze		
Gesamtfaktor	ca. 1,5 Mio.	ca. 500 Mio.

Setzt man als Mindestpegel für ein Mobilfunkgespräch den oben genannten BAKOM-Wert von  $0,000.1 \mu\text{W}/\text{m}^2$  ( $= 0,000.000.1 \text{ mW}/\text{m}^2$ ) 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 mW/m<sup>2</sup> ( = 1,5 Mio. x 0,000.1 μW/m<sup>2</sup>)**

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

**50 mW/m<sup>2</sup> ( = 500 Mio. x 0,000.1 μW/m<sup>2</sup>)**

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

von Dr. Peter Nießen, Leiter des EMF-Instituts

Kontakt:

Siebengebirgsallee 60

50939 Köln

Tel.: 0221/94159-77, Fax: -76

info@EMF-Institut.de

www.EMF-Institut.de

<http://www.strahlentelex.de/>