

Mobilfunk und Gesundheit – zwischen Evidenz und Emotionen

Reinhold Berz*

Einleitung

Wie kaum ein anderes gesundheitsrelevantes Thema bewegt die Debatte um den Mobilfunk derzeit viele Menschen, insbesondere dann, wenn in ihrer Nähe eine Mobilfunkbasisstation («Antenne», «Sendemast») geplant oder errichtet wird. Von ärztlicher Seite gibt es in der Schweiz keine aktuelle fundierte Stellungnahme zu möglichen pathogenen Wirkungen von Hochfrequenzfeldern (unterhalb der geltenden Grenzwerte), zu denen auch die Mobilfunkmissionen zählen. In der Schweizerischen Ärztezeitung (SÄZ) Nr. 3/2004 wurde jedoch das Thema aus einer relativ polaren Sichtweise aufgegriffen und mit politischen Forderungen verknüpft [2–4, 22, 26]. Bei genauem Hinsehen wird bei vielen Leserinnen und Lesern der SÄZ der Eindruck entstanden sein, Mobilfunk sei eine ungenügend erforschte und mit erheblichen Gesundheitsrisiken behaftete Technologie. Es wurde explizit an die Ärzteschaft appelliert, «sich vermehrt ernsthaft mit der potentiell krank machenden Wirkung von Hochfrequenzstrahlen auseinanderzusetzen.» [26], und eine Analogie zu DDT, Asbest und FCKW hergestellt. Eine «breite Allianz» fordere, mit ausdrücklicher Unterstützung der FMH, ein Moratorium für die UMTS-Technologie [2, 4].

Evidenzbasierte Sichtung des aktuellen Forschungsstands zum Thema Mobilfunk

In einem konfliktbehafteten Thema wie dem Mobilfunk werden immer wieder Stellungnahmen von ärztlicher Seite gefordert: von der Politik, von Behörden und der Justiz und nicht zuletzt von Patienten. Vor allem Politik und Jurisprudenz sind auf höchst gewissenhafte, gründlich recherchierte und überprüfbare Meinungsäusserungen angewiesen, frei von Emotionen oder Spekulationen, denn es geht hier um weitreichende Beschlussfassungen, z.B. zu Grenzwerten oder Entschädigungsansprüchen. In zahlreichen Staaten wurden deshalb Expertenausschüsse auf nationaler oder internationaler Basis gebildet, die in sporadischen oder regelmässigen Reports den aktuellen Stand wissenschaftlich überprüfbarer Forschungen referieren [1, 10, 13, 14, 23, 25].

Die Frage nach der Evidenz eines medizinischen Sachverhalts kann sich aus unterschiedlichen Anlässen stellen: Zuverlässigkeit von Diagnosen, Wirksamkeit von Therapien oder, wie im Fall Mobilfunk, Sicherheit bzw. Wahrscheinlichkeit eines Eintretens von Gesundheitsschäden und damit Notwendigkeit von Expositionsbegrenzungen oder Vorsorgemassnahmen.

Aus wissenschaftstheoretischer Sicht kann erst dann von einem Nachweis einer Schädigung ausgegangen werden, wenn:

- der Schaden durch mehrere unabhängige Forschergruppen festgestellt wurde;
- es keine gegenläufigen Ergebnisse anderer Forschergruppen gibt;
- es ein allgemein anerkanntes Wirkungsmodell mit einer möglichst definierten Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt.

Bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (z.B. Mobilfunk), soviel sei vorangestellt, ist dieser Nachweis alleine bezüglich der thermischen Wirkungen geführt worden; nur dieser kann als evident und abgesichert gelten. Alle anderen postulierten Wirkungen des Mobilfunks rangieren auf einer weit geringeren Evidenzstufe (Tab. 1), und es gibt weder ein Wirkungsmodell noch eine Dosis-Wirkungs-Beziehung.

Tabelle 1

Evidenzstufen für die klinische Medizin [9].

Stufe	Evidenztyp
Ia	wenigstens ein systematischer Review auf der Basis methodisch hochwertiger kontrollierter, randomisierter klinischer Studien (RCTs).
Ib	wenigstens ein ausreichend grosser, methodisch hochwertiger RCT.
IIa	wenigstens eine hochwertige Studie ohne Randomisierung.
IIb	wenigstens eine hochwertige Studie eines anderen Typs quasi-experimenteller Studie.
III	mehr als eine methodisch hochwertige nicht-experimentelle Studie.
IV	Meinungen und Überzeugungen von angesehenen Autoritäten (aus klinischer Erfahrung); Expertenkommissionen; beschreibende Studien.

* Der Autor war mehr als 20 Jahre als Leitender Werksarzt in der deutschen Automobilindustrie tätig und arbeitet jetzt im eigenen Forschungsinstitut an Projekten zur nichtionisierenden Strahlung. Er ist zudem als medizinischer Berater für Swisscom Mobile tätig.

Korrespondenz:
Prof. Dr. med. Reinhold Berz
InfraMedic AG
An der Steig 6
D-88483 Burgrieden-Rot

E-Mail:
reinhold.berz@inframedic.de

Elektromagnetische Felder und Mobilfunktechnik

Eine eingehende Beschäftigung mit dem Mobilfunk, seiner Einordnung in das Spektrum elektromagnetischer Wellen und seinen möglichen biologischen wie gesundheitlichen Effekten erscheint eingangs sinnvoll. Zumindest basale Kenntnisse sind für eine fundierte ärztliche Stellungnahme, die immer häufiger von Kolleginnen und Kollegen abgefordert wird, unumgänglich. Für ein vertiefendes Studium stehen einige wenige Fachbücher zur Verfügung [6, 15–17].

Neben statischen elektrischen und magnetischen Feldern umgeben uns vielfältige periodisch schwingende elektromagnetische Felder terrestrischen, extraterrestrischen sowie technischen Ursprungs. Während die niedrigen Frequenzen vor allem bei der Stromversorgung und bei Kraftumwandlungen zum Einsatz kommen, werden die höherfrequenten, neben industriellen Anwendungen wie Hochfrequenzschweißen oder Mikrowellen in der Medizin und im Haushalt, vielfältig für Kommunikationszwecke genutzt. Tabelle 2 gibt Aufschluss über die Eigenschaften der zahlreichen Frequenzbänder und deren Nutzung.

Technisch gesehen steht der Mobilfunk gerade an der Schwelle von seiner 2. (GSM) zur 3. Generation (UMTS). Im Gegensatz zur 1. Generation (analoge Netze, Natel A, B, C) arbeiten die beiden neuen Netze digital im Frequenzbereich von 900, 1800 und 2000 MHz (0,9, 1,8 und 2 GHz) und ermöglichen damit neben der reinen Sprachübertragung auch den mobilen Datenver-

kehr. Bei GSM werden die Signale gepulst (217 Hz) übermittelt, während UMTS in der ersten Aufbaustufe ein kontinuierliches, rauschähnliches Signalmuster besitzt. Gepulste Signale werden seit Jahrzehnten bei der Fernsehübertragung genutzt und stellen somit kein Novum des Mobilfunks dar.

Mobilfunk ist zellulär aufgebaut mit wabenförmigen Arealen und einer zentralen Sende- und Empfangsantenne (Basisstation). Auf dem Land kann die Zellengröße mehrere Quadratkilometer betragen, in der Stadt wesentlich weniger. Handys loggen sich in der jeweils nächsten Basisstation ihres Providers ein und werden, z.B. bei Autofahrten, kontinuierlich zur nächsten Station weitergeleitet. Hierzu sind bestimmte Sendeleistungen auf beiden Seiten (Handy und Basisstation) erforderlich, die durch nationale Grenzwerte limitiert werden.

Einordnung in das Spektrum anderer Quellen von Hochfrequenzfeldern

Wie bereits erwähnt, sind die Mobilfunkfelder nur ein kleiner sektoraler Ausschnitt aus den gesamten auf uns einwirkenden technischen Feldern. Je nach Topographie und Entfernung von unterschiedlichen Sendeeinrichtungen (Radio- und Fernsehsender, Mobilfunkbasisstationen, Polizei- und Betriebsfunkantennen, militärische Frequenzen, Amateurfunker) wird das jeweils zu messende Spektrum an jedem Ort anders sein. Typische spektrale Verteilungen sind in Abbildung 1 wiedergegeben. Es ist ersichtlich, dass neben den Immissionen im 900er und 1800er Band (Mobilfunk) auch sehr starke Signale aus dem UKW- und Fernsbereich wirksam sind. Häufig sind die Fernsehsignale die stärksten überhaupt. Neuerdings kommen viele weitere Immissionen aus PC- und IT-Anwendungen hinzu: WLAN (Wireless Local Area Net), Bluetooth (Funkverbindungen zwischen Kleingeräten) etc. Würde man alle Mobilfunksignale völlig abschalten, bliebe dennoch ein breites Spektrum an Hochfrequenzfeldern bestehen.

Hochfrequenzwirkungen

Die bekanntesten Wirkungen der elektromagnetischen Felder sind die Strominduktion im Körper durch Niederfrequenz (bis ca. 30 kHz oder 10 km Wellenlänge) und die Erwärmung des Organismus oder einzelner Teile durch Hochfrequenz (ab 100 kHz oder 3 km Wellenlänge). Dazwi-

Abbildung 1

Intensitäten von Hochfrequenzimmissionen (Leistung «on the air») an zwei zufällig gewählten Orten, markiert jeweils GSM 900 und 1800). Die hohen Leistungen betreffen Rundfunk und Fernsehen [20].

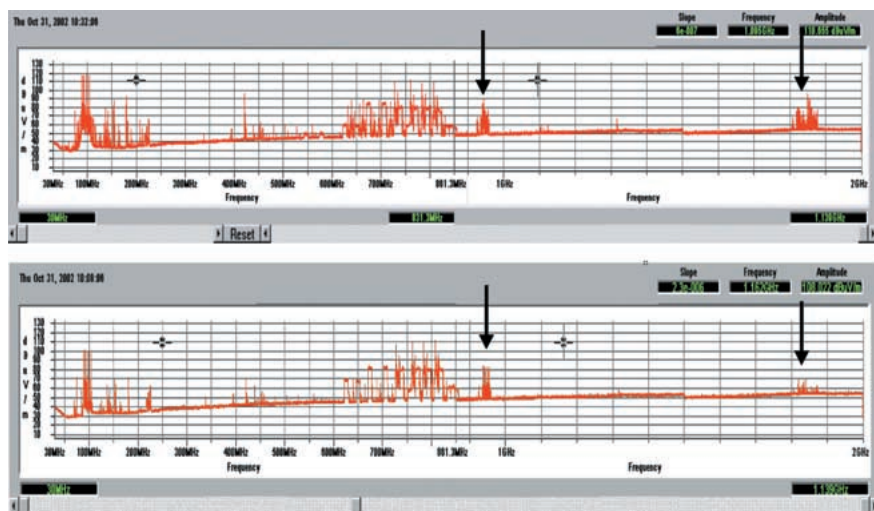


Tabelle 2

Frequenzbänder, zugehörige Wellenlängen und Bezeichnungen sowie übliche Nutzung [6].

Frequenzbandkürzel	Frequenzband	Frequenzbereich	Wellenlängen	Wellenbezeichnung	Radiobänder	Fernsehbander	Mobilfunkbänder	sonstige Anwendungsbeispiele
ULF	Ultra Low Frequency	3–30 Hz	100 000–10 000 km	Bahnstrom 16,666 Hz				
ELF	Extremely Low Frequency	30–300 Hz	10 000–1000 km	Versorgungsstrom 50 Hz, Hochspannung 50 Hz				
VF	Voice Frequency	300 Hz–3 kHz	1000–100 km					
VLF	Very Low Frequency	3–30 kHz	100–10 km	PC-Monitore, Fernsehgeräte				
LF	Low Frequency	30–300 kHz	10–1 km	Kilometerwellen	Langwellen (153–279 kHz)			
MF	Medium Frequency	300 kHz–3 MHz	1 km–100 m	Mittelwellen/AM* (531–1602 kHz)				
HF	High Frequency	3–30 MHz	100–10 m	Dekameterwellen	Kurzwellen	CB-Funk, Schweißen		
VHF	Very High Frequency	30–300 MHz	10–1 m	Meterwellen	Ultrakurzwellenteilbereich UKW-Radio/FM** (87,5–108 MHz)	VHF-Band	A-Netze, B-Netze	Polizeifunk (66–88 MHz)
UHF	Ultra High Frequency	300 MHz–3 GHz	1 m–10 cm	Dezimeterwellen	Ultrakurzwellenteilbereich und unterer Mikrowellen***-teilbereich (ab 100 MHz)	UHF-Band	C-Netze, GSM 900 (D-Netze) (870–960 MHz), GSM 1800 (E-Netze) (1,71–1,80 GHz) UMTS (1,92–2,17 GHz)	ISM-Geräte****, Mikrowellenherde, Bluetooth, DECT-Schnurlostelefone (1,88–1,93 GHz)
SHF	Super High Frequency	3–30 GHz	10–1 cm	Zentimeterwellen	Mikrowellenteilbereich	Radar, Satellitenfunk		
EHF	Extremely High Frequency	30–300 GHz	1 cm–1 mm	Millimeterwellen	Mikrowellenteilbereich (bis 56 GHz)	Radioastronomie, Radiometeorologie		

* AM = Amplitudenmodulation; ** FM = Frequenzmodulation; *** Mikrowellen im engeren Sinn = Zentimeterwellen des SHF-Bereichs von 3 bis 30 GHz; funkttechnisch reichen die Mikrowellenbänder von 100 MHz bis 56 GHz; **** ISM = Industrial, Scientific, Medical

Tabelle 3

Spezifische Absorptionsrate (SAR) in W/kg (Ganzkörper) bei verschiedenen Tätigkeiten bzw. thermisch relevanten Expositionen [6].

Vorkommen	Grössenordnung	Relation zum Schwellenwert	Temperaturanstieg (30 min. Einwirkung) möglich bis zu	besondere Regulationsmechanismen
Sport, Spitzenwert	20 W/kg	5 = 500%	>1 °C	Schwitzen, Wärmeabstrahlung, Konvektion, Atemwärmeabgabe
Grundumsatz	1 W/kg	0,25 = 25%	kein	kein
starkes Hochfrequenzfeld, Schwellenwert	4 W/kg	1 = 100%	1 °C	Abtransport über Blut zur Haut (u. Lunge), Abgabe über IR-Strahlung, Konvektion, Wärmeleitung (selten Schwitzen), Atmung
Hochfrequenz, Basisgrenzwert berufliche Exposition	0,4 W/kg	0,1 = 10%	0,1 °C	kein, da unter Grundumsatz
Hochfrequenz, Basisgrenzwert Bevölkerung	0,08 W/kg	0,02 = 2%	kein	kein, da unter Grundumsatz

Tabelle 4

Beziehungen zwischen elektrischer Feldstärke und Leistungsdichte [6].

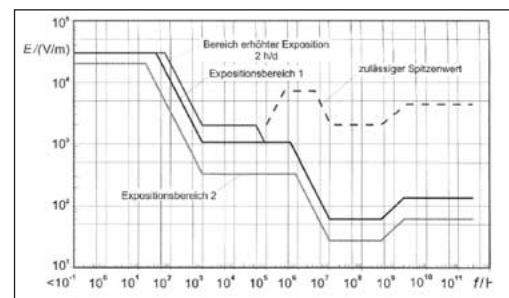
Feldstärke (V/m)	Leistungsdichte (W/m ²)	Leistungsdichte (mW/cm ²)
0,001	0,00000000265	0,00000000265
0,06	0,00001	0,000001
0,1	0,0000265	0,00000265
0,19	0,0001	0,00001
0,6	0,000955	0,0000955
0,61	0,001	0,0001
1	0,00265	0,000265
1,94	0,01	0,001
4	0,0424	0,00424
5	0,0663	0,00663
6	0,0955	0,00955
6,14	0,1	0,01
10	0,265	0,0265
20	1,06	0,106
19,4	1	0,1
28	2,08	0,208
30	2,39	0,239
40	4,24	0,424
50	6,63	0,663
60	9,55	0,955
61,4	10	1
100	26,5	2,65
1000	2650	265

schen überlagern sich beide Wirkmechanismen, die jeweils auch medizinisch-therapeutisch genutzt werden (Reizstrombehandlung, Mikrowellentherapie etc.).

Die erwärmende Wirkung der Hochfrequenzfelder beruht vorwiegend auf den rhythmischen Bewegungen der Wasserdipole und der dadurch entstehenden Reibungswärme, bestens bekannt durch den Mikrowelleneffekt. Die dabei stattfindende Energieübertragung betrifft beim Menschen vorwiegend die Haut und das subkutane Gewebe, während sich (z.B. bei 1 GHz) die Wirkung in 2 cm Tiefe bereits auf die Hälfte und bei 4 cm auf ein Viertel des oberflächlichen Absorptionswertes abschwächt. Resonanzphänomene können auftreten, wenn die Wellenlänge das Doppelte der Körperlänge beträgt, beim Menschen wären dies UKW-Frequenzen mit ca. 100 MHz (Tab. 2). Bei den Mobilfunkfrequenzen beträgt die Wellenlänge zwischen ca. 30 cm (GSM 900) und 15 cm (GSM 1800 und UMTS), so dass bei Tieren mit einer Körperlänge von 15 cm (z.B. Ratte) oder 8 cm (z.B. Maus) mit Resonanzen zu rechnen ist. Dies wirft zusätzliche Probleme bei der Übertragbarkeit von Ergebnissen entsprechender Tierversuche auf die Verhältnisse am Menschen auf.

Abbildung 2

Zulässige elektrische Feldstärken über das elektromagnetische Frequenzspektrum (doppelt logarithmische Darstellung) in verschiedenen arbeitsmedizinisch relevanten Expositions-kategorien [7]. Expositions-bereich 1 entspricht in etwa den Regelungen der Schweizer SUVA, Expositions-bereich 2 betrifft Beschäftigte in Büros usw. und entspricht in etwa dem Schweizer Immissions-grenzwert (IGW).



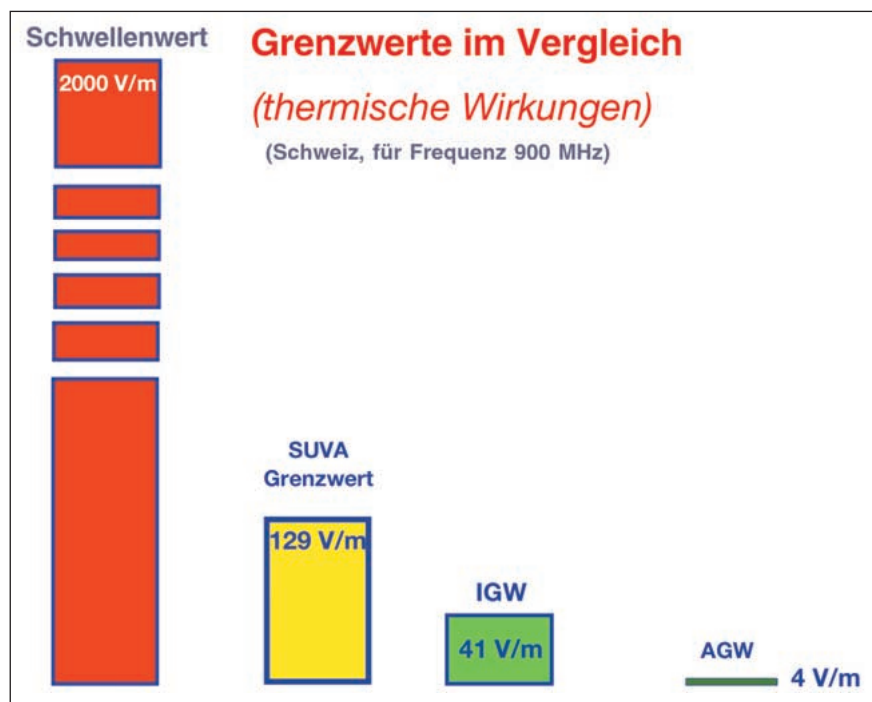
Spezifische Absorptionsrate (SAR) und abgeleitete Grenzwerte

Wird die in Wärmeenergie umgewandelte Leistung der elektromagnetischen Wellen auf die Gesamtmasse des Organismus bezogen, lässt sich die Spezifische Absorptionsrate (SAR) in W/kg ermitteln. Der Schwellenwert für eine messbare thermische Wirkung, die jedoch problemlos durch die thermoregulatorischen Möglichkeiten des Organismus ausgeglichen werden kann (Wahrung der Homöothermie), liegt beim Menschen bei ca. 4 W/kg, etwa dem Vierfachen des Grundumsatzes (Tab. 3). Doch selbst bei anstrengendem Sport mit dem ca. 20fachen des Grundumsatzes wird die Homöothermie annähernd aufrechterhalten, es kommt allenfalls geringfügig zu einem schnell reversiblen Anstieg der Körperkerntemperatur.

Die direkte Messung der SAR bereitet jedoch starke methodische Probleme (intrakorporale Temperaturmessungen), weswegen meist indirekte Hinweise auf die SAR durch sogenannte abgeleitete Werte (Feldstärken) als Beurteilungskriterium herangezogen werden. Hierzu zählt die elektrische Feldstärke in V/m oder die Leistungsdichte in W/m², seltener die magnetische Feldstärke (A/m) oder die magnetische Flussdichte (T = Tesla). Aufgrund des quadratischen Verhältnisses sowie unterschiedlicher Dimensionen (W/m² oder mW/cm²) ist die Umrechnung nicht immer einfach (Tab. 4).

Abbildung 3

Graphische Darstellung des thermischen Schwellenwertes und verschiedener Grenzwerte – der SUVA-Grenzwert gilt für elektromagnetisch exponiert Beschäftigte (z.B. Hochfrequenzschweisser), der IGW für Orte mit kurzfristigem Aufenthalt (OKA) und der AGW für Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN).



Grenzwerte Arbeitsmedizin und Allgemeinbevölkerung

Als Ganzkörper-SAR-Grenzwert für die Arbeitsmedizin wurde ein Zehntel des Schwellenwertes, also 0,4 W/kg, festgelegt. Bei diesem Wert geht man davon aus, dass die theoretisch mögliche Temperaturerhöhung von maximal ca. 0,1 °C ohnehin unterhalb der Wirkungen des Grundumsatzes liegt und somit keinerlei thermoregulatorische Kompensation erforderlich ist (Tab. 3). Als weiterer Sicherheitsabstand wurde für die Allgemeinbevölkerung der Faktor 5 gewählt (0,08 W/kg).

Umgerechnet in abgeleitete Grenzwerte (mit zusätzlichem Sicherheitsabstand) und bezogen auf die im Mobilfunk verwendeten Frequenzen zwischen etwa 1 und 2 GHz (1 GHz = 10^9 Hz) liegen die Grenzwerte im Berufsleben bei oder etwas über 100 V/m (Abb. 2), für die Allgemeinbevölkerung hingegen bei rund 50 V/m. Dieser Wert entspricht dem Schweizer Grenzwert laut NIS-Verordnung für Orte mit kurzfristigem Aufenthalt (Immissionsgrenzwert = IGW).

Die strengeren Schweizer Anlagegrenzwerte für sensiblere Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN), also Orte, wo sich Menschen über längere Zeit aufhalten (Wohnungen, Schulen und Kindergärten, Altersheime, Spitäler, aber auch Kinderspielplätze etc.), wurden gegenüber dem IGW nochmals um den Faktor 10 herabgesetzt und liegen somit bei ca. 5 V/m. Tabelle 5 zeigt die Basisgrenzwerte sowie die davon abgeleiteten Grenzwerte für das Arbeitsleben, die Allgemeinbevölkerung sowie die Schweizer Anlagegrenzwerte. In Abbildung 3 werden die Grenzwerte übersichtlich gegenübergestellt.

Mobilfunkeinrichtungen müssen so beschaffen sein, dass sie selbst unter ungünstigsten Voraussetzungen (worst case, Vollast) diese Werte nicht überschreiten. Bei vielen durchgeführten Messaktionen fand man, dass selbst diese Anlagegrenzwerte (AGW) weit unterschritten werden, je nach Topographie und Entfernung zu Sendeeinrichtungen. Innerhalb der Wohnungen kommt noch die Gebäudedämpfung hinzu, abhängig von den Baumaterialien.

Sendeleistung von Mobilfunkbasisstationen

Die Leistung der Antennen von Basisstationen ist sehr gering, obwohl in Diskussionen immer wieder von Kilowatt die Rede ist. Die übliche Sendeleistung eines Antennenpanels (Abb. 4)

Tabelle 5

Übersicht über den Zusammenhang zwischen SAR-Werten und elektrischer Feldstärke bzw. Leistungsdichte für die Mobilfunkfrequenzen 900, 1800 und 2000 MHz.

Befeldungsregion (alle Werte gerundet)	Ganzkörper				Extremitäten	Rumpf/ Kopf
	SAR	el. Feldstärke	el. Leistungsdichte	el. Leistungsdichte	SAR	SAR
Dimension	W/kg	V/m	W/m ²	mW/cm ²	W/kg	W/kg
berufliche Exposition GSM 900/1800/UMTS	0,40	92/130/137	22,5/45/50	2,3/4,5/5	20,00	10,00
Allgemeinbevölkerung (CH = Immissionsgrenzwert) GSM 900/1800/UMTS	0,08	41/58/61	4,5/9/10	0,5/0,9/1	4,00	2,00
Allgemeinbevölkerung sensible Orte (OMEN; CH = Anlagegrenzwert) GSM 900/1800/UMTS	Vorsorge	4/6/6	0,05/0,1/0,1	0,01	Vorsorge	Vorsorge

liegt bei etwa 20 Watt, für UMTS sind die Leistungen noch deutlich geringer. Zum Vergleich: Schon ein Handy im 900er Band hat 2 W Spitzenleistung, und ein Mikrowellenherd bringt es auf 750 bis 1000 W. Selbst direkt vor einer Antenne könnte man ein Glas Wasser nicht einmal geringfügig erwärmen.

Die oft zu hörenden höheren Leistungsangaben beruhen auf einem Rechen-trick: Die sogenannte ERP (Equivalent Radiated Power) berücksichtigt die Bündelung und Fokussierung der Wellen in einer Hauptrichtung, vergleichbar mit einer Reflektortaschenlampe. Man kann es sich so verdeutlichen: Strahlt man mit einer Taschenlampe (10 W) auf eine Wand, entsteht im Strahlungskegel die Helligkeit X. Die ERP gibt nun die theoretisch erforderliche Leistung an, die eine rundum strahlende Lampe bräuchte, um den ganzen Raum auf die gleiche Helligkeit X zu bringen, also beispielsweise 1000 W. Es ist einleuchtend, dass jedoch aus 10 W niemals 1000 W «erzeugt» werden können. Daher können Monteure an Mobilfunkantennen auch ohne Schutzkleidung tätig sein, denn bei derart niedrigen Antennenleistungen sind keine gesundheitsschädlichen Effekte zu erwarten.

Sendeleistung von Mobiltelefonen (Handys) und Spezifische Absorptionsrate (SAR)

Anders als bei den Basisstationen befindet sich der mobil Telefonierende im Nahfeld der Handyantenne. Eine Umrechnung in abgeleitete Grenzwerte ist nicht korrekt möglich. Daher werden die SAR-Werte für jedes Handy in aufwendigen Tests ermittelt und von den Herstellern angegeben. Sie können für jedes Modell im Internet abgefragt werden [18]. Der maximal zulässige SAR-Wert ist 2 W/kg (nicht zu verwechseln mit der Sendeleistung von 2 W), meist liegen die Werte jedoch deutlich darunter. Mobiltelefone sind in ihrer Leistung auf einen Spitzenwert von 2 W (GSM 900) bzw. 1 W (GSM 1800, UMTS) begrenzt, senden jedoch nur in einem Achtel der Zeit (GSM), so dass die mittlere Leistung maximal 0,25 bzw. 0,125 W beträgt.

GSM-Handys haben einen charakteristischen Leistungsverlauf: Bei der Einwahl und beim Sprechen steigt die Leistung an, beim Hören ist sie jedoch sehr niedrig (Abb. 5). Der ungünstigste Fall ist das Telefonieren (Handy am Ohr) mit hohem Sprechanteil während einer Autofahrt, was dem Fahrer ohnehin nicht mehr gestattet ist. Eine Freisprechanlage oder ein Headset führen zu einer drastischen Verringerung der

am Kopf wirksamen Feldstärken. UMTS-Handys sind ständig mit der Basisstation verbunden und müssen daher dem Handy keine hohen Aufbauleistungen abfordern. Die Befeldungscharakteristik ist völlig anders und insgesamt nach bisher vorliegenden Angaben deutlich niedriger als bei GSM.

Im Gegensatz zu Feldeinwirkungen durch Basisstationen sind die Feldstärken von Mobiltelefonen unter ungünstigen Voraussetzungen (Antenne nahe am Kopf, hohe Sendeleistung, häufiges Sprechen, lange Telefonate) durchaus in der Lage, gewisse thermische Wirkungen am Kopf, möglicherweise sogar im Gehirn, hervorzurufen. Damit wäre ein mögliches Wirkungsmodell für gelegentlich gefundene zerebrale Wirkungen (z.B. Veränderungen beim EEG oder bei Reaktionstests) gegeben.

Niedrigdosiswirkung (Effekte unterhalb der Grenzwerte), Studiendesign

Während die Evidenz der den Schwellenwert überschreitenden thermischen Wirkungen in Klasse Ia (gesicherter Nachweis) eingeordnet werden kann, gibt es eine oft emotional geführte Diskussion um sogenannte «athermische» Effekte. Da unklar ist, wo die Grenze zwischen «thermisch», «mikrothermisch» und «ather-

Abbildung 4

Typische Mobilfunkantenne mit drei Sendepanels. Jedes Panel hat etwa 20 W Leistung.



misch» verläuft, sollte dieser Begriff nicht gebraucht werden; statt dessen wäre es korrekt, von Effekten unterhalb der Grenzwerte zu sprechen. Die wissenschaftlichen Bemühungen um eine Klärung dieser Frage dauern schon lange an und betreffen erst in den letzten 10 Jahren zunehmend den Mobilfunk; vorher ging es mehr um hochfrequente Funk- und Fernsehsignale, um Mikrowellen oder um Radar.

Zur Untersuchung möglicher Effekte von Hochfrequenzfeldern stehen unterschiedliche Verfahren mit jeweils separat zu betrachtenden Aussagemöglichkeiten zur Verfügung.

- a) Kontrollierte Randomisierte Studien (CRT) an Menschen stellen die aussagekräftigsten Resultate zur Verfügung, sind aber häufig aus ethischen oder Praktikabilitätsgründen nicht durchzuführen. Grosse Probleme bereiten Confounder, andere Biasgefahren sowie zuverlässige Aussagen über die Befeldungsinintensität.
- b) Epidemiologische Studien wären im Grunde ein gutes Instrument, insbesondere wenn es um mögliche Langzeitwirkungen geht. Allerdings gelten ähnliche Einschränkungen wie unter a), jedoch noch in weit höherem Umfang: So ist eine Expositionsermittlung nahezu unmöglich (persönliche Dosimeter sind erst in der Entwicklung), die Confounding- und sonstige Biasgefahren sind noch weit höher. Vor US-Gerichten konnte beispielsweise die epidemiologische Hirntumorstudie von Hardell et al. [11] den Evidenztest nach Daubert nicht bestehen, da ihr (wie anderen Studien auch) elementare Schwächen angekreidet wurden.
- c) Sehr verbreitet sind Studien an Tieren (meist Nagetiere). Hier gelten jedoch die Einschränkungen der Grösse in Relation zur Wellenlänge (Resonanzprobleme, völlig andere Eindringtiefe der Felder) sowie die bekannten Übertragbarkeitsprobleme der Ergebnisse von Nagetierversuchen auf den Menschen.
- d) Ebenfalls weit verbreitet sind Untersuchungen an biologischem Material (isolierte Zellen, Gewebe etc.). Diese sind allenfalls geeignet, überhaupt Effekte darzustellen; eine Übertragbarkeit selbst auf die Verhältnisse an Tieren, noch weniger auf den Menschen, ist kaum möglich. Sie liefern jedoch Hinweise, in welche Richtung die Forschung weiter suchen muss.

Wissenschaftliche Reports und Metastudien zum Thema Mobilfunk und Gesundheit

Pro Jahr erscheint eine Vielzahl von Untersuchungen zum Thema elektromagnetische Felder, darunter sehr viele zur Hochfrequenz und zum Mobilfunk. Seit vielen Jahren werden von hochrangigen wissenschaftlichen Expertengruppen in unterschiedlichen Ländern Übersichtsarbeiten und Reports verfasst, die den aktuellen Wissensstand (aus anerkannten wissenschaftlichen Fachzeitschriften) analysieren, gewichten und Empfehlungen für die Risikobewertung sowie mögliche Vorsorgemassnahmen aussprechen [1, 10, 13, 14, 23, 25]. Für den nicht direkt in der Hochfrequenzforschung engagierten Arzt bieten diese Reports die seriöseste Quelle für zuverlässige und geprüfte Informationen. Ein in der Schweiz erschienener Report [8] allerdings kommt aufgrund einer selbstdefinierten und vom Prinzip der Evidenz abweichenden Bewertungsskala zu anderen Beurteilungen; bei einer näheren Analyse und beim Gebrauch der in der Medizin üblichen Kategorien relativiert sich diese Bewertung jedoch und nähert sich dem Tenor der grossen wissenschaftlichen Reviews an.

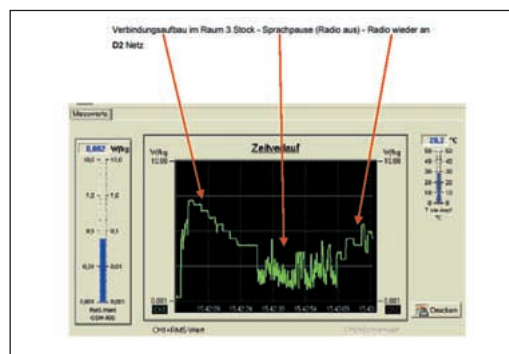
Einzelstudien und ihre Bedeutung am Beispiel der «TNO-Studie» zu UMTS

Ende 2003 fand eine Studie des holländischen TNO-Instituts relativ grosse Beachtung, da sie einen Zusammenhang zwischen UMTS und bestimmten Aspekten des Wohlbefindens postulierte. Diese Studie [27] war auch der Anlass für Forderungen nach einem UMTS-Moratorium in der Schweiz [2, 4] und für die eingangs erwähnte Artikelserie in der SÄZ 3/2004.

Exemplarisch kann anhand der Folgeaktivitäten nach der Publikation dieser Studie beobachtet werden, welche Mechanismen der Risikokommunikation mit bestimmter wiederkehrender Regelmässigkeit wirksam werden. Als Beispiele seien die Studie an transgenen Mäusen mit Lymphomdisposition von Repacholi [21], die Gehirntumorstudien von Hardell et al. [11,12] oder die Untersuchungen zur Blut-Hirnschranke (BBB, Blood Brain Barrier) von Salford et al. [24] genannt. Alle diese Studien sorgten zum Zeitpunkt ihrer Publikation für immense öffentliche Diskussionen und erhebliche Verunsicherung, verbunden mit Forderungen nach drastischen Senkungen der Grenzwerte beim Mobilfunk, in der Schweiz in den Jahren 2002 und 2003 sogar für einen (gescheiterten) Versuch

Abbildung 5

Typischer Verlauf einer Leistungskurve während eines Telefonats mit einem GSM-Mobiltelefon; Leistung in logarithmischer Darstellung



eines Volksbegehrens für ein «Antennenmoratorium», auch damals mitgetragen von Mitgliedern der Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz.

Wie in den aktuellen Reports [1, 13, 25] nachzulesen ist, bestehen gegenüber den genannten aufsehenerregenden Studien mittlerweile erhebliche wissenschaftliche Bedenken. Von anderen Forschergruppen konnten die dort postulierten Ergebnisse nicht verifiziert werden, und es wurden in der Zwischenzeit teilweise erhebliche methodische Mängel aufgelistet. Nach heutigem Stand der Wissenschaft können die Ergebnisse dieser Studien als weitgehend falsifiziert oder zumindest als in keinem Fall verifiziert gelten.

Die TNO-Studie könnte aus Sicht des Autors ein weiteres Glied in dieser Kette zunächst spektakulärer, dann aber wahrscheinlich nicht reproduzierbarer Einzeluntersuchungen darstellen. Auch ihr können schon jetzt methodische Mängel angelastet werden (beispielsweise die Art der Untersuchungsabfolge, das nicht dem UMTS-Standard FDD entsprechende Expositionssignal, der nicht standardisierte und evaluierte Fragebogen). Vor allem aber die nicht sachgerechte Kondensation der Gesamtergebnisse zur Zusammenfassung (wichtige Sachverhalte wie beispielsweise Effekte durch GSM wurden weggelassen und UMTS in den Vordergrund gestellt) und vor allem die darauf basierende öffentliche Kommunikation («Krank durch UMTS») führt zu einer verzerrten öffentlichen Wahrnehmung der tatsächlichen Bedeutung dieser Einzelstudie.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass gerade von den Autoren des TNO selbst darauf hingewiesen wird, dass einige Effekte zwar als signifikant, aber insgesamt doch als sehr schwach einzustufen seien, vor allem aber, dass es derzeit viel zu früh für eventuelle Konsequenzen sei. Zunächst müsse eine unab-

hängige Überprüfung der Resultate erfolgen. Lesenswert ist die TNO-Verlautbarung vom 12. November 2003 im Originaltext: «While TNO found statistically significant relationships in this research, two aspects of the work require further elaboration, both of which are of scientific importance. They are:

- Replication. In the practice of science, it is vital that effects found once be reproduced before they are scientifically accepted.
- The size of the discovered effects on the experience of well-being. TNO has discovered an effect on the experience of well-being; however, owing to the approach chosen (in collaboration with the Medical Ethics Review Committee) for the research, it is not possible to comment on the size and/or possible damage posed by this effect. On the basis of the results of the research that has been carried out, it may not therefore be concluded at this point in time that UMTS base stations pose such a danger to the environment that their placement should be avoided.»

Es entspricht den wissenschaftlichen Gepflogenheiten (und die TNO-Autoren fordern dies ausdrücklich auch), zunächst durch Replikationsstudien zu überprüfen, ob die schwachen Effekte überhaupt verifiziert werden können. Nach derzeitigem Wissen kann nicht davon ausgegangen werden, dass UMTS-Basisstationen eine Gefährdung für die Gesundheit von Anrainern darstellen. Zumal sie (zumindest in der ersten FDD-Ausbaustufe) keine gepulsten Sendanteile enthalten, die bei GSM vielfach als besonders pathogen apostrophiert werden. Ihr Signal ist eher ein rauschähnliches und zumindest in theoretischer Sicht «physiologischer» als das 217-Hz-Signal bei GSM (Abb. 6).

Selbstverständlich können wir als Ärzte eine individuelle Gefährdungseinschätzung vornehmen, aus Vorsorgegründen auch zur Vorsicht raten. Allerdings sollten wir auch dann den Gesamtzusammenhang und die Vielfalt der Studien mit ihren meist eindeutigen Ergebnissen in unsere Überlegungen mit einbeziehen.

Über einen weiteren Ausbau des Mobilfunknetzes (auch unter Einbezug von UMTS) wird hingegen in der politischen Arena entschieden. Die Entscheidungsträger werden sich eher an der gesamten Faktenlage als an einer einzigen (mit vielen Fragezeichen behafteten) Studie orientieren. Daher soll im folgenden Abschnitt eine Übersicht über den wissenschaftlich anerkannten Stand der gegenwärtigen Forschungsergebnisse zu Mobilfunkmissionen gegeben werden.

Im Zusammenhang mit Mobilfunk untersuchte Effekte und Gesundheitsstörungen

In Kürze sollen die wichtigsten vermuteten bzw. untersuchten gesundheitsrelevanten Effekte kurz dargestellt und eine aktuelle Bewertung (entsprechend dem Urteil der vom britischen NRPB [National Radiation Protection Board] beauftragten AGNIR [Advisory Group on Non Ionising Radiation] vom Dezember 2003) vorgestellt werden [1]. Wegen der Authentizität werden Originalzitate aus dem AGNIR-Report verwendet.

Kanzerogenese, Kokanzerogenese, Tumorpromotion

- «Studies on cells in culture allow possible mechanisms of interaction of RF fields with organs and tissues to be examined in a controlled environment. Most of the studies [...] do not show a genotoxic effect at nonthermal levels.»
- «Recent animal studies [...] with regard to possible carcinogenicity, several studies using established animal models have found no evidence of a genotoxic, mutagenic or carcinogenic effect. In particular, the findings of an extensive, better-conducted study do not corroborate an earlier report that RF exposure causes an increase in lymphoma incidence in a transgenic mouse strain predisposed to lymphoma induction. RF exposure did not affect survival and spontaneous or chemically induced brain tumours [...].»
- «Several further epidemiological studies of cancer risk, especially in relation to mobile phone use, have been published since the IEGMP-Report [2000, RB]. Although there have been positive findings in some studies for risks of specific cancers in relation to mobile phone use or to occupational or residential RF field exposure (or potential of exposure), no relation has been shown constantly. [...] Overall, none of the categories of epidemiological data gives persuasive evidence that RF field exposure causes cancer.»

Zerebrale Effekte, EEG-Veränderungen, kognitive Funktionen

- «Scientific evidence regarding effects of RF field exposure from mobile phones on human brain activity and cognitive functions [...] has included results both supporting and against the hypothesis of an effect. ... the pattern of effects varies considerably between the studies, none appears to have been independently replicated, and any im-

plications for health are unclear. [...] Overall, the evidence for a direct effect of mobile phone fields on cognitive performance is inconsistent and remains inconclusive.»

- «Most studies in animals have not reported any RF field-dependent responses on the brain and nervous system, particularly with regard to changes in gene expression and the permeability of the blood brain barrier;» «[...] significant effects of the performance of a related task were seen only when exposure resulted in marked elevations of body temperature.»

Andere Effekte und Beschwerden

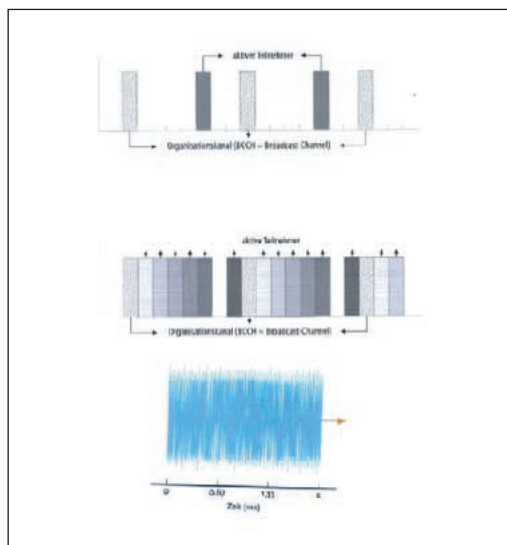
- «There is [...] no consistent pattern between studies as to which heat shock protein is stimulated. Other biological changes in cells due to RF exposure, when found, are small, tending to only just larger than the uncertainty in the precision of the measurement technique used. The implications for human health of any such biological changes can only be conjectured.»
- «There is convincing evidence that pulse modulated RF fields with frequencies between 200 MHz and 6.5 GHz can cause auditory stimulation at exposure levels as low as 400 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. [...] Although the resultant perception of sound might be considered a nuisance, there is no reason to suspect that it has any long-time adverse impact on health.»
- «A number of studies have examined other possible health effects [...]. For none of these effects was a clear effect demonstrated and many of the studies had methodological difficulties including the potential for recall bias and small number of cases.»

Evidenzbasierte zusammenfassende Empfehlung zum Umgang mit dem Thema Mobilfunk und Gesundheit

Als generelle Schlussfolgerung der Sichtung aller relevanten wissenschaftlichen Daten bis Ende 2003 folgert die AGNIR [1]: «In aggregate the research published since the IEGMP-Report [2000, RB] does not give cause for concern. The weight of evidence now available does not suggest that there are adverse health effects from exposures to RF fields below guideline levels, but the published research on RF exposures and health has limitations, and mobile phones have only been in widespread use for a relatively short time. The possibility therefore remains open that there

Abbildung 6

Gepulstes GSM-Signal (217 Hz), oben typisch für Mobiltelefon, Mitte typisch für fast ausgelastete Basisstation, unten ungepulstes, rauschähnliches UMTS-Signal [6,19].



could be health effects from exposure to RF fields below guideline levels; hence continued research is needed.»

Ärztliches Abwägen

Der letzte Satz berührt ein grundlegendes Problem: Ein Beweis, dass eine bestimmte Technologie keinerlei negative Folgen für die menschliche (oder auch tierische) Gesundheit hat, ist wissenschaftlich nicht möglich. In der Regel wird in Studien, die die Wirkung von schwachen elektromagnetischen Feldern auf die Gesundheit untersuchen, versucht, die Nullhypothese («keine Effekte feststellbar») zu verifizieren oder zu falsifizieren. In den weitaus meisten Fällen kann beim Mobilfunk diese Nullhypothese verifiziert werden, in einigen Fällen wird sie auch falsifiziert. Die Aufgabe von Metastudien ist es, durch ausgewiesene Experten eine Sichtung der Literatur und, noch wichtiger, eine kritische Überprüfung auf Schlüssigkeit, methodische Exaktheit und zutreffende Schlussfolgerungen vornehmen zu lassen. Nur auf dieser Basis ist gewährleistet, dass mit dem Thema weniger vertraute Wissenschaftler, aber auch Ärzte und politische Entscheidungsträger, sich einen möglichst objektiven Eindruck über die Gesamtproblematik verschaffen können.

Bei der Beratung von Patienten ebenso wie bei öffentlichen Stellungnahmen bezüglich hypothetischer Risiken von Umweltbeeinflussungen ist sorgfältiges Abwägen erforderlich. Zeich-

net sich eine hohe Evidenzstufe für eine potentielle Gesundheitsschädigung ab, sind ärztliche Warnungen dringend geboten. Ist die Evidenz jedoch ausgesprochen gering, besteht die Gefahr, dass viele Patienten (vielleicht sogar Ärzte) multiple Allgemeinbeschwerden mit einer unzutreffenden Kausalität verknüpfen. Dadurch könnten die therapeutischen Bemühungen und die Suche nach der wirklichen Pathogenese durch falsche Projektionsmechanismen empfindlich gestört werden.

Als Fazit wäre zu prüfen, ob sich in der Schweiz eine ärztliche Kommission zum Thema «Nichtionisierende Strahlen», besetzt mit erfahrenen Experten aus unterschiedlichen Fachgebieten, bilden liesse. Aufgabe einer solchen Kommission könnte es sein, auf der Basis von rein wissenschaftlichen Kriterien unter Berücksichtigung von Qualität und Evidenz den aktuellen Stand der Forschung aufzuarbeiten und ärztliche Empfehlungen für den Umgang mit diesem Thema auszuarbeiten. Damit hätten sowohl interessierte Ärzte als auch die Organe der Ärzteschaft eine solide Basis für den Prozess der Meinungsbildung wie auch für die individuelle und öffentliche Beratung.

Zusammenfassung

Die Frage, ob elektromagnetische Hochfrequenzfelder des Mobilfunks negative Einflüsse auf die Gesundheit haben, wird zunehmend in der Öffentlichkeit und aktuell auch in der Ärzteschaft diskutiert. Die Wissenschaft beschäftigt sich seit Jahrzehnten mit diesem Thema, wobei nur in sehr wenigen wissenschaftlich hochstehenden Untersuchungen ein kausaler Zusammenhang vermutet wird. Eine weitaus höhere Anzahl von Studien, in denen keine biologischen oder gesundheitsrelevanten Effekte gefunden werden konnten, steht dem gegenüber.

Gerade für die Beurteilung möglicher schwacher Zusammenhänge ist die Beachtung der Evidenzkriterien von grosser Bedeutung und beugt allzu subjektiver Sichtweise vor. Am Beispiel einer (nicht unumstrittenen) Einzelstudie zum Thema UMTS wird diskutiert, inwiefern ähnliche «besorgniserregende» Resultate in der Vergangenheit erhebliche Aktivitäten auslösten, um dann letztlich doch nicht verifiziert zu werden.

Grossangelegte Metastudien in vielen Ländern fassen daher regelmässig den Forschungsstand auf der Grundlage von Qualität und Evidenz zusammen. Deren Ergebnisse haben eine hohe Bedeutung für die Risikobetrachtung und für mögliche Vorsorgebemühungen. Vor allem

auf ärztlicher Seite gilt es auf dieser validen Basis abzuwägen zwischen dem Grad einer hypothetischen Gesundheitsgefährdung und der Gefahr, durch möglicherweise voreilige Warnungen zu einer Verunsicherung und damit verbunden zu falschen Kausalitätszuschreibungen beizutragen.

Es wird angeregt, eine ärztliche Experten-Gruppe in der Schweiz zum Thema «Nichtionisierende Strahlen» zu bilden, um den Diskussionsprozess auf wissenschaftlicher und evidenzbasierter Ebene zu führen.

Literatur

- 1 AGNIR (Advisory Group on Non-ionising Radiation). Health effects from radiofrequency electromagnetic fields – NRPB (National Radiation Protection Board)-Report. Chilton (GB) 2003. http://www.nrpb.org/publications/documents_of_nrpb/abstracts/absd14-2.htm.
- 2 Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz. Breite Allianz fordert UMTS-Moratorium. Schweiz Ärztezeitung 2004;85(3):105.
- 3 Aufderreggen B. Vorsorge oder Sorgen danach. Editorial. Schweiz Ärztezeitung 2004;85(3):77.
- 4 Aufderreggen B. Mobilfunk – Gesundheit – Politik. Schweiz Ärztezeitung 2004;85(3):127-9.
- 5 Bayerisches Landesamt für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik (LfAS). Mobiler Messkopf zur standortunabhängigen Teilkörper-SAR-Messung an Mobiltelefonen. München 2003. http://www.lfas.bayern.de/technischer_as/medizinprodukte_strahlensch/strahlenschutz/handystrahlung/strahlung_handy.pdf.
- 6 Berz R. Krank durch Mobilfunk? Bern: Verlag Hans Huber; 2003.
- 7 BGFE (Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik) D. Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder. Köln 2001. <http://www.bgfe.de/images/pdf-kl.gif>.
- 8 BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. Bern: Buwal; 2003.
- 9 Cochrane. AHCPB Publication 1992;92-0032:100-7.
- 10 Direction générale de la santé. Zmirou report to the French Health General Directorate. Paris 2001. http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/telephon_mobil/pdf/teleph_uk.doc.
- 11 Hardell L, Mild KH, Carlberg M. Case control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. Int J Radiat Biol 2002;78:931-6.
- 12 Hardell L, Mild KH, Carlberg M. Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. Int J Oncol 2003;23:399-407.
- 13 Health Council of the Netherlands. Electromagnetic Fields: Annual Update 2003. The Hague 2004. <http://www.gr.nl/pdf.php?ID=886>.
- 14 IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones). Mobile Phones and Health. London: NRPB Press; 2000. <http://www.iegmp.org.uk/report/index.htm>.
- 15 Jörn F. Strahlung im Mobilfunk. Poing: Franzis Verlag; 2003.
- 16 Leitgeb N. Strahlen, Wellen, Felder – Ursachen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit. Stuttgart: dtv/Thieme; 1990.
- 17 Leute U. Wie gefährlich ist Mobilfunk. Weil der Stadt: Schlembach; 2002.
- 18 Nova-Institut. Aktuelle Informationen über die Strahlenbelastung verschiedener Handy-Modelle. Hürth; 2004. <http://www.handywerte.de/>.
- 19 Otto M, von Mühlendahl KE. Mobilfunk und Gesundheit. Eine Information für Ärzte. Osnabrück; 2003.
- 20 Radiocommunications Agency. Comparison of RF Exposure Quotients Between Cellular Phones and Public Service Broadcasts. London: IZMF; 2003. radio.gv.uk/topics/mpsafety/school-audit/multi-user.htm.
- 21 Repacholi MH, Basten A, GebSKI V, Noonan D, Finnic J, Harris AW. Lymphomas in E [i-Pim] transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. Radiat Res 1997;147:631.
- 22 Rösli M, Hug K. Gesundheitsrisiko der Mobilfunkstrahlung. Schweiz Ärztezeitung 2004;85(3):121-5.
- 23 Royal Society of Canada. Expert panel report: A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices. Ottawa; 1999. <http://www.rsc.ca/english/RFreport.pdf>.
- 24 Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Environ Health Perspectives 2003;111:881-3.
- 25 SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields. Recent research on mobile telephony and cancer and other selected biological effects: First annual report. Stockholm; 2003. http://www.ssi.se/english/EMF_exp_Eng_2003.pdf.
- 26 Steiner-Rüedi E. Gedanken und Anregungen zum Thema «Mobile Kommunikation und Gesundheit». Schweiz Ärztezeitung 2004;85(3):125-6.
- 27 Zwamborn APM, Vossen SHJA, van Leersum BJAM, Ouwens MA, Mäkel WN. Effects of global communication system radio frequency fields on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. FEL-03-C148. 2003 The Netherlands, TNO Physics and Electronics Laboratory. www.ez.nl/beleid/home_ond/gsm/docs/TNOFEL_REPORT_03148_Definitief.pdf.