

Elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen und Handys

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek, Fachhochschule Deggendorf

1. Einleitung

Mobiles Telefonieren erlebt seit einigen Jahren deutschlandweit einen ungeheuren Boom. Dank immer neuer Preissenkungen für Gesprächszeit und Handy greifen in Deutschland inzwischen mehr als 50 Millionen Menschen zum Mobiltelefon. Um jedoch die Versorgung dieser stark wachsenden Zahl an Nutzern sicherstellen zu können, müssen die Anbieter ein immer dichter werdendes Netz von vielen tausend Mobilfunksendeanlagen flächendeckend über das Land spannen. Im Landschaftsbild fällt diese Zunahme an Mobilfunkmasten deutlich auf. Dadurch werden in der Bevölkerung immer häufiger Fragen über die Größe der elektromagnetischen Felder in der Umgebung von Sendetürmen beziehungsweise bei der Benutzung von Mobiltelefonen gestellt.

Im folgenden hierzu einige grundsätzliche Antworten:

2. Das Mobilfunknetz

In Deutschland existieren derzeit vier digitale Mobilfunknetze (Tab. 1), das analoge C-Netz wurde mittlerweile abgeschaltet. Alle diese Netze arbeiten mit digitaler Sprachcodierung nach dem GSM-Standard (Global System for Mobile Communications), der sich international einer sehr großen Verbreitung erfreut und neben einer guten Übertragungsqualität auch Zusatzdienste wie Fax, Kurzmitteilungen und den Datentransfer ermöglicht.

Netz	Sendefrequenz (ca.)	Standard	Betreiber	in Betrieb seit
D1	900 MHz	digital (GSM 900)	T-Mobil	1992
D2	900 MHz	digital (GSM 900)	Mannesmann	1992
E1	1800 MHz	digital (GSM 1800)	E-Plus	1994
E2	1800 MHz	digital (GSM 1800)	Viag-Interkom	1998
UMTS	2000 MHz	digital (W-CDMA)	6 Betreiber	voraussichtl. ab 2002

Tab. 1: Mobilfunknetze in Deutschland.

Das voraussichtlich ab dem Jahr 2002 verfügbare Mobilfunknetz der dritten Generation (UMTS: Universal Mobile Telecommunication System) arbeitet im Frequenzbereich zwischen 1900 und 2200 MHz.

Bei Rundfunk und TV kann mit einem Sendeturm in der Regel ein sehr weites Gebiet von bis zu 100 km Umkreis versorgt werden. Im Gegensatz dazu muss beim Mobilfunk ein sogenanntes "zellulares Netz" mit einer Vielzahl von kleinräumigen, nahtlos aneinander angrenzenden "Funkzellen" aufgebaut werden (Abb. 1). Verantwortlich für die Versorgung einer derartigen Funkzelle ist die "Basisstation", deren Antennen zum Beispiel auf einem Mast, einem Schornstein oder auf dem Dach eines Gebäudes installiert sind (Abb. 2). Die einzelnen Basisstationen sind untereinander und mit der zentralen Vermittlungsstelle des Netzbetreibers über Kabel, Glasfaser oder Richtfunk verbunden.

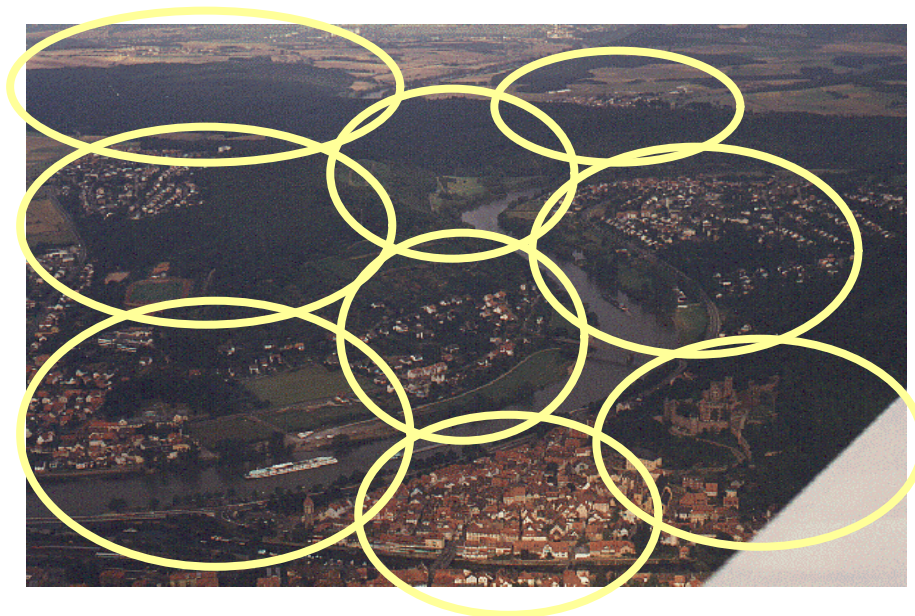
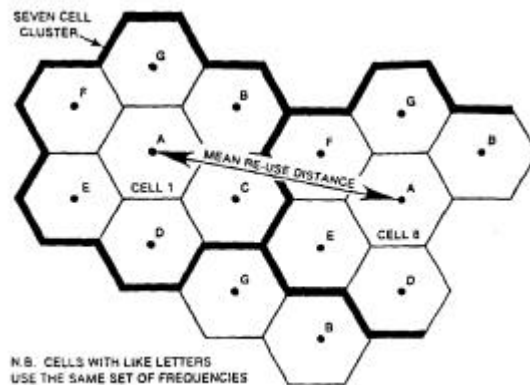


Abb. 1: Zellulare Struktur eines Mobilfunknetzes (Prinzipbild und geographische Realität).

Aufgrund der physikalischen Gesetze der Wellenausbreitung im Frequenzbereich des Mobilfunks und der begrenzten Sendeleistung des Handys ist der Radius einer derartigen Funkzelle sehr beschränkt. Er reicht von wenigen hundert Metern in Ballungsgebieten bis zu 10 – 15 km auf dem Land.

Es macht also keinen Sinn, die Sendeleistung der Basisstation zu erhöhen, um die Reichweite zu vergrößern. Damit können zwar vielleicht auch weiter entfernte Handys angesprochen werden, diese besitzen wegen ihrer beschränkten Sendeleistung jedoch nicht die Möglichkeit, dem Mast zu antworten. Zudem muss bei zu großer Leistung der Basisstation mit erheblichen Störungen des Netzbetriebs gerechnet werden ("Gleichkanalstörungen"). Grund dafür ist die

im Mobilfunk notwendige Mehrfachbenutzung der Sendefrequenz. Dabei wird eine bestimmte Sendefrequenz in mehreren Funkzellen gleichzeitig benutzt, wobei die Funkzellen einen angemessenen Abstand zueinander aufweisen müssen (Abb. 1).



Abb. 2: Sendemast einer Mobilfunkbasisstation.

Die Netzbetreiber tendieren beim Ausbau und der Verfeinerung des vorhandenen Funknetzes daher in der Regel zu immer geringerer Sendeleistung der Basisstationen und zu immer kleineren Zellen. Besonders gilt das in Ballungsgebieten. Nur durch diese Maßnahme ist die ungeheure Zunahme der Teilnehmerzahlen im Mobilfunk technisch einigermaßen zu beherrschen.

3. Wie Grenzwerte für elektromagnetische Felder entstehen

Wissenschaftlich gesichert ist, dass hochfrequente elektromagnetische Felder, wie sie beispielsweise von Rundfunk-, Fernseh-, Radar- und Mobilfunksendeanlagen abgestrahlt werden, ab einer bestimmten Intensität negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben können. Der Schutz der Bevölkerung vor den Wirkungen elektromagnetischer Felder wird durch die Festlegung von Immissionsschutzgrenzwerten geregelt. Gremien oder Institutionen, die Grenzwertempfehlungen für elektromagnetische Felder erarbeiten oder erarbeitet haben, halten sich meist an die folgende Vorgehensweise:

Nach Sichtung aller in der einschlägigen Fachliteratur beschriebenen Effekte wird festgestellt, welche dieser Effekte entsprechend bestimmter festgelegter Kriterien schon als wissenschaft-

lich gesichert angesehen werden können. Anschließend wird untersucht, welche dieser Effekte zu biologisch relevanten Wirkungen führen können. Diese Wirkungen werden dann überprüft, ob damit eine mögliche Schädigung, Beeinflussung oder wesentliche Belästigung verbunden sein kann. Die Grenzwerte werden schließlich mit einem Sicherheitsabstand (der im wesentlichen die Unsicherheit der Datenlage im "worst-case"-Fall berücksichtigt) unterhalb der letzten als relevant angesehenen Wirkung festgelegt. Alle Effekte, die dabei als nicht sicher überprüfbar erscheinen, werden nicht berücksichtigt.

Auf der Grundlage der zur Bewertung herangezogenen Effekte ergeben sich für die verschiedenen Frequenzbereiche unterschiedliche biologisch relevante Größen, die sogenannten "Basisgrenzwerte", welche ein Maß für die jeweiligen direkten Wirkungen auf den Organismus darstellen.

Grundlage für die Beurteilung der biologischen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder ist der vom menschlichen Körper aufgenommene Energieanteil. Dominierender Wirkungsmechanismus bei Hochfrequenzfeldern ist die Erwärmung des menschlichen Gewebes, da der größte Teil der vom Körper absorbierten hochfrequenten Energie in Wärme umgewandelt wird (thermischer Effekt). Den internationalen Grenzwertfestsetzungen liegt daher die Energieabsorption als Bezugsgröße zugrunde. Sie wird als "spezifische Absorptionsrate" (SAR) in Watt pro Kilogramm Körpermasse (W/kg) angegeben und stellt den Basisgrenzwert für hochfrequente Felder dar.

Aus den Basisgrenzwerten, die am Menschen nicht oder nur sehr schwer gemessen bzw. durch Computersimulation ermittelt werden können, werden aufgrund von Körpermodellen sogenannte "abgeleitete Grenzwerte" in den messtechnisch zugänglichen Größen ermittelt. Diese sind nach "worst-case"-Kriterien festgelegt, damit sichergestellt ist, dass bei Unterschreitung der abgeleiteten Grenzwerte auch die Basisgrenzwerte eingehalten werden.

Als abgeleitete Grenzwerte verwendet man bei hochfrequenten Feldern die elektrische Ersatzfeldstärke E (in V/m) und die magnetische Ersatzfeldstärke H (in A/m). Für Frequenzen über ca. 30 MHz wird auch die Leistungsflussdichte S (in W/m bzw. $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) verwendet.

Nationale oder internationale Gremien und Institutionen, die Grenzwertempfehlungen erarbeiten, legen ihren Empfehlungen üblicherweise rein wissenschaftliche Kriterien zu Grunde. Anschließend müssen dann politische Institutionen entscheiden, ob sie diesem Ansatz folgen, oder ob sie davon abweichende Regulationen treffen.

3.1 Regelungen der WHO und der ICNIRP

Die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP = International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection) ist von der Weltgesundheitsorganisation (WHO), der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO) sowie der Europäischen Union als die staatlich unabhängige Organisation anerkannt, die Grenzwerte im Bereich nichtionisierender Strahlung empfiehlt. ICNIRP erarbeitet derzeit in Verbindung mit der WHO eine Bewertung gesundheitlicher Wirkungen der Exposition durch nichtionisierende Strahlung, deren Ergebnisse in den sog. "Environmental Health Criteria"-Dokumenten der WHO veröffentlicht werden. Die zur Zeit aktuellen Empfehlungen der ICNIRP zu Expositionsrichtlinien stammen aus dem Jahr 1998 [1]. Grundlage für die Empfehlungen ist das Wissen um die Wirkungsmechanismen nichtionisierender Strahlung und deren gesundheitliche Relevanz. Bei ihrer Bewertung stützt sich ICNIRP auf gesichertes Wissen und reproduzierba-

re Ergebnisse. Hypothesen und unklare Befunde dagegen müssen so lange durch Forschung geprüft werden, bis sie entweder gesichert oder widerlegt sind.

Nach Bewertung von ICNIRP sind für den hier betrachteten Frequenzbereich des Mobilfunks die thermischen Wirkungen der Felder ausschlaggebend. Für andere beobachtete Effekte unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle (sog. "athermische Effekte") sind bislang die wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht ausreichend, um daraus Grundlagen für eine Expositionsbegrenzung zu begründen.

3.2 Regelungen in der EU und in Deutschland

Im Jahr 1999 hat der Rat der Europäischen Union die "Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)" verabschiedet [2]. Diese Empfehlung basiert auf den Richtwerten von ICNIRP und empfiehlt den Mitgliedsstaaten die Übernahme dieser Werte in nationale Gesetze und Normen.

In der Bundesrepublik ist seit Beginn des Jahres 1997 der Schutz der Allgemeinbevölkerung in der "Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)" verbindlich geregelt [3]. Die in dieser Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte basieren auf den Empfehlungen von ICNIRP und decken sich auch mit den EU-Ratsempfehlungen. In Tabelle 2 sind die nach 26. BImSchV verbindlichen Grenzwerte für die verschiedenen Mobilfunksysteme vergleichend gegenübergestellt.

Netz	Sendefrequenz (ca.)	Grenzwert nach 26. BImSchV (elektr. Feldstärke)
D1/D2	900 MHz	41 Volt/Meter
E1/E2	1800 MHz	58 Volt/Meter
UMTS	2000 MHz	61 Volt/Meter

Tab. 2: Grenzwerte für Mobilfunksendeanlagen nach 26. BImSchV

4. Elektromagnetische Felder in der Umgebung von Basisstationen

Wie oben bereits erwähnt, sind wegen der geringen Reichweitenanforderungen die Sendeleistungen von Mobilfunksendeanlagen geringer als die von Rundfunk- und TV-Sendern. Während bei Rundfunk und TV Sendeleistungen von vielen tausend bis sogar über 100.000 Watt typisch sind, besitzen Basisstationen je nach Reichweitenanforderungen Sendeleistungen von wenigen Watt bis zu ca. 50 – 100 Watt.

Neben der Sendeleistung ist das Bündelungsverhalten der montierten Antenne der bestimmende Faktor für die Stärke der Felder in der unmittelbaren Umgebung einer Sendeanlage. Antennen von Mobilfunkbasisstationen senden in der horizontalen Ebene entweder omnidirektional – d.h. in alle Richtungen parallel zum Erdboden wird etwa gleich viel Energie abge-

geben – oder die elektromagnetische Welle wird mittels Richtantennen horizontal auf einen typisch 30° bis 120° breiten Sektor konzentriert (Abb.3) [4].

Häufig werden durch die Montage mehrerer derartiger Richtantennen gleich zwei oder drei Sektoren von einem Anlagenstandort aus versorgt (Abb. 4).

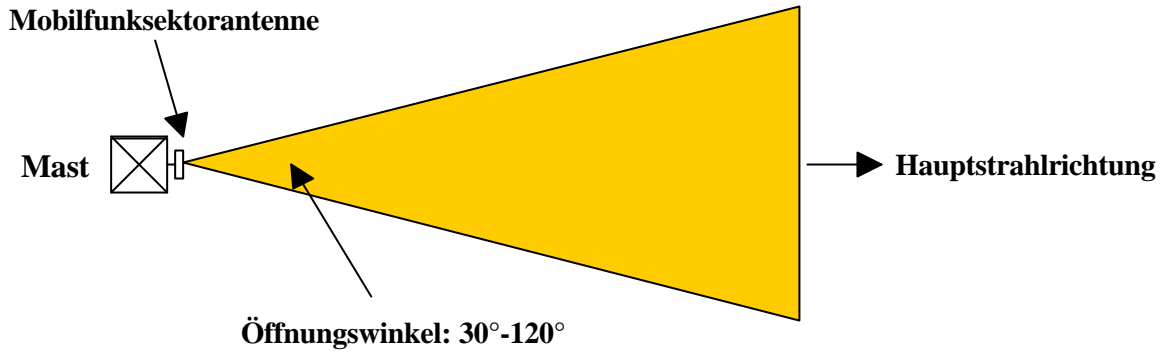


Abb. 3: Horizontales Abstrahlverhalten einer Mobilfunksektorantenne.

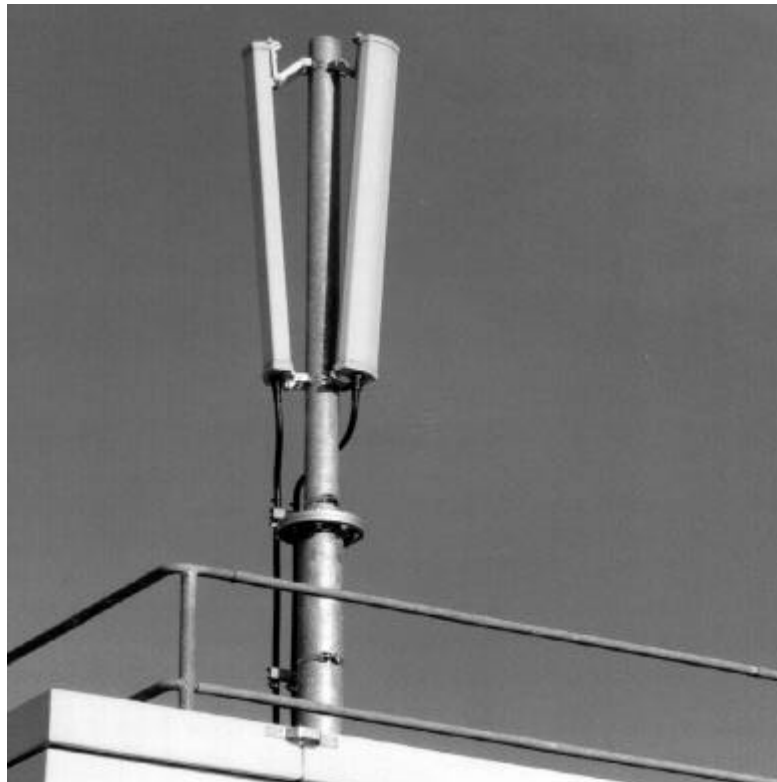


Abb. 4: Zwei Sektorantennen, montiert auf einem Flachdach (mit mechanischer Diagrammabsenkung, engl. "Downtilt").

In der Vertikalen hingegen senden alle Typen von Mobilfunkantennen - ähnlich wie ein Scheinwerfer - relativ stark gebündelt. Der Hauptbereich der Energieabgabe ("Öffnungswinkel" der Antenne) beträgt für den Mobilfunk vertikal normalerweise etwa 5° bis 10° , häufig mit einer zusätzlichen Neigung bezüglich der Horizontalen von typisch -5° (d.h. etwas schräg nach unten). Damit erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle. Eine Leistungsabgabe in unerwünschte Bereiche, wie beispielsweise in weiter entfernt liegende Funkzellen, die mit der gleichen Trägerfrequenz arbeiten, wird verhindert (Vermeidung sogenannter "Gleichkanalstörungen").

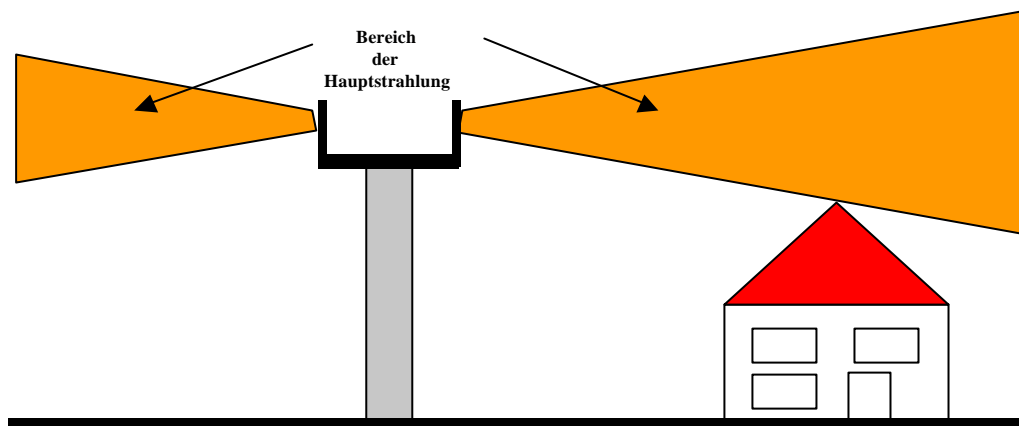


Abb. 5: Vertikales Bündelungsverhalten von Mobilfunkantennen (prinzipielle Darstellung mit übertrieben großem vertikalen Öffnungswinkel der Antenne).

Außerhalb dieser schmalen "Hauptkeule" der Antenne ist die Energieabgabe deutlich geringer (typisch nur $1/10$ bis $1/1000$ des Wertes der Leistungsflussdichte in der Hauptstrahlrichtung). Der bodennahe Raum in unmittelbarer Nähe einer erhöht angebrachten Mobilfunkantenne wird in vielen Fällen wesentlich geringer exponiert sein, als es eine reine Entfernungsbetrachtung vermuten lässt. Man befindet sich also – ähnlich wie beim Nahbereich eines Leuchtturmes – in einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Schattenzone.

Noch stärker wirksam ist diese Schattenzone, wenn die Antennen an einem besonders erhöhten Punkt wie auf einem Turm oder Schornstein montiert sind.

Ist eine Antenne beispielsweise auf einem Gebäudedach installiert, werden die Felder im Inneren des Gebäudes durch das Bündelungsverhalten der Antenne sowie zusätzlich noch von der Dämpfung des Daches und der vorhandenen Decke bestimmt. Aufgrund der Dämpfung, die durch die Antennen und die Gebäudemauern bedingt ist, erreicht der dominierende Teil der hochfrequenten Energie, die im Gebäude messbar ist, häufig nicht auf dem direkten Weg durch Dach und Decke den Innenbereich. Vielmehr gelangt sie als von benachbarten Gebäuden, Berghängen, Bäumen oder Büschen reflektiertes Signal durch die Fenster in das Gebäudeinnere.

Die Stärke der Felder, die im Inneren eines benachbarten Gebäudes noch messbar sind, wird hauptsächlich vom Abstand, dem relativen Höhenunterschied zu den Mobilfunkantennen und ebenfalls der Dämpfung der Mauern, des Daches und der vorhandenen Fenster bestimmt. Abhängig von den verwendeten Baumaterialien (Holz, Ziegel, Beton) tritt damit eine zusätzliche, unter Umständen erhebliche, Schwächung der Felder auf.

An dieser Stelle muss zudem darauf hingewiesen werden, dass bei elektromagnetischen Wellen die Intensität mit zunehmendem Abstand zur Sendeanlage sehr stark abnimmt: Die Leistungsflussdichte nimmt in Hauptstrahlrichtung bei ungestörter Ausbreitung mit wachsender Entfernung quadratisch ab, d.h. bei Verdoppelung der Distanz ist sie auf ein Viertel, bei Verzehnfachung des Abstandes sogar auf ein Hundertstel des Ausgangswertes abgefallen. Unter realen Ausbreitungsverhältnissen (Einfluss von Geographie, Bewuchs, Bebauung) ist die Abnahme der Felder sogar noch stärker ausgeprägt [5]. Das gilt unabhängig von der verwendeten Antenne.

Die Größe der elektromagnetischen Felder in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen wird in der Öffentlichkeit häufig deutlich überschätzt. Im folgenden sollen daher mittels einiger Beispiele die typisch im Wohnbereich von Personen auftretenden Intensitäten vorgestellt werden. Es handelt sich dabei um die Ergebnisse einer Reihe von Immissionsmessungen, die vom Autor dieses Beitrags in den letzten Jahren durchgeführt wurden:

Beispiel 1: Felder in Wohnungen, die sich in unmittelbarer Umgebung eines Mobilfunksendemastes befinden

Aufgrund der Befürchtungen über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch einen ca. 40 Meter hohen Mobilfunksendemast (maximale Sendeleistung: ca. 35 Watt) eines D-Netz-Betreibers gab der Stadtrat einer unterfränkischen Kleinstadt umfangreiche Messungen in Auftrag. Insgesamt wurden 43 Einzelmessungen in 20 Wohnungen (Abstand zum Mast: typ. 100 – 400 Meter) und einige Messungen im Freien durchgeführt. Dadurch sollten die betroffenen Bürger ein fachlich fundiertes, wertneutrales Bild über die Größe der Exposition durch die von der Mobilfunksendeanlage erzeugten elektromagnetischen Felder erhalten. Die markantesten Resultate dieser Messkampagne sind in folgender Tabelle dargestellt [6]:

Messort	Elektr. Feldstärke (in Volt/m)	Prozent vom Grenzwert nach 26. BImSchV
Wiese in ca. 100m Entfernung zum Mast	0,23	0,56
Höchster im Freien gemessener Wert	0,4	0,98
Höchster gemessener Wert im Schlafbereich	0,1	0,24
Niedrigster gemessener Wert im Schlafbereich	0,001	0,0024
Durchschnittswert im Schlafbereich	0,047	0,11

Grenzwert nach 26. BImSchV: ca. 41 Volt/Meter.

Tab. 3: Feldstärkewerte in der Umgebung ein Mobilfunksendemastes.

Vergleicht man die Messergebnisse mit dem derzeit in der Bundesrepublik verbindlichen Grenzwert für die Bevölkerung [3], so ergibt sich im Freien eine Unterschreitung um mindestens den Faktor 100 (d.h. **weniger als 1 Prozent** des Grenzwertes wird erreicht). In den Wohnungen wird der Grenzwert sogar nur zu etwas mehr als einem Millionstel erreicht. So-

mit ist auch das, von einigen Wissenschaftlern und Gruppierungen aus Vorsorgegründen geforderte deutliche Unterschreiten der gesetzlichen Grenzwerte beim Mobilfunk gewährleistet.

Die hier gefundenen Feldstärkewerte sind nach unseren Erfahrungen typisch für derartige Mobilfunksender und können in der Größenordnung durchaus auf andere, vergleichbare Standorte übertragen werden. Messungen bei ähnlichen Anlässen zeigen auch, daß die meist sehr viel weiter entfernten regionalen Sender für Rundfunk- und Fernsehversorgung am Messort häufig vergleichbare oder auch höhere Feldstärken erzeugen, als die lokal vorhandenen Mobilfunkstationen [7].

Derartige Immissionsmessungen in der Umgebung von Mobilfunksendern werden üblicherweise mittels "frequenzselektiver" Verfahren durchgeführt. Das heißt, mittels eines Spektrumanalysators oder eines Messempfängers und einer geeigneten Messantenne werden Frequenz und Empfangspegel der einzelnen am Messort zu untersuchenden Funksignale festgestellt. Unter Zuhilfenahme der Kalibrierdaten der verwendeten Messantenne und unter Berücksichtigung der Dämpfung des Kabels zwischen Antenne und Empfänger kann damit die am Messort herrschende Feldstärke bestimmt werden.

Beispiel 2: Felder bei Montage von Mobilfunkantennen auf Gebäudedächern

Eine weitere, häufig von Betroffenen gestellte Frage, bezieht sich auf die Intensität der elektromagnetischen Felder im Inneren von Gebäuden beziehungsweise in unmittelbarer Nachbarschaft, wenn die Mobilfunkantenne direkt auf dem Hausdach installiert ist.

Zur Klärung dieser Fragestellung wurden in den letzten Jahren ebenfalls regelmäßig umfangreiche Messungen durchgeführt, so dass auch hier auf repräsentative Daten zurückgegriffen werden kann. Folgende Tabelle gibt exemplarisch einige typische Ergebnisse derartiger Untersuchungen wieder [7]:

Situation	Elektr. Feldstärke (in Volt/Meter)	Messort
Bauernhaus, ca. 10 m hoch; je ein E- und ein D-Netz-System auf dem Dachfirst installiert	0,43	im Freien, ca. 10 m vom Haus entfernt
Einfamilienhaus mit einer E-Netz-Antenne auf dem Dach	0,25 0,048	Dachboden Schlafzimmer (1.Stock)
7-stöckiges Hochhaus mit E-Netz-Antenne auf dem Dach	0,027 0,048 0,013	Schlafzimmer (7.Stock) Balkon (7.Stock) Wohnzimmer (Erdgeschoß)
Schule mit D-Netz-Antenne auf dem Dach	0,85 0,097 0,15 0,36	Klassenzimmer Dachgeschoss Kassenzimmer 1. Stock Klassenzimmer Erdgeschoss Pausenhof
E-Netz-Antenne auf dem Dach eines Bauernhofs	0,061	im Inneren des Kuhstalls

Grenzwerte nach 26. BImSchV: ca. 41 Volt/Meter für das D-Netz; ca. 58 Volt/Meter für das E-Netz.

Tab. 4: Feldstärkewerte in der Umgebung von Mobilfunkantennen, die auf Gebäudedächern montiert sind.

In den letzten fünf Jahren wurden vom Autor dieses Artikels mehrere hundert Messungen in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen durchgeführt. Der bisher größte gefundene Immissionswert im Wohnbereich lag bei ca. 5 Volt/Meter, wobei es sich bei diesem Standort um eine besonders ungünstige räumliche Konstellation (Antenne sehr nahe und fast auf gleicher Höhe zum betrachteten Wohnraum) handelte. Die dort gefundenen Ergebnisse (ca. 10 % des gesetzlichen Grenzwertes) stellen in ihrer Höhe also die absolute Ausnahme da. Dennoch wird auch hier der Grenzwert nach 26. BImSchV bei weitem nicht erreicht.

Alle bisher durchgeführten Messungen widerlegen in deutlicher Weise die Vermutung, bei Wohnungen in der unmittelbaren Umgebung von Mobilfunksendern würden hohe Feldstärkintensitäten auftreten. Die gesetzlichen Grenzwerte werden typischerweise um mehrere Größenordnungen unterschritten.

5. Elektromagnetische Felder durch Mobiltelefone

Bei der Benützung eines Mobiltelefons wird die abgegebene elektromagnetische Energie teilweise vom Kopf des Benutzers absorbiert und dort hauptsächlich in Wärme umgewandelt.

Um Gesundheitsschäden vorzubeugen, muss sichergestellt sein, dass diese Energieabsorption einen bestimmten Maximalwert nicht überschreitet. Beschrieben wird die Energieaufnahme des menschlichen Körpers durch die sogenannte "spezifische Absorptionsrate" (SAR) in W/kg oder mW/g Körpergewicht.

Die bei der Benutzung von Mobiltelefonen auftretende Größe und Verteilung der SAR im Kopf kann inzwischen zuverlässig bestimmt werden. Mittels Computerberechnungen wird dabei das Verhalten von menschlichem Körpergewebe simuliert. Die schnell steigende Rechenleistung moderner Computersysteme, der rasante Preisverfall der notwendigen Hardware und die entsprechenden Simulationsprogramme ermöglichen eine rechnerische Vorhersage der zu erwartenden Absorptionswerte mit ausreichender Genauigkeit. Inzwischen sind diese Verfahren so weit entwickelt, dass selbst besonders kritische Teile des menschlichen Kopfes wie beispielsweise das Auge detailliert genug simuliert werden können.

Neben diesen theoretischen Simulationsverfahren führen Hersteller von Mobiltelefonen und unabhängige Institute immer auch zusätzliche messtechnische Überprüfungen durch, um die Einhaltung der maximal zulässigen SAR-Werte zu prüfen. Diese experimentellen Verfahren zur Bestimmung der SAR beruhen auf einer Messung der Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Nachbildung des menschlichen Kopfes. Um einer realen Situation möglichst nahe zu kommen, wird ein anatomisch korrekt geformtes Fiberglasphantom eingesetzt (Abb. 6). Dieses Schalenmodell ist mit einer gewebesimulierenden Flüssigkeit gefüllt. Außen am Kopf wird an genau festgelegten Positionen das zu charakterisierende Funktelefon mit maximaler Sendeleistung betrieben. Die Vermessung der sich dadurch ausbildenden elektrischen Feldstärkeverteilung in der Flüssigkeit erfolgt mit Hilfe spezieller, hochempfindlicher und sehr kleiner Sonden, die für den Einsatz in derartigen Flüssigkeiten kalibriert sind und eine hohe örtliche Auflösung ermöglichen.

Die durchgeführten rechnerischen und messtechnischen Analysen können allerdings die landläufig weit verbreitete Meinung nicht bestätigen, dass Köpfe mit kleinerem Durchmesser (z.B. die von Kindern) beim Telefonieren mehr hochfrequente Energie absorbieren als Köpfe mit großem Durchmesser [8].

Seit Kurzem existiert auch eine europäische Spezifikation einer Messvorschrift für SAR-Werte von Mobilfunkgeräten, in der die Messverfahren und die mindeste Messgenauigkeit derartiger Systeme detailliert festgelegt sind [9].

Im Rahmen der europäischen Normung wird derzeit an entsprechenden Produktstandards [10] und Messvorschriften [11] gearbeitet. In den USA ist ein Nachweis der Einhaltung der SAR-Grenzwerte bei Mobiltelefonen seit kurzem verbindlich vorgeschrieben. Führende europäische Hersteller haben angekündigt, ab Ende 2001 die von ihnen produzierten Telefone mit einem Hinweis zur Strahlungsintensität (SAR-Wert) zu versehen [12].

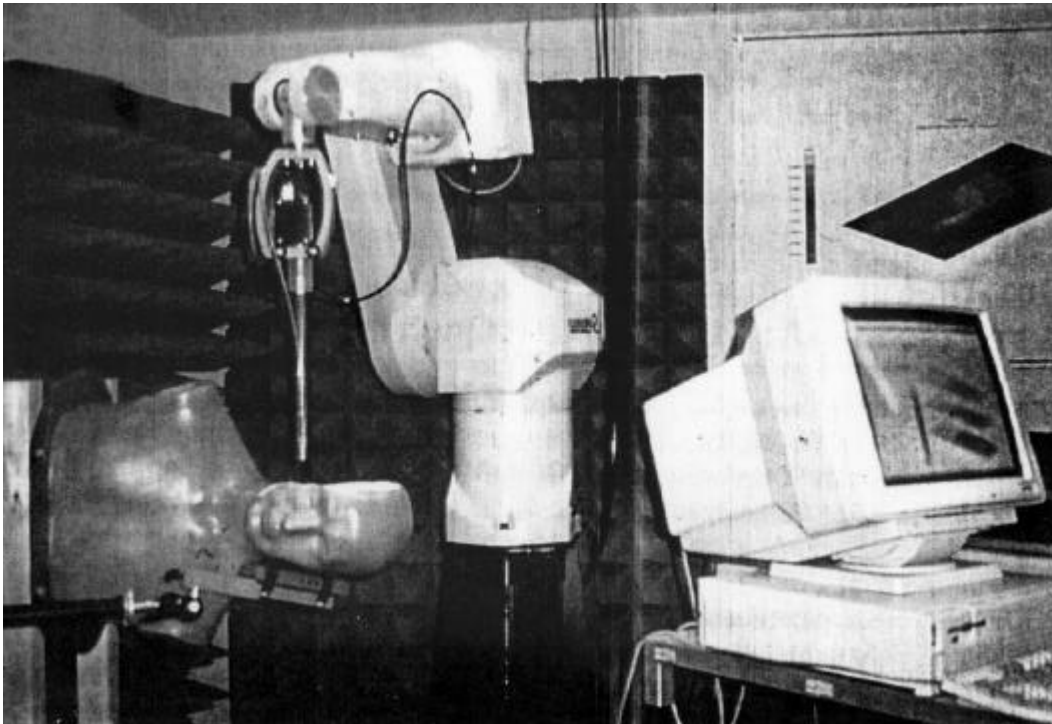


Abb. 6: SAR-Messung am Kopfmodell.

Bereits seit einigen Jahren werden die Abstrahlungen vieler Handys von unterschiedlichsten Institutionen untersucht. Sowohl national als auch international liegen zahlreiche Untersuchungsergebnisse vor [13,14]. Es zeigt sich, dass die untersuchten handelsüblichen Geräte die international empfohlenen Grenzwerte [1] der SAR einhalten, sofern sie die heute typischen Sendeleistungen nicht überschreiten (d.h. 2 Watt im D-Netz bzw. 1 Watt im E-Netz).

An dieser Stelle muss noch darauf hingewiesen werden, dass die hier angegebenen Leistungswerte die **Maximalleistungen** heutiger Handys darstellen, wie sie in der Regel nur im ersten Moment des Gesprächsaufbaus und bei sehr schlechter Verbindungsqualität auftreten. Bei guter Verbindung reduziert das Telefon aus Gründen der Energieeinsparung die Sendeleistung auf Werte von minimal wenigen Milliwatt, was zu einer entsprechenden Erniedrigung der SAR führt. Höhere Sendeleistungen werden nur von speziellen Autotelefonen verwendet. Bei diesen Geräten wird jedoch durch abgesetzte Antennen (z.B. auf dem Dach des Fahrzeuges) ein ausreichender Abstand zum Körper gewährleistet.

Schnurlose Telefone für Heim und Garten arbeiten mit deutlich niedrigeren Sendeleistungen als Mobilfunkhandys und führen daher auch zu geringeren SAR-Werten.

Zum Zweck der Verbesserung der Übertragungsqualität zur nächsten Basisstation haben einige Hersteller optimierte Antennen entwickelt, welche die Absorption im Kopf verringern sollen, damit möglichst viel Energie zur Kommunikation mit der Basisstation zur Verfügung steht [15].

Mobiltelefone, die ohne Außenantenne in einem Kraftfahrzeug betrieben werden, rufen im Vergleich zu Mobiltelefonen, die im Freien betrieben werden, offensichtlich keine signifikanten Änderungen der SAR hervor [16]. Die Verwendung einer Außenantenne ist dennoch dringend zu empfehlen, da sie die Verbindungsqualität erheblich verbessert, wodurch die Sendeleistung durch das Telefon automatisch abgesenkt wird. Bei der Verwendung von Außenantennen ist auf den richtigen Typ und eine fachgerechte Montage zu achten, da sonst im Fahrzeuginneren nennenswerte Feldstärken generiert werden können [17].

Träger von implantierten elektrischen Körperhilfen (insbesondere Herzschrittmacher) sollten Handys nicht unmittelbar am Oberkörper betriebsbereit halten. Störbeeinflussungen wurden bis zu einem Abstand von maximal 25 cm zwischen Herzschrittmacher und Handyantenne beobachtet [18].

Probleme traten auch bei Mobilfunknutzung in Krankenhäusern [19] und Flugzeugen [20] auf, vereinzelt werden empfindliche medizinische Geräte und die Flugzeugelektronik gestört. Aus diesem Grund ist der Betrieb von Funktelefonen in Flugzeugen und bestimmten Bereichen von Krankenhäusern nicht gestattet.

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek
Fachhochschule Deggendorf
Edlmairstr. 6 + 8
94469 Deggendorf
Tel. 0991-3615-522/501
Fax. 0991-3615-599
e-mail: matthias.wuschek@fh-deggendorf.de

Weitergehende Informationen über Feldstärkemessungen und durchgeführte Projekte:
www.i-g-u.de

6. Literaturverzeichnis

- [1] **International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)**
"Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)"
Health Physics, Vol. 74, Nr. 4, April 1998, S. 494-522.
- [2] **Der Rat der Europäischen Union**
"Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)"
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L199, 30.07.1999, S. 59 – 70.
- [3] **Bundesrepublik Deutschland**
"26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes"
Bundesgesetzblatt Jg. 1996, Teil I, Nr.66, Bonn 20.12.1996.
- [4] **Firma Kathrein, Rosenheim**
"Base Station Antennas for Mobile Communications"
Firmenschrift, Rosenheim 1999.
- [5] **S. R. Saunders**
"Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems"
John Wiley & Sons, Chichester, New York 1999.
- [6] **M. Wuschek**
"Bericht über die Messung von Hochfrequenzfeldern in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage"
IGU, München 1997.
- [7] **M. Wuschek**
"Verschiedene Berichte über Feldstärkemessungen in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen"
IGU, München 1996-2000.
- [8] **V. Hombach, K.-P. Dombek**
"Einfluss der Phantom-Modellierung auf die Ermittlung von SAR-Werten"
EMV '96, VDE Verlag, Berlin 1996, S. 893-900.
- [9] **CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung)**
"Considerations for evaluation of human exposure to Electromagnetic Fields (EMF's) from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in the frequency range 30 MHz – 6 GHz"
ES 95005, Brüssel 1998.
- [10] **CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung)**
"Product standard to demonstrate the compliance of mobile telephones with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz – 3 GHz)"
prEN50360 (final draft), Brüssel 6/2000.
- [11] **CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung)**
"Basic standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz – 3 GHz)"
prEN50361 (final draft), Brüssel 6/2000.
- [12] **Pressemeldung**
"Handys erhalten Hinweis zur Strahlung"
Süddeutsche Zeitung, München 29.08.2000.
- [13] **R. Matthes, P. Hofstetter**
"Absorptionsmessungen in Kopfphantomen beim Gebrauch von Mobiltelefonen"
BfS Jahresbericht 1995, Salzgitter Juli 1996, S.87-88.

- [14] **N. Kuster, R. Kästle, T. Schmid**
"Dosimetric evaluation of handheld mobile communications equipment with known precision"
IEICE Trans. Commun., Bd. E80B, No. 5, S. 645-652, 1997.
- [15] **Th. Becks**
"Design von Antennensystemen für Mobiltelefone unter Berücksichtigung der physiologischen Wirkung"
Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST), Kamp-Lintfort, 1995.
- [16] **A. Bahr**
"Nahfeld-Untersuchungen innerhalb von Fahrzeugen"
Funkschau 25/98, S. 80-81.
- [17] **J. Brose, H. Lindenmeier, J. Hopf**
"Feldstärkeverteilung im Kfz-Innenraum, hervorgerufen durch die bordeigene Funktelefonanlage"
Kleinheubacher Berichte, Bd. 37, 1994, S. 595-598.
- [18] **W. Irnich, L. Batz, R. Müller, R. Tobisch**
"Electromagnetic Interference of Pacemakers by Mobile Phones"
Pacing and Clinical Electrophysiology, Vol. 19, No. 10 Pt. 1, Nov. 1996, S. 1431-1446.
- [19] **R. Tobisch, W. Irnich**
"Mobilfunk im Krankenhaus"
Schiele & Schön, Berlin 1999.
- [20] **D. Hansen**
"Mobiltelefone im Flugzeug"
EMC Journal 4/98, München 1998, S. 63.