

Medizinisch relevante Aspekte des Mobilfunks

Eine Information für Ärzte



Inhalt

1. Einleitung	4
2. Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder	5
3. Grundlagen des Mobilfunks	7
3.1 Aufbau von Mobilfunknetzen	
3.2 Die Basisstation als zentrales Element	
3.3 Mobilfunksysteme, Frequenzen und Sendeleistungen	
3.4 Zellgrößen und räumliche Verteilung von Basisstationen	
4. Feldausbreitung und Immissionsverteilung	10
4.1 Feldausbreitung im Umfeld von Basisstationen	
4.2 Immissionen durch Basisstationen	
4.3 Feldausbreitung und Immissionen bei Mobiltelefonen	
5. Grenzwerte	13
5.1 Einwirkungen von Mobilfunkfeldern auf Lebewesen	
5.2 Grenzwertkonzept	
5.3 Basisgrenzwerte und Referenzwerte	
5.4 Behördliche Aufsicht	
6. Diskutierte Gesundheitsrisiken und Stand der Forschung	16
6.1 Elektrosensibilität	
6.2 Hirnströme und Schlafparameter	
6.3 Kognitive Leistungen	
6.4 Hormonausschüttung und Stress	
6.5 Öffnung der Blut-Hirn-Schranke	
6.6 Blutbild	
6.7 Mobilfunk und Kanzerogenese	
7. Bewertungen internationaler Expertengremien	22
8. Wechselwirkung mit Medizintechnik	25
9. Schutz empfindlicher Personengruppen	26
10. Perspektiven für mobile Anwendungen im Gesundheitsbereich	28
11. Risikowahrnehmung und -kommunikation	29
11.1 Risikobewertung aus Sicht von Experten und Laien	
11.2 Arzt-Patienten-Gespräch	
11.3 Klinisch-umweltmedizinische Aspekte im Umgang mit Elektrosensibilität	
11.4 Nutzung von Mobiltelefonen	
11.5 Baubiologie	
Literaturverzeichnis	33
Glossar	38
Wichtige Adressen	41
Die Autoren	42

1. Einleitung

Als Anfang der neunziger Jahre das erste digitale Mobilfunknetz aufgebaut wurde, hat wohl niemand vorhergesehen, wie schnell sich diese Technologie weiterentwickeln würde. In Deutschland gibt es inzwischen mehr Mobilfunkverträge als Einwohner und weltweit sind so viele Handys in Betrieb, wie es Menschen auf der Erde gibt. Das Mobiltelefon ist vom Statussymbol zum Alltagsgegenstand geworden. Im Laufe der Zeit wurde sein Funktionsumfang kontinuierlich erweitert: Moderne Handys sind Telefon, Postfach, Organizer, Suchmaschine, Navigationsgerät, Fernseher, MP3-Player, Kamera und elektronische Geldbörse in einem. Über Mobilfunk – per Telefon, E-Mail, Foto, Video oder Chat – wird heute ein Großteil der privaten und beruflichen Kommunikation abgewickelt.

Entwicklung der Mobilkommunikation

Mit der Einführung der GSM-Technologie (Global System for Mobile Communications) im Jahr 1992 erhielt Deutschland sein erstes voll digitalisiertes Mobilfunknetz. Telefonate und SMS wurden lange Zeit nur im D- und E-Netz des GSM-Standards übertragen. Durch die Einführung der UMTS-Technologie (Universal Mobile Telecommunications System) im Jahr 2000 wurden höhere Übertragungsgeschwindigkeiten in Mobilfunknet-

zen ermöglicht. Sprache und Daten konnten erstmals zeitgleich gesendet werden und ebneten den Weg für die Nutzung des Handys als Multimediagerät.

Durch die Einführung der Smartphones im Jahr 2007 hat sich die Handynutzung verändert und dynamisch weiterentwickelt. Neben der Telefonie hat der mobile Internetzugang wesentlich an Bedeutung gewonnen. Seit 2015 übersteigt die mobile Internetnutzung erstmals die Telefonie – ein Trend, der durch die Verbreitung von Tablets künftig noch verstärkt wird.

Mit der Versteigerung von Frequenzbändern im Jahr 2010 startete die LTE-Technologie (Long Term Evolution) in Deutschland. LTE steigert die Leistungsfähigkeit der Mobilfunknetze durch eine höhere Datenübertragungsrate. Gemäß den Vorgaben der Bundesnetzagentur wurden zunächst ländliche Gebiete mit LTE im Frequenzbereich um 800 MHz versorgt, bevor der Ausbau in größeren Städten begann.

Damit der weltweit wachsende Datenverkehr auch künftig bewältigt werden kann, wird der LTE-Standard derzeit weiterentwickelt. Die Nachfolgetechnologie LTE Advanced ist vermutlich ab 2020 einsatzbereit. Ein weiteres Ziel der künftigen Mobilfunkentwicklung ist es, die Versorgung in Ballungsgebieten und an Hotspots zu verbessern.

Kenntnisstand zu Mobilfunk und Gesundheit

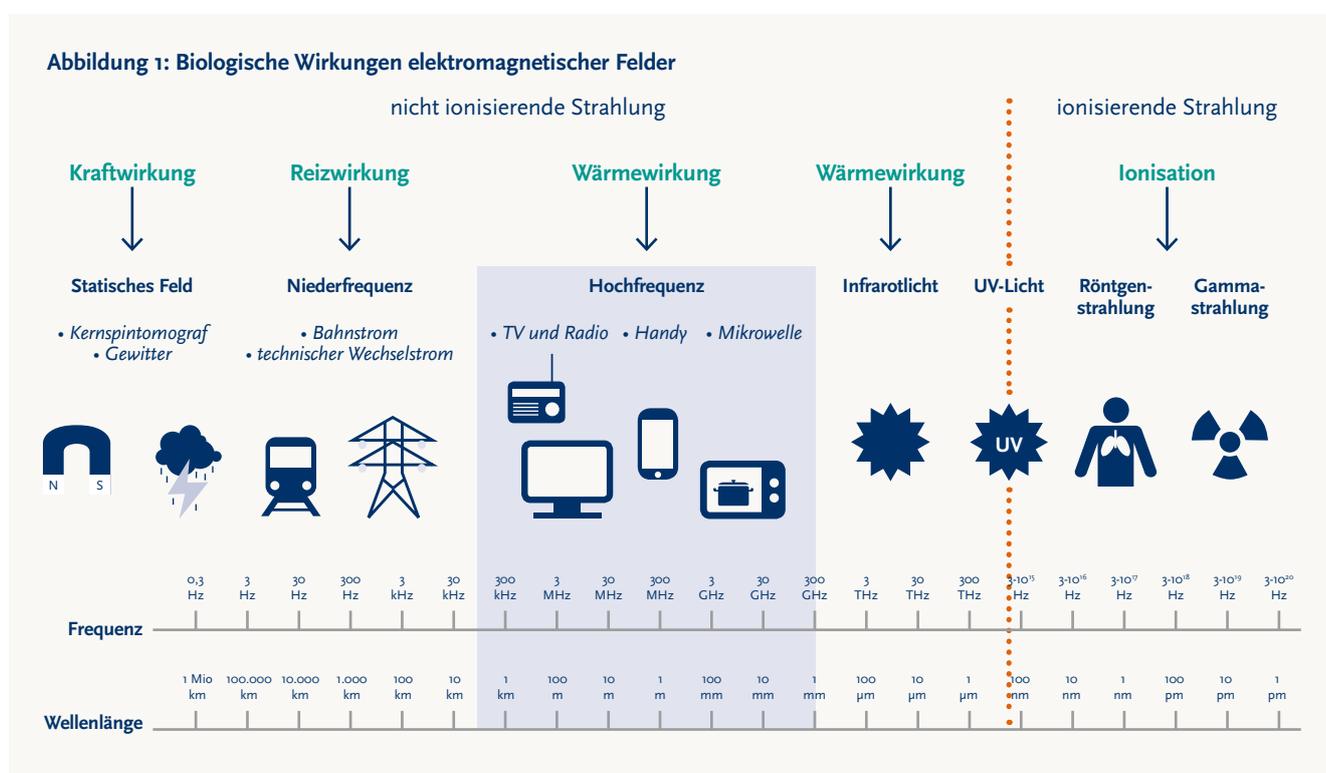
Die Frage, ob die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks die menschliche Gesundheit beeinträchtigen können, wird seit Jahren öffentlich diskutiert. Zwar betonen internationale und nationale Fachgremien, dass auf Basis des heutigen Wissensstandes bei Einhaltung der Grenzwerte keine Gesundheitsgefahren von Mobilfunkfeldern ausgehen. Dennoch hält sich die Sorge vor möglichen Gesundheitsrisiken durch Mobilfunk in Teilen der Bevölkerung.

Wenn Menschen gesundheitliche Beschwerden auf den Einfluss der Mobilfunkfelder zurückführen, sind Ärztinnen und Ärzte¹ oft die ersten Ansprechpartner. Ihre Aufgabe ist es, Patienten sachlich und wissenschaftlich fundiert zu beraten und zu behandeln.

Ziel der vorliegenden Publikation ist die Vermittlung des umweltmedizinischen Basiswissens zur Risikobewertung hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) des Mobilfunks. Sie soll es Medizinem erleichtern, sich einen umfassenden Überblick über den Stand der Forschung zu verschaffen und vom Patienten beschriebene Gesundheitsstörungen besser in den Gesamtkontext der individuellen Umweltfaktoren einzuordnen.



2. Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder



Der menschliche Körper ist in vielfältiger Weise nicht ionisierenden Feldern ausgesetzt, beispielsweise durch elektrische und elektronische Geräte im Haushalt (Fön, Mikrowellenherd), durch medizinische Anwendungen wie Kurzwellenbehandlung (Diathermie), Infrarotlicht- und Lasertherapie sowie durch moderne Kommunikationstechniken (Rundfunk, Mobilfunk, WLAN etc.).

Die Wirkung elektromagnetischer Felder auf Lebewesen hängt von der Frequenz und der Intensität der Felder ab. Die Dauer ihrer Einwirkung ist erst dann von Bedeutung, wenn für eine bestimmte biologische Wirkung ein Schwellenwert überschritten wird.

Während statische Felder Kraftwirkungen ausüben, können niederfrequente elektrische und magnetische Felder mit Frequenzen bis etwa 30 Kilohertz (kHz) im menschlichen Körper über Influenz- und Induktionswirkungen elektrische Ströme erzeugen. Ab einem bestimmten Schwellenwert kommt es zu einer Stimulation zentraler und peripherer Nerven bzw. zum Auslösen von Nervenimpulsen und Muskelkontraktionen (Reizwirkungen). An der Retina können zusätzlich Lichterscheinungen (*Phosphene*) hervorgerufen werden.

Hochfrequente elektromagnetische Felder – zu denen auch die Mobilfunkfelder zählen – werden aufgrund des Skineffektes (vgl. S. 13) überwiegend in den äußeren Körperschichten absorbiert.

Die bislang einzige wissenschaftlich nachgewiesene Wirkung der Energieabsorption ist eine Erwärmung des Körpergewebes aufgrund der Rotation hauptsächlich von Wasserdipolen im elektromagnetischen Feld und der Erzeugung von Reibungswärme (*Wärmewirkung*). Die Existenz sogenannter „athermischer Effekte“ unterhalb der geltenden Grenzwerte wird zwar gelegentlich behauptet, nach derzeitigem Wissensstand sind diese Effekte aber rein spekulativ (vgl. Kapitel 7 „Stand der Forschung und offene Fragen“, S. 22 ff.).

Hochfrequente Felder einschließlich der Felder des Mobilfunks sowie Infrarotlicht gehören zur *nicht ionisierenden Strahlung* (vgl. Abbildung 1). Ihre Quantenenergie ist zu gering, um Elektronen aus der äußeren Schale von Atomen oder Molekülen herauszuschlagen. Höherfrequente Strahlung wie UV-Licht mit Wellenlängen kürzer als etwa 400 Nanometern (nm), Röntgen- und Gammastrahlen wirken hingegen ionisierend auf die Moleküle biologischen Materials und können die Erbsubstanz schädigen.

Abbildung 2: Physikalische Grundlagen

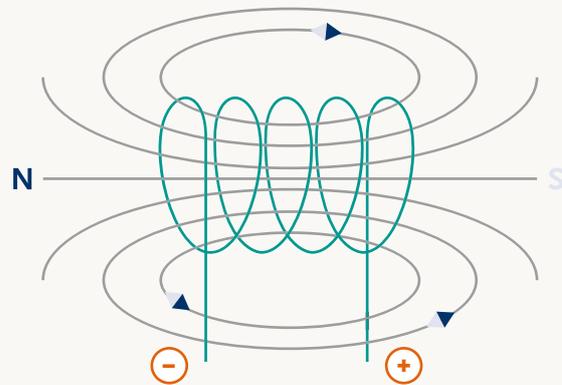
Elektrisches Feld

Ein elektrisches Feld E wird durch elektrische Ladungen (z. B. auf den Platten eines Kondensators) oder durch magnetische Wechselfelder erzeugt. Die elektrische Feldstärke wird in Volt pro Meter (V/m) gemessen.



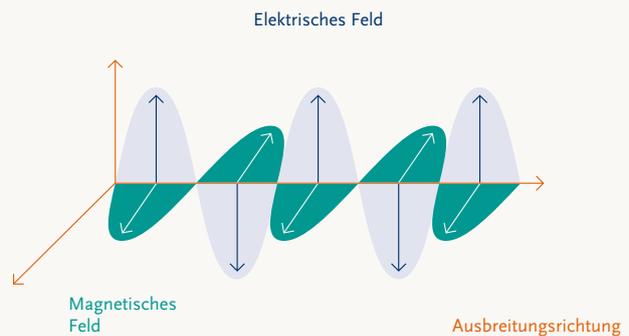
Magnetisches Feld

Ein magnetisches Feld H wird durch Permanentmagnete, stromdurchflossene Leiter oder elektrische Wechselfelder erzeugt. Die magnetische Feldstärke wird in Ampere pro Meter (A/m) gemessen. Alternativ wird oft die magnetische Flussdichte B in Tesla (T) verwendet.



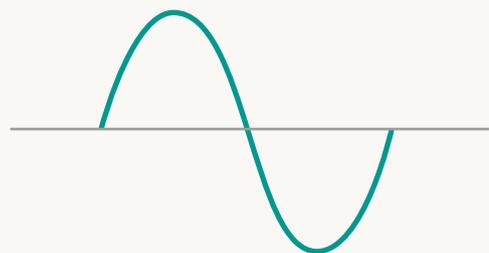
Elektromagnetisches Feld

Im Hochfrequenzbereich sind elektrisches und magnetisches Feld verkoppelt und erzeugen sich gegenseitig. Es entsteht eine elektromagnetische Welle.



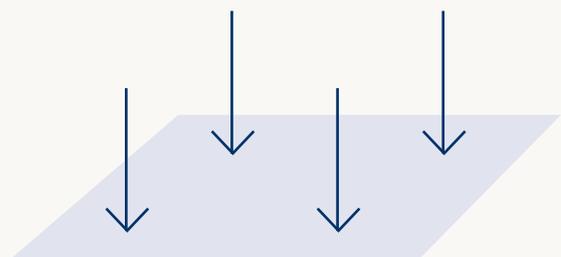
Frequenz

Die Frequenz f gibt an, wie oft eine elektromagnetische Welle pro Sekunde hin- und herschwingt. Die Maßeinheit lautet Hertz (Hz).



Leistungsflussdichte

Die Leistungsflussdichte S ist ein Maß für die senkrecht auf eine Fläche eintreffende Leistung eines elektromagnetischen Feldes. Sie wird in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) gemessen.



3. Grundlagen des Mobilfunks

3.1

Aufbau von Mobilfunknetzen

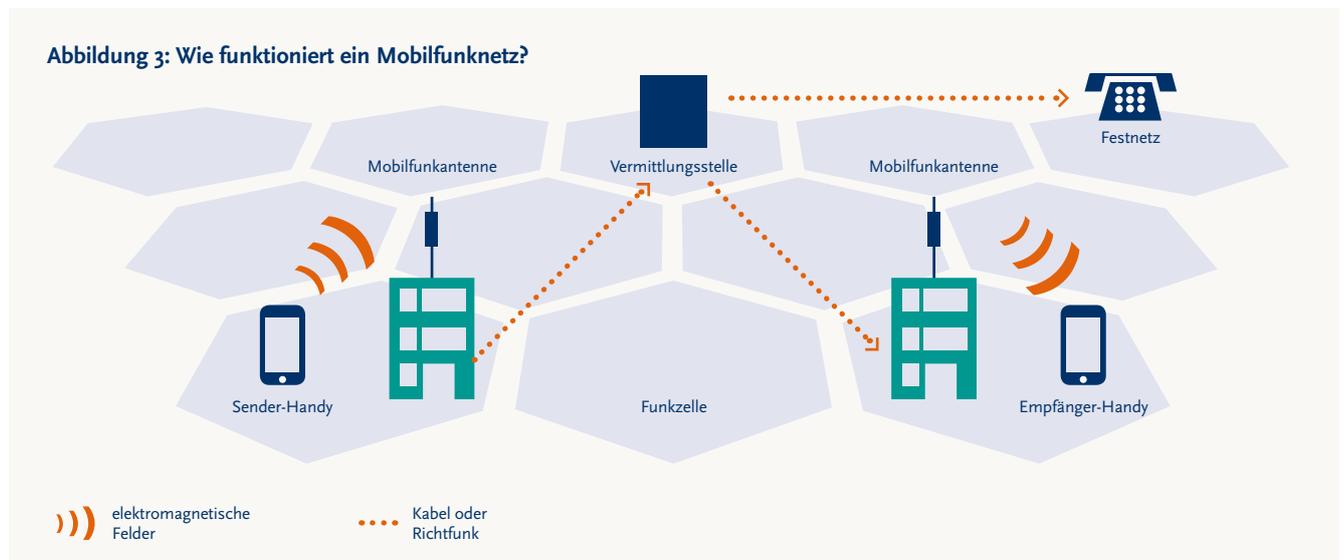
Ein Mobilfunknetz besteht aus flächendeckenden, in der Regel wabenförmig angeordneten *Funkzellen*. Jede dieser Funkzellen wird von einer *Mobilfunkbasisstation* versorgt. Diese dient als Sende- und Empfangsstation für die Kommunikation mit allen Mobilfunkendgeräten, die sich in der Funkzelle befinden. Abbildung 3 zeigt schematisch den Aufbau eines Mobilfunknetzes.

Bei einem Anruf mit einem Sender-Handy (links) wird eine Funkverbindung zur nächstgelegenen Basisstation aufgebaut (*Uplink*). Die Basisstation leitet den Anruf per Richtfunk oder Kabelverbindung zu einer Vermittlungsstelle weiter. Diese ermittelt das Empfängergerät und die dazugehörige Basisstation:

3.2

Die Basisstation als zentrales Element

Auf dem Foto „Aufbau einer Basisstation“ (S. 8) ist eine typische Basisstation dargestellt. Bei der Anordnung der Mobilfunkantennen wird üblicherweise ein *sektorierter Aufbau* mit drei um jeweils 120° versetzten Abstrahlrichtungen gewählt. Jede Antenne versorgt einen etwa 120° breiten Sektor, sodass sich insgesamt in der Horizontalebene eine kreisförmige Versorgung ergibt. Im Foto ist ebenfalls die Richtfunkantenne zur Anbindung der Basisstation an die Vermittlungsstelle zu erkennen.



Handelt es sich um ein Handy, wird von der Mobilfunkantenne dieser Basisstation ein Funksignal zum Empfänger-Handy (rechts) gesendet (*Downlink*); handelt es sich um ein Festnetzgerät, wird der Anruf per Kabelverbindung vermittelt. Elektromagnetische Felder entstehen dabei durch die Mobilfunkantennen der Basisstationen (dies sind üblicherweise vertikal ausgerichtete Paneele) sowie durch die in den Mobiltelefonen eingebauten Antennen.

Aufbau einer Basisstation



3-3

Mobilfunksysteme, Frequenzen und Sendeleistungen

Derzeit werden in Deutschland Mobilfunknetze im GSM-, UMTS- und LTE-Standard betrieben. Das **GSM-Netz** (Global System for Mobile Communication) ist ein Standard der sogenannten 2. Mobilfunkgeneration (2G) und in Deutschland seit 1992 im Einsatz. Es dient hauptsächlich der Sprachtelefonie, dem Kurznachrichtendienst SMS (Short Message Service) sowie in begrenztem Ausmaß auch der Datenübertragung.

GSM kann in seiner ursprünglichen Form Daten nur vergleichsweise langsam mit 9,6 Kilobit pro Sekunde (kbit/s) übertragen; mit der Technikerweiterung EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) ist die Datenübertragungsgeschwindigkeit im Downlink etwa 20-fach höher.

Nachfolger von GSM ist **UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System) als Mobilfunksystem der 3. Generation (3G). Mit UMTS lassen sich große Datenmengen schnell mobil senden und empfangen. Der ursprüngliche UMTS-Standard erlaubte lediglich Datenraten von 384 kbit/s. Mit derzeit aktuellen Weiterentwicklungen (HSDPA+, High Speed Downlink Packet Access, 3,5 G) werden bis zu 42,2 Megabit pro Sekunde (Mbit/s) im Downlink erreicht.

Jüngster Mobilfunkstandard und 4. Generation des Mobilfunks ist LTE (Long Term Evolution). Dieser zeichnet sich gegenüber seinen Vorgängertechnologien durch kürzere Latenzzeiten (Laufzeit eines Datenpakets) und nochmals größere Datenübertragungsgeschwindigkeiten aus. Mit LTE werden Übertragungsgeschwindigkeiten von etwa 100 Mbit/s erreicht, was noch schnellere mobile Internetanwendungen ermöglicht. Der Nachfolger „LTE Advanced“ wird bereits getestet. Darüber hinaus wird schon an der nächsten Mobilfunkgeneration (5G) gearbeitet.

In Tabelle 1 sind die Mobilfunkstandards mit den in Deutschland aktuell eingesetzten Frequenzbereichen dargestellt. Die Kanalbandbreite ist dabei ein Maß für die frequenzbezogene Breite des Funkkanals. Je höher die Kanalbandbreite, desto höher ist die Datenübertragungsgeschwindigkeit. Im Mai 2015 hat die Bundesnetzagentur eine neue Auktion von Frequenzen für mobiles Breitband durchgeführt. Versteigert wurden Frequenzen in den Bereichen bei 700 MHz, 900 MHz, 1.800 MHz sowie im Bereich bei 1,5 GHz.

Die maximale Sendeleistung auf Seiten der Basisstationen beträgt in der Regel 20 bis 50 Watt pro Frequenzkanal. Beim mobilen Endgerät werden maximal 125 bis 250 Milliwatt (mW) erreicht (alle Angaben sind zeitlich gemittelte Werte). Begründet durch die Struktur des Sendesignals können kurzzeitig auch höhere Momentanleistungen erreicht werden, wie z. B. 2 Watt bei einem GSM-900-Mobiltelefon im gepulsten Sendebetrieb.

Tabelle 1: Übersicht der in Deutschland betriebenen Mobilfunksysteme (Stand: April 2015)

Standard	Generation	Frequenzbereich	Kanalbandbreite
GSM 900	2G	880–960 MHz	200 kHz
GSM 1800	2G	1.710–1.880 MHz	200 kHz
UMTS	3G	1.920–2.170 MHz	5 MHz
LTE 800	4G	790–862 MHz	bis zu 10 MHz
LTE 1800	4G	1.710–1.880 MHz	bis zu 20 MHz
LTE 2600	4G	2.500–2.690 MHz	bis zu 20 MHz



Basisstationen werden vor allem dort errichtet, wo sich viele Mobilfunknutzer befinden.

3-4

Zellgrößen und räumliche Verteilung von Basisstationen

Die Größe der Mobilfunkzelle hängt in erster Linie von den Versorgungsaufgaben ab. Da eine Basisstation nur eine begrenzte Anzahl von Telefonaten und Datenverbindungen gleichzeitig bedienen kann, gilt: je höher das Gesprächsaufkommen, desto kleiner die Funkzelle. In Fußgängerzonen, an Flughäfen und auf Messen ist der Radius der Funkzellen daher klein (wenige 100 Meter, bei den sogenannten „Small Cells“ auch nur einige 10 Meter). In dünn besiedelten Gebieten hingegen ist der Zellradius bis zu 10 Kilometer groß. Er wird primär durch die Sendeleistungen bzw. Empfangsempfindlichkeiten von Basisstation und Mobiltelefon sowie von der Topografie und der Bebauung begrenzt.

Auch die Frequenz spielt eine Rolle: Da die Wellenausbreitungsbedingungen bei niedrigen Frequenzen besser sind, kann beispielsweise eine Funkzelle bei LTE 800 (800 MHz) größer ausgelegt werden als bei LTE 2600 (2600 MHz). Generell muss eine Zelle so geplant werden, dass sowohl das Mobiltelefon die Basisstation mit ausreichendem Funkpegel erreichen kann (Uplink) als auch die Basisstation das Mobiltelefon (Downlink).

Ein weiterer Aspekt gerade bei UMTS und LTE ist die *Interferenzproblematik*: Da alle Basisstationen eines Betreibers für einen Funkdienst (z. B. LTE 800) auf ein- und derselben Frequenz arbeiten (Gleichwellennetz), stellen benachbarte Basisstationen

für die Versorgung der „Haupt-Basisstation“ eine potenzielle Störquelle dar. Dies macht die Funknetzplanung für ein solches Mobilfunknetz zu einer anspruchsvollen Aufgabe und erklärt, warum nicht allein ein Mindestfeldstärkepegel zur Beurteilung der Versorgungs- und Immissionsituation ausreichend ist.

Interferenzen innerhalb der Funkzelle sind die Ursache für die sogenannte *Zellatmung*: In UMTS-Netzen wird die Zelle bei steigender Verkehrslast kleiner. Mobile Nutzer am Rand der Zelle können dann nicht mehr bedient werden.

Um diese Interferenzen zu minimieren und die Akkus von Mobiltelefonen zu schonen, werden sowohl bei der Basisstation als auch beim Mobiltelefon Leistungsregelungstechniken eingesetzt. Durch sie wird die Sendeleistung auf das für eine Verbindung gerade notwendige Maß beschränkt (*automatische Sendeleistungsregelung*). So können Basisstationen und Mobiltelefone vor allem in gut versorgten Gebieten mit einer gegenüber der maximal möglichen Sendeleistung wesentlich reduzierten Leistung arbeiten. Die automatische Sendeleistungsregelung führt daher automatisch auch zu einer Immissionsreduktion.

Für eine optimale Leistungsregelung ist es sinnvoll und notwendig, dass Basisstationen unmittelbar dort errichtet werden, wo sich die Mobilfunknutzer befinden.

4. Feldausbreitung und Immissionsverteilung

4.1

Feldausbreitung im Umfeld von Basisstationen

Die Mobilfunkantennen einer Basisstation sind sogenannte *Richtantennen*. Das bedeutet, dass sie ihre Energie nicht wie z. B. eine Glühlampe gleichmäßig in alle Raumrichtungen abstrahlen, sondern gebündelt in eine Vorzugsrichtung. Diese Vorzugsrichtung wird auch Hauptstrahlrichtung genannt und ist in Abbildung 4 als dunkelgrüner Strahlungskegel dargestellt. Die *Hauptstrahlrichtung* ist üblicherweise etwas nach unten geneigt (*Downtilt*), damit primär die eigene Mobilfunkzelle versorgt wird und Abstrahlungen in die Nachbarzellen reduziert werden.

Technisch bedingt gibt es neben der Hauptstrahlrichtung auch noch Feldabstrahlungen in andere Raumrichtungen – die Nebenstrahlungsrichtungen. Diese sind aber bezüglich ihrer Intensität in Relation zur Hauptstrahlrichtung wesentlich kleiner, was durch die unterschiedliche Farbgebung in Abbildung 4 angezeigt wird.

Diese *Richtcharakteristik* von Mobilfunkantennen ist die Ursache dafür, dass die Immission auf Erdbodenhöhe bei größerer Entfernung zur Basisstation nicht gleichmäßig abnimmt. Direkt am Basisstationsgebäude ist der Beobachter im sogenannten „Nahbereichsschatten“, d. h. einem Bereich mit sehr geringer Feldstärke, da die Basisstation „über ihn hinwegstrahlt“. Bei wachsendem Abstand gerät er in den Bereich der Nebenstrahlungsrichtungen, in denen die Feldstärke von Ort zu Ort vergleichsweise stark variiert.

Das Maximum der Feldstärke wird oftmals erst in einem Abstand erreicht, in dem die Hauptstrahlrichtung auf den Erdboden trifft. Je nach Montagehöhe der Antenne und dem eingestellten Downtilt ist dies üblicherweise in Abständen von 100 bis zu mehreren 100 Metern der Fall. Bei noch größeren Abständen nimmt die Feldstärke mit steigender Entfernung dann kontinuierlich (etwa proportional zur Entfernung) ab. Dabei kann die gleichmäßige Abnahme durch Reflexionen an benachbarten Gebäuden oder Dämpfungswirkungen an Sichthindernissen (Bebauung oder Vegetation) gestört sein.

Abbildung 4: Elektromagnetisches Feld einer Mobilfunkbasisstation

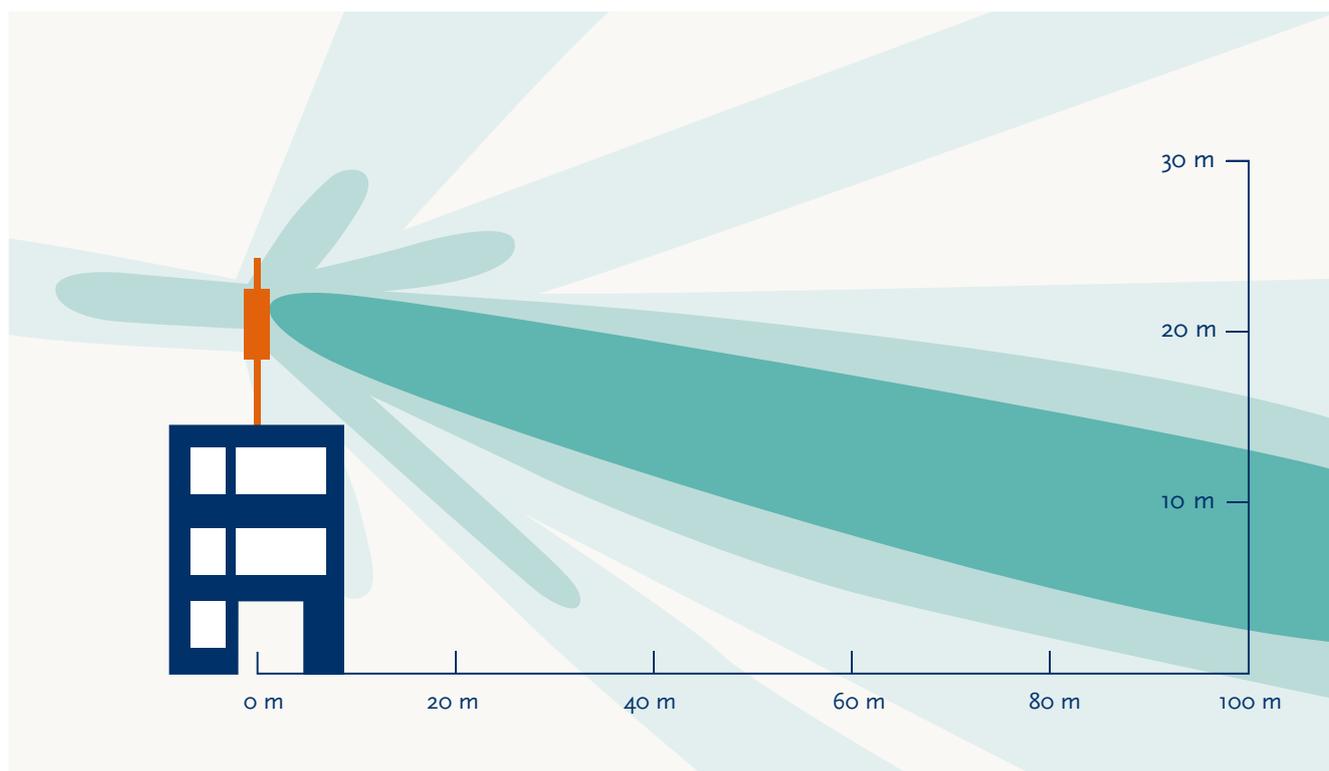
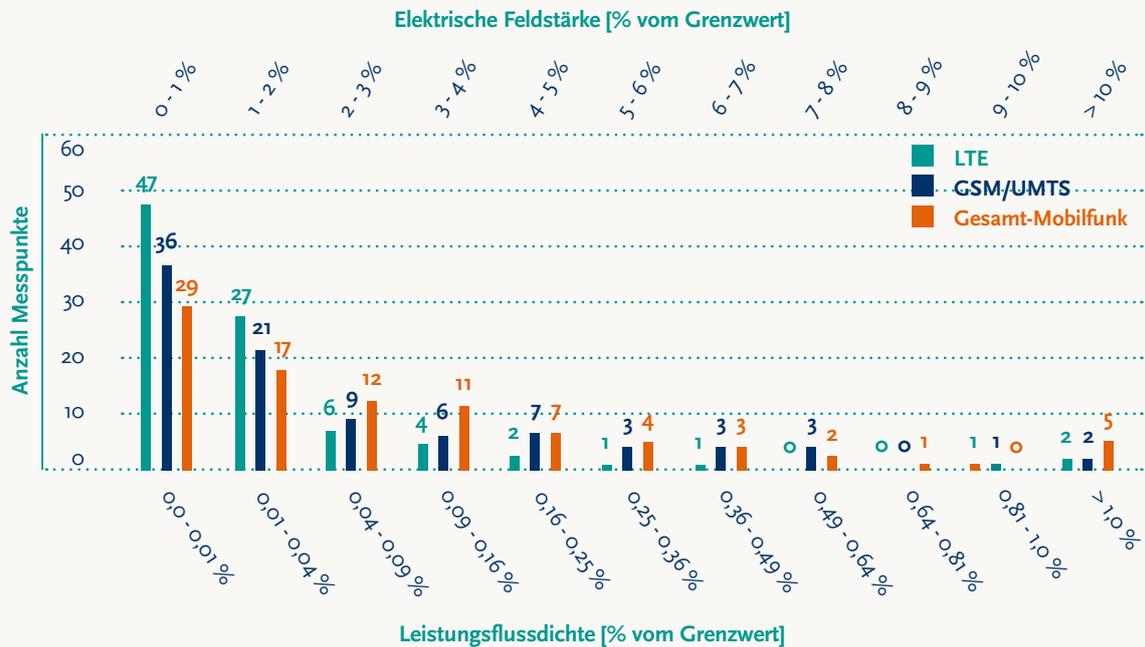


Abbildung 5: Bundesweite LTE-Messreihe: Prozentuale Verteilung der Messpunkte

Die Grafik gibt einen Überblick über die Verteilung der Mobilfunkimmissionen und zeigt, dass an 86 der 91 Messpunkte (95 Prozent) weniger als 10 Prozent der gültigen Feldstärke-Grenzwerte ausgeschöpft werden.



Hinsichtlich der Abstrahlung von Mobilfunkbasisstationen sind folgende Immissionssituationen typisch:

- Die Immission an einem Ort ist speziell im Nahbereich der Anlage von der Abstrahlcharakteristik der Antenne abhängig. An Orten in oder nahe der Hauptstrahlrichtung liegt die Immission höher als an Orten außerhalb der Hauptstrahlrichtung.
- Deshalb hat ein geringer Abstand zur Station nicht zwangsläufig höhere Immissionen zur Folge. Der Abstand zu einer Mobilfunkanlage ist daher kein zuverlässiges Kriterium für die Abschätzung der Immissionen.
- Hindernisse in der Ausbreitungsrichtung können das Feld abschwächen. Dazu gehören Witterungseinflüsse (starker Regen oder Schneefall) sowie Vegetation und Baumaterialien.
- Deshalb sind innerhalb von Gebäuden Mobilfunkfelder schwächer als an außen gelegenen Orten in vergleichbarer Entfernung und Höhe.

4.2

Immissionen durch Basisstationen

Über die Immissionen, die von Mobilfunkbasisstationen ausgehen, liegt eine belastbare Messdatenbasis vor. Beispielhaft seien hier Forschungs- und Messprojekte des Bundesamtes für Strahlenschutz (2013), einiger Bundesländer (Bayern 2009, NRW 2013), der Bundesnetzagentur (BNetzA) und des Informationszentrums Mobilfunk e. V. (2012) genannt.

Alle Mobilfunkmessreihen zeigen, dass auch durch die permanente Verdichtung der Mobilfunknetze die Grenzwerte selbst im direkten Umfeld von Mobilfunkbasisstationen in der Regel nur zu einem Bruchteil ausgeschöpft und damit sicher eingehalten werden. Dies gilt auch nach dem erfolgten flächendeckenden LTE-Netzausbau, wie z. B. eine 2012 vom IZMF durchgeführte bundesweite Messreihe an LTE-Basisstationen bestätigt. Untersucht wurden 16 LTE-Basisstationen an 91 Messpunkten. Sofern am Standort der LTE-Anlagen auch GSM- und UMTS-Standards installiert waren, wurden deren Immissionen mitgemessen und die jeweilige Gesamtimmision aller Mobilfunkdienste mit Hochrechnung auf eine theoretische Maximalauslastung der Basisstationen ermittelt.

In welcher Relation die Grenzwerte prozentual an den einzelnen Messpunkten ausgeschöpft werden, verdeutlicht Abbildung 5. Sie zeigt, dass die Gesamtimmisionen von LTE und GSM/UMTS an 86 von 91 Messpunkten (95 Prozent) nur 10 Prozent oder weniger des Feldstärkegrenzwertes ausschöpfen (bzw. 1 Prozent oder weniger des Leistungsfeldstärke-Grenzwertes).

Um eine Überschreitung des Grenzwertes durch Mobilfunkbasisstationen auszuschließen, führt die Bundesnetzagentur vor Genehmigung dieser Anlagen ein sogenanntes Standortverfahren durch. Dabei werden ortsfeste Funkanlagen auf die Einhaltung der Grenzwerte zum Schutz von Personen überprüft und nur dann für den Betrieb zugelassen, wenn am Installationsort die Einhaltung der Personenschutzgrenzwerte in allgemein zugänglichen Bereichen gewährleistet ist.

Feldausbreitung und Immissionen bei Mobiltelefonen

Im Vergleich zu Basisstationen, die zumindest ihre Signalisierungen permanent abstrahlen, können sich herkömmliche Mobiltelefone in einem reinen Empfangsmodus befinden. Dabei sendet ein Mobiltelefon lediglich zur „Anwesenheitskontrolle“ alle 1 bis 12 Stunden ein Kontrollsignal zur Basisstation. Außerdem werden kurze Signale gesendet, wenn das Telefon die Funkzelle wechselt (Handover), z. B. während einer Auto- oder Bahnfahrt. Anders verhält es sich hingegen mit den heute üblichen Smartphones. Hier finden beispielsweise durch Push- und Messenger-Dienste oder durch Aktualisierungen von Apps Sendeaktivitäten statt, ohne dass der Benutzer das Gerät aktiv bedient. Die Aussage, dass Mobiltelefone die Funkkommunikation nahezu vollständig einstellen, wenn sie nicht zum Telefonieren, Browsen oder zum Schreiben von SMS genutzt werden, ist bei Smartphones daher nicht mehr gültig.

Wenn Mobilfunkgeräte beim Telefonieren in der Regel direkt an den Kopf gehalten oder nah am Körper getragen werden, dringt ein Teil des abgestrahlten Feldes in den Kopf bzw. den Rumpf ein. Dies ist in Abbildung 6 gezeigt.

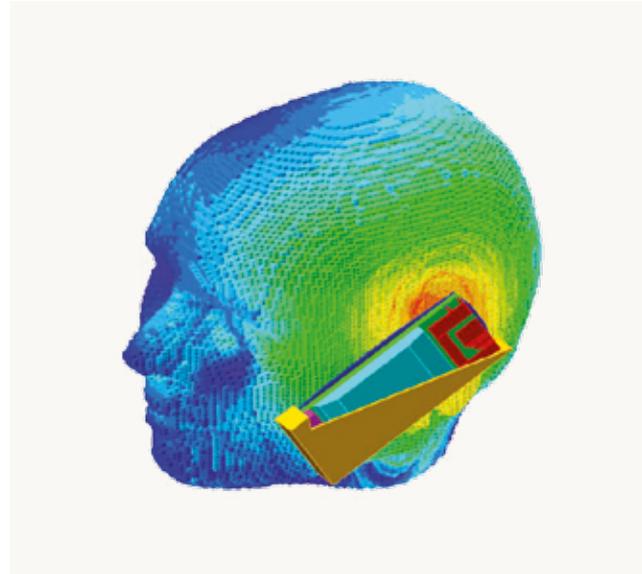
Der Anteil der elektromagnetischen Leistung, der im Kopf bzw. Rumpf des Telefonierenden absorbiert wird, wird als *Spezifische Absorptionsrate (SAR)* bezeichnet und in Watt pro Kilogramm (W/kg) angegeben. Die SAR für Mobiltelefone wird unter maximalen Sendeleistungsbedingungen ermittelt und darf den Grenzwert von 2 W/kg nicht überschreiten. Die Messung erfolgt üblicherweise mithilfe einer Nachbildung des menschlichen Kopfes bzw. Rumpfes. Nähere Details zu SAR-Werten finden Sie in einem Video des Informationszentrums Mobilfunk (<https://www.youtube.com/watch?v=D-TkEGgoONM>).

Die SAR-Werte aktueller Mobiltelefone sind im Internet nachlesbar. Sie können zum Beispiel auf den Seiten des Bundesamtes für Strahlenschutz (www.bfs.de) und des Informationszentrums Mobilfunk (www.izmf.de) abgerufen werden.

Eine Analyse der SAR-Werte von 152 Smartphones, Phablets (Wortkreuzung aus Phone und Tablet) und Handys der Jahre 2009 bis 2014 zeigt einen mittleren SAR-Wert von 0,68 W/kg entsprechend 34 Prozent des Grenzwertes (Stand März 2014, Zeitschrift Connect).

Die Spanne der SAR-Werte reicht von 0,14 W/kg (7 Prozent) bis 1,51 W/kg (76 Prozent). Damit erzeugen Mobiltelefone beim Benutzer wesentlich höhere Immissionen als Mobilfunkbasisstationen; verglichen mit den auf Seite 11 angegebenen Messwerten an Basisstationen sind sie etwa 1.000 Mal größer.

Abbildung 6: Abstrahlung von Mobiltelefonen



Quelle: IMST GmbH

Wie auch Basisstationen verfügen Mobiltelefone über eine *Sendeleistungsregelung*, die dafür sorgt, dass ein Gerät bei guter Verbindungsqualität mit sehr geringer Leistung arbeiten kann. Dadurch wird der maximal mögliche SAR-Wert deutlich unterschritten. Eine gute Verbindung zur Basisstation ist daher ein wirksames Mittel zur Expositionsminimierung des Handynutzers. Die Verbindungsqualität kann an der Zahl der „Empfangsbalken“ auf dem Display abgelesen werden. Eine weitere Möglichkeit zur wirksamen Reduzierung der individuellen Exposition ist die Verwendung von Freisprecheinrichtungen oder Headsets.

5. Grenzwerte

5.1

Einwirkungen von Mobilfunkfeldern auf Lebewesen

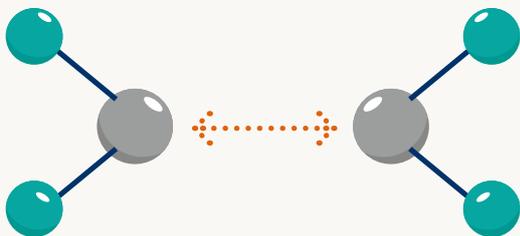
Die Wirkung elektromagnetischer Felder auf Lebewesen hängt in erster Linie von der Frequenz und der Intensität der Felder ab. Die Dauer der Feldeinwirkung ist grundsätzlich erst dann von Bedeutung, wenn für eine bestimmte biologische Wirkung ein Schwellenwert überschritten wird.

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF), zu denen auch die Mobilfunkfelder zählen, dringen kaum in den Körper ein: Im Mobilfunkbereich beträgt die Eindringtiefe nur wenige Zentimeter. Ursache hierfür ist zum einen der sogenannte *Skinneffekt* (vgl. Infokasten), zum anderen die ausgeprägte Absorption in den oberen Hautschichten.

HF-EMF können das Ruhepotenzial von Zellen nicht beeinflussen. Die Erregung von Nerven- und Muskelzellen ist daher nicht möglich. Die primäre Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Lebewesen ist ihre *Wärmewirkung*.

Abbildung 7: Wärmewirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Moleküle mit Dipolcharakter richten sich in einem Hochfrequenzfeld periodisch aus. Die größte Bedeutung haben hierbei die Wassermoleküle, deren sogenannte Orientierungspolarisation zu Reibungsverlusten und damit zur Wärmebildung führt. Auf diesem Prinzip beruht auch die häusliche Mikrowelle.



Hochfrequente Energie wird am stärksten an der Oberfläche, also in der Haut absorbiert. Die dabei entstehende lokale Temperaturerhöhung kompensiert der Körper hauptsächlich, indem er die Wärme über den Blutkreislauf abtransportiert. Schlecht durchblutete Organe, wie etwa die Augenhornhaut und -linse, sind daher potenziell stärker gefährdet. Tiefer liegende Organe – beispielsweise auch ein Fötus – sind durch die Absorption an der Oberfläche und durch den Skinneffekt wesentlich geringeren Feldern ausgesetzt.

Ein Maß für die vom Gewebe in einem bestimmten Zeitraum absorbierte (Feld-)Energie ist die Spezifische Absorptionsrate SAR. Ihre Bedeutung für die Grenzwertfestlegung wird auf den folgenden Seiten explizit erklärt.

Skineffekt

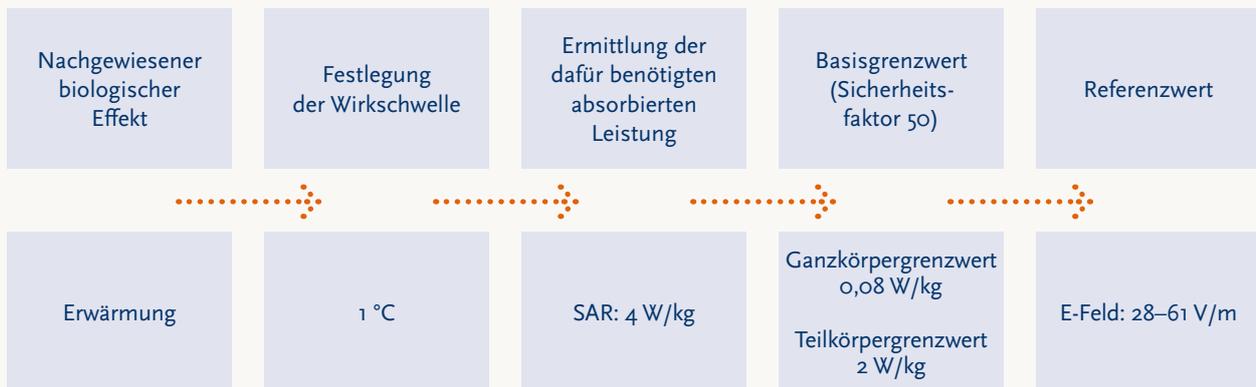
Durch das elektrisch gut leitende Körpergewebe werden wie in einem „Faradayschen Käfig“ Feldlinien eines Hochfrequenzfeldes an die Körperoberfläche gedrängt. Dieser sogenannte Skinneffekt sorgt dafür, dass ein von außen einwirkendes Feld nur begrenzt in Lebewesen eindringt (vgl. Glaser 2000). Diese Tatsache muss berücksichtigt werden, wenn aus Versuchen mit Kleintieren auf die Wirkung hochfrequenter Felder beim Menschen geschlossen werden soll. Felder, die das Gehirn eines Kleintieres vollständig durchdringen, erreichen das Gehirn beim Menschen – wenn überhaupt – nur in stark abgeschwächter Form.

In welchem Ausmaß hochfrequente Feldenergie aufgenommen wird, hängt nicht nur vom Wassergehalt und der Leitfähigkeit eines Lebewesens ab, sondern auch von dessen Größe. Ein Maximum erreicht die Energieaufnahme im *Resonanzfall* (vgl. Infokasten).

Resonanzerscheinungen

Wenn die Körpergröße etwa der halben bis einem Viertel der Wellenlänge der Hochfrequenzstrahlung entspricht, kann der Körper in Resonanz mit dem äußeren Feld geraten und damit besonders effektiv Energie aus dem Strahlungsfeld aufnehmen. Bei einem in Richtung der Körperlängsachse orientierten elektrischen Feld liegt die Resonanzfrequenz für einen erwachsenen Menschen bei etwa 50 Megahertz, für ein Kind bei etwa 100 Megahertz und für ein Kleintier, beispielsweise eine Ratte, bei mehreren Hundert Megahertz. Bezogen auf die Verhältnisse in der Umgebung einer im Frequenzbereich von 800 bis 2.600 Megahertz arbeitenden Mobilfunkbasisstation bedeutet dies, dass – bei gleicher Sendeleistung – die absorbierte Feldenergie vom Kleintier über das Kind zum Erwachsenen hin abnimmt. Neben dem Skinneffekt muss deswegen auch die Resonanzfrequenz berücksichtigt werden, wenn Ergebnisse aus Versuchen mit Kleintieren auf den Menschen übertragen werden sollen, da bei verschiedenen Körpergrößen unterschiedlich viel Energie aus dem Feld absorbiert wird.

Abbildung 8: Grenzwertfestlegung im Hochfrequenzbereich für die Allgemeinbevölkerung



5.2

Grenzwertkonzept

Das geltende Konzept zum Schutz des Körpers vor HF-EMF basiert auf einer Begrenzung der Erwärmung des menschlichen Körpers.

Mit Auswirkungen auf die Gesundheit ist dann zu rechnen, wenn über längere Zeit ein Schwellenwert von 1 °C für die Erhöhung der Körperkerntemperatur aufgrund der Absorption von HF-EMF überschritten wird. Als Maß für die Absorption elektromagnetischer Leistung im menschlichen Gewebe dient die Spezifische Absorptionsrate SAR, die in Watt pro Kilogramm (W/kg) Gewebe angegeben wird. Eine lang genug (mindestens etwa 30 Minuten) auf den gesamten Körper einwirkende SAR in Höhe von 4 W/kg bewirkt beim Menschen eine Temperaturerhöhung von etwa 1 °C. Zum Vergleich: Die metabolische Wärmeproduktion des Körpers im Ruhezustand liegt bei etwa 1 W/kg Körpergewicht.

Die Internationale Strahlenschutzkommission ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) hat aus dieser Wirkschwelle Richtwerte für den Ganzkörper- und den Teilkörperbereich abgeleitet (vgl. ICNIRP 1998). Diesen Werten, in die bereits ein Sicherheitsfaktor von 50 zwischen Wirkschwelle und Richtwert eingerechnet ist, haben sich die Weltgesundheitsorganisation WHO und der Rat der Europäischen Union angeschlossen (99/519/EG). Abbildung 8 zeigt das Verfahren zur Festlegung der Grenzwerte.

In Deutschland entsprechen die gesetzlichen Grenzwerte im Mobilfunkbereich den ICNIRP-Richtlinien. Sie sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV 1997, novelliert im August 2013) festgeschrieben.

5.3

Basisgrenzwerte und Referenzwerte

Die ICNIRP unterscheidet zwischen sogenannten Basisgrenzwerten und Referenzwerten. Der Basisgrenzwert für die Allgemeinbevölkerung beträgt 0,08 W/kg und wird über das gesamte Körpergewicht gemittelt (SAR-Ganzkörpergrenzwert). Konzentriert sich die Exposition auf bestimmte Körperregionen wie die Mobiltelefonnutzung am Kopf oder die körpernahe Nutzung am Rumpf, wird zusätzlich ein Teilkörpergrenzwert definiert, um lokale thermische Wirkungen zu begrenzen. Der Teilkörpergrenzwert für die Allgemeinbevölkerung beträgt für Kopf und Rumpf 2 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebemasse. Für berufliche Expositionen gelten höhere Werte.

Grundsätzlich müssen sowohl Ganzkörper- als auch Teilkörpergrenzwert eingehalten werden. Diese Basisgrenzwerte liegen für die Allgemeinbevölkerung 50-fach unterhalb der oben genannten Wirkschwelle. Die messtechnische Erfassung der SAR-Werte ist relativ aufwändig und nur unter Laborbedingungen, z. B. beim Test von Mobiltelefonen, möglich. Aus diesem Grund definiert die ICNIRP auch sogenannte Referenzwerte – für die elektrische Feldstärke, magnetische Feldstärke und elektrische Leistungsflussdichte – außerhalb des Körpers. Diese sind unter Feldbedingungen leichter zu messen und werden primär bei Immissionsmessungen an Basisstationen angewendet.

In Tabelle 2 sind die Grenzwerte der elektrischen Feldstärke und der äquivalenten elektrischen Leistungsflussdichte für die Immissionen von Mobilfunkbasisstationen aufgelistet.

Internationale und nationale Fachgremien (ICNIRP, WHO, SCENIHR, SSK) überprüfen in regelmäßigen Abständen den aktuellen Kenntnisstand zur Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die menschliche Gesundheit hinsichtlich möglicher Anpassung der Grenzwerte und fassen ihr Wissen in Risikobewertungen zusammen.

Tabelle 2: Für Deutschland geltende Grenzwerte für Mobilfunkbasisstationen

Mobilfunkstandard	elektrische Feldstärke in V/m	äquivalente Leistungsflussdichte in W/m ²
GSM 900	41	4,6
GSM 1800	58	9,0
UMTS	61	10,0
LTE 800	38	3,9
LTE 1800	58	9,0
LTE 2600	61	10,0

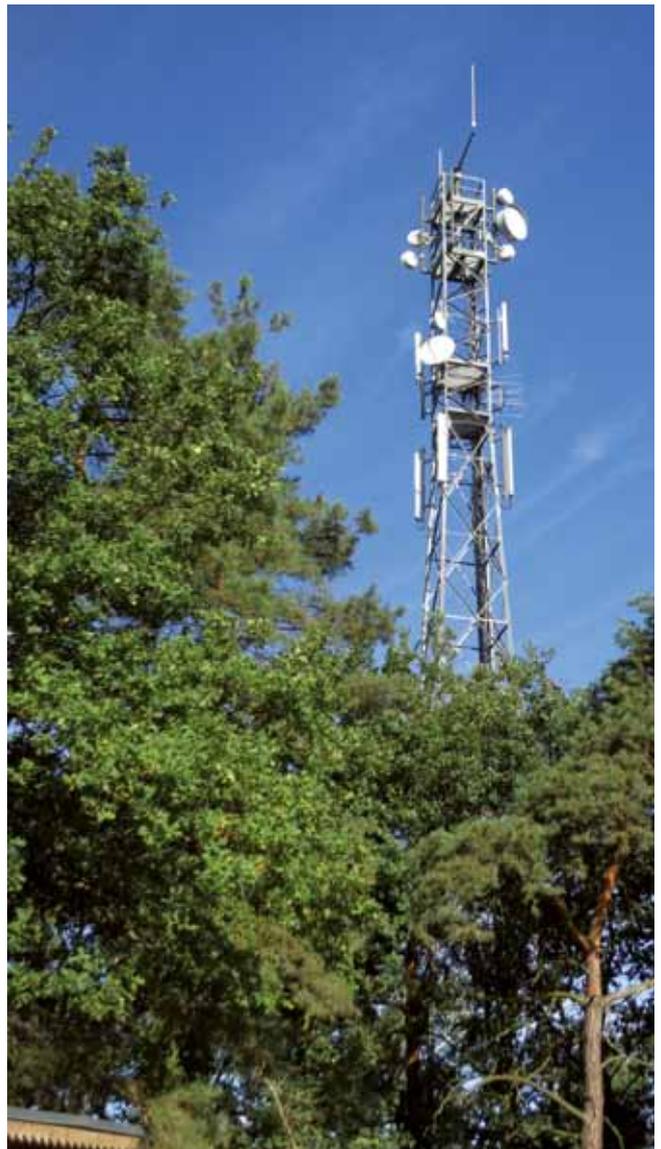
5.4

Behördliche Aufsicht

Ortsfeste Funkanlagen (darunter fallen auch Mobilfunkbasisstationen) unterliegen in Deutschland der Aufsicht durch die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA). Im Rahmen eines Standortverfahrens stellt die Behörde auf Antrag des Mobilfunknetzbetreibers eine *Standortbescheinigung* für eine neue oder geänderte Basisstation aus, sofern die entsprechenden Voraussetzungen erfüllt sind. Hierbei wird die beantragte Basisstation auf die Einhaltung der Grenzwerte zum Schutz von Personen überprüft und nur dann für den Betrieb zugelassen, wenn am Installationsort die Einhaltung der Personenschutzgrenzwerte in allgemein zugänglichen Bereichen gewährleistet ist.

Dabei bestimmt die BNetzA sogenannte Sicherheitsabstände, also Abstände um die Sendeantennen der Basisstation, ab denen der Bevölkerungsschutzgrenzwert sicher eingehalten wird. Die Sicherheitsabstände werden dabei in Hauptstrahlrichtung (typischerweise mehrere Meter) und in vertikaler Richtung (unter der Antenne, typischerweise mehrere Dezimeter bis wenige Meter) ausgewiesen. Bei der Berechnung der *Sicherheitsabstände* werden auch umliegende Funkanlagen berücksichtigt.

Die Bundesnetzagentur prüft in unregelmäßigen Abständen und ohne Vorankündigung, ob die Anlage in Übereinstimmung mit der Standortbescheinigung betrieben wird und ob die geltenden Grenzwerte eingehalten werden. Die Ergebnisse dieser Messungen sowie die Ortskoordinaten und Sicherheitsabstände aller Mobilfunksendeanlagen sind in einer Standortdatenbank für die Öffentlichkeit frei zugänglich (vgl. <http://emf3.bundesnetzagentur.de/>).



Mobilfunkbasisstationen müssen die gesetzlich verankerten Grenzwerte einhalten.

6. Diskutierte Gesundheitsrisiken und Stand der Forschung

Die thermische Wirkung hochfrequenter Felder ist wissenschaftlich erwiesen. Sie ist der empfindlichste (zuerst zu beobachtende) biologische Effekt. An ihr orientiert sich die Grenzwertsetzung.

Darüber hinaus wird in Teilen der Fachöffentlichkeit, noch mehr aber in der Bevölkerung, die Frage diskutiert, ob hochfrequente Felder nicht bereits unterhalb der gültigen Grenzwerte biologische Wirkungen entfalten können.

Für hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) – insbesondere für Felder des öffentlichen und behördlichen Mobilfunks, selten für Rundfunk – werden Wirkungen unterhalb der geltenden Grenzwerte postuliert. Oftmals wird angenommen, dass diese Effekte nicht auf Erwärmung zurückzuführen sind. Daher werden sie – fachlich nicht ganz korrekt – als athermische oder nichtthermische Effekte bezeichnet (vgl. Abbildung 7 Wärmewirkung hochfrequenter Felder, S. 13).

Viele der diskutierten athermischen Wirkungen beziehen sich auf das zentrale Nervensystem, was angesichts der Handynutzung bislang hauptsächlich im Kopfbereich und der besonderen Bedeutung und Empfindlichkeit des Gehirns plausibel ist. Inzwischen nehmen andere körpernahe Nutzungsarten an Bedeutung zu.

Untersucht wurden bislang unter anderem mögliche Zusammenhänge zwischen Mobilfunk und:

- Elektrosensibilität
- Hirnströmen und Schlafparametern
- kognitiven Leistungen
- Hormonausschüttung und Stress
- Öffnung der Blut-Hirn-Schranke
- Blutbild
- Kanzerogenese

Die vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse basieren auf In-vitro-Untersuchungen, Tierversuchen, Versuchen an Probanden und auf epidemiologischen Studien. Die jeweiligen Untersuchungsmethoden unterscheiden sich stark in ihrer Aussagekraft. Einzelheiten hierzu können im Infokasten „Herangehensweisen in der Forschung“ nachgelesen werden.

Im Folgenden werden einige der diskutierten Gesundheitsrisiken vorgestellt und kommentiert. Die Auswahl konzentriert sich auf große Forschungsvorhaben (z. B. Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm DMF, INTERPHONE-Studie, EMF-Projekt der Weltgesundheitsorganisation WHO), berücksichtigt aber auch einzelne Studien, die besondere Aufmerksamkeit in den Medien erfahren haben.

Herangehensweisen in der Forschung

Versuche in vitro bieten den Vorteil eines überschaubaren Systems. Mit ihnen ist es vermutlich am ehesten möglich, Wirkmechanismen elektromagnetischer Felder zu erkennen. Bisher ist im athermischen Bereich kein solcher Mechanismus bekannt, es existieren lediglich Hypothesen und Spekulationen. Wirkmechanismen sind jedoch für die Ableitung wissenschaftlich begründeter Grenzwerte von großer Bedeutung. Als nachteilig erweist sich bei In-vitro-Versuchen, dass Rückschlüsse auf die gesundheitliche Bedeutung eines gefundenen Effekts für den Organismus kaum möglich sind.

Versuche an Tieren gestatten Aussagen über mögliche Langzeitwirkungen und erfassen das Lebewesen in seinem komplexen Gefüge. Sowohl die Planung von Tierversuchen als auch die Übertragung der Ergebnisse auf den Menschen erfordern, dass artspezifische Besonderheiten und Unterschiede beispielsweise in der Körpergröße zwischen Mensch und Versuchstier beachtet werden (vgl. Kapitel 5.1, Infokästen zum Skin- und Resonanzeffekt).

Versuche an Probanden sind gut geeignet, um Kurzzeiteffekte zu untersuchen, beispielsweise auf die kognitive Informationsverarbeitung, auf das Schlafverhalten oder Hirnströme. Hinweise auf Wirkmechanismen können auf diese Weisen jedoch nicht gewonnen werden.

Epidemiologische Langzeitstudien sollten eigentlich die besten Voraussetzungen bieten, um mögliche Auswirkungen des Mobilfunks auf die Gesundheit zu untersuchen (vgl. Glaser 2000; Silny 2002). In der Praxis stoßen Epidemiologen aber auf eine Reihe von Problemen: So müssen die Exposition genau erfasst, eine unbelastete Kontrollgruppe gefunden und Störfaktoren ausgeschlossen werden. Um Langzeitwirkungen zu erfassen, muss die Studie über viele Jahre hinweg andauern, wobei sich die Parameter der Mobilfunkfelder (Intensität, Frequenz, Modulation usw.) nicht ändern dürfen. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass epidemiologische Studien lediglich Korrelationen aufzeigen können, nicht jedoch Kausalitäten nachweisen.

Fazit: Bei der Erforschung des Themas Mobilfunk und Gesundheit gibt es keinen „Königsweg“. Alle Versuchsansätze erbringen einen wichtigen Erkenntnisgewinn, jedoch müssen die Vor- und Nachteile abgewogen werden.

6.1

Elektrosensibilität

Mit den Begriffen Elektrosensitivität oder Elektrosensibilität bezeichnet man im deutschen Sprachgebrauch eine vermutete Empfindsamkeit oder Anfälligkeit gegenüber elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern. Für den internationalen Sprachgebrauch wurde von der WHO die Verwendung des Begriffs Electromagnetic Hypersensitivity (EHS) vorgeschlagen.

Bereits seit Anfang der 80er Jahre beschäftigen sich Wissenschaftler mit dem Phänomen der Elektrosensibilität. Die ersten Berichte über dieses Beschwerdebild stammen aus nordischen Ländern wie Norwegen und Schweden; im Verlauf der letzten 20 Jahre wurde aber deutlich, dass selbst berichtete Elektrosensibilität nicht auf den nördlichen Raum Europas beschränkt ist. Vielmehr deuten die Ergebnisse verschiedener epidemiologischer Studien darauf hin, dass es in vielen Industrieländern Bevölkerungsgruppen gibt, die sich selbst als elektrosensibel einschätzen.

Betroffene charakterisieren ihr Leiden durch eine Reihe von Befindlichkeitsstörungen und berichten von einem hohen Leidensdruck. Ein plausibler Wirkmechanismus ist allerdings trotz intensiver Forschung nicht bekannt.

Elektrosensibilität ähnelt in vielerlei Hinsicht der Multiplen Chemikaliensensibilität (MCS). Beiden ist gemeinsam, dass ihre Symptome eher unspezifisch sind und eine toxikologische Basis bzw. ein plausibler Wirkmechanismus fehlt.

Die Angaben zur Häufigkeit der selbst berichteten Elektrosensibilität in der Allgemeinbevölkerung variieren stark. Umfragen in den USA und Schweden lassen vermuten, dass ca. 1,5 bis 3,2 Prozent der Bevölkerung betroffen sein könnten (vgl. Drießen et al. 2012). Betroffene und Selbsthilfegruppen geben eine Häufigkeit von bis zu 10 Prozent der Bevölkerung an. Auffällig ist, dass die Häufigkeit von Land zu Land unterschiedlich ist. Höhere Angaben finden sich in skandinavischen Ländern und in Deutschland, während sie in Großbritannien, Österreich und Frankreich eher niedrig sind.

Die meisten der bisher durchgeführten zahlreichen Studien deuten darauf hin, dass Personen mit selbst berichteter Elektrosensibilität elektromagnetische Felder mit der gleichen (Un-)Genauigkeit wahrnehmen wie Nichtbetroffene dies tun. In Deutschland hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) von 2003 bis 2006 das QUEBEB-Projekt (DMF-Projekt E8) gefördert. Es handelt sich dabei um eine Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die elektromagnetischen Felder von Mobilfunkbasisstationen. Die Ergebnisse zeigen, so das Fazit der Autoren, dass „die subjektiv berichteten Sorgen und Beeinträchtigungen durch Mobilfunksendeanlagen kaum durch die objektiv vorhandenen Mobilfunkbasisstationen [...], sondern eher durch die subjektive Wahrnehmung von Mobilfunkstationen durch die Bevölkerung“ erklärbar sind.

Auch eine DMF-Studie zu akuten Gesundheitseffekten durch Mobilfunk bei Kindern (DMF-Projekt E9) ließ keinen Zusammenhang zwischen den geschilderten Symptomen und der EMF-Exposition erkennen. In den Studien an Erwachsenen (DMF-Projekt B20) zeigte sich jedoch, dass Personen, die ihre nichtspezifischen Gesundheitsprobleme Mobilfunkbasisstationen zuschreiben, vermehrt Beschwerden angeben. Dies kann im Sinne eines Nocebo-Effektes interpretiert werden.

In ihrer Stellungnahme zu den biologischen Auswirkungen des Mobilfunks von 2011 resümiert die SSK, „dass es nach wie vor keine objektiven Beweise für das Phänomen der ‚Elektrosensibilität‘ gibt. Diese Schlussfolgerung stimmt mit den Aussagen verschiedener internationaler Expertengremien überein (SCENIHR 2015, BAFU 2012, EFHRAN 2010, WHO 2005). Damit kann nach Einschätzung der SSK in der Gesamtschau der internationalen Literatur der Schluss gezogen werden, „dass ‚Elektrosensibilität‘ im Sinne eines ursächlichen Zusammenhangs mit der Exposition durch EMF mit großer Wahrscheinlichkeit nicht existiert.“

6.2

Hirnströme und Schlafparameter

Schlafstörungen zählen zu den häufigsten Beschwerden, die im Zusammenhang mit Mobilfunk geäußert werden. Erste Studien zum Thema Schlafqualität in den 90er Jahren lieferten widersprüchliche Ergebnisse. Zudem wurde angemerkt, dass Untersuchungen unter Laborbedingungen nicht den natürlichen Schlafbedingungen entsprechen würden. Eine als Doppelblindstudie angelegte Untersuchung der Charité Berlin im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF-Projekt B20) widmete sich daher dem Schlafverhalten unter häuslichen Bedingungen. Hierfür wurden mobile Sender in unmittelbarer Nähe zum Wohnort aufgestellt. Aus der Studie ging hervor, dass die Exposition durch die Sender die Schlafqualität der Probanden nicht negativ beeinflusste. Allerdings zeigten die Ergebnisse auch, dass die objektiven und subjektiven Schlafparameter bei Teilnehmern mit Mobilfunkängsten deutlich schlechter ausfielen als bei unbesorgten Probanden. Die Autoren kommen daher zu dem Schluss, dass das bloße Vorhandensein einer Basisstation (unabhängig von der EMF-Exposition) einen negativen Einfluss auf die Schlafqualität besorgter Probanden hat.

Von derselben Arbeitsgruppe stammt eine Laboruntersuchung an 30 männlichen Probanden (DMF-Projekt B19). Diese wurden über drei Nächte kontinuierlich mit simulierten Feldern von Mobiltelefonen nach GSM- und UMTS-Standard exponiert oder scheinexponiert. Dabei wurde das Schlaf-EEG abgeleitet und die Schlafstruktur analysiert. Ein Einfluss einer GSM- oder UMTS-Exposition auf den Schlaf konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden.

Die EPROS-Studie des Instituts für Krankenhaustechnik der TU Graz (DMF-Projekt B5) ging der Frage nach, ob HF-EMF einen Einfluss auf den Schlaf bei Personen mit selbst berichteter Elektrosensibilität haben. Hierfür wurden die elektromagnetischen Felder im Schlafzimmer der Betroffenen durch ein leitfähiges Gewebe abgeschirmt bzw. durch wirkungslosen Stoff nur scheinabgeschirmt. Ein Einfluss von HF-EMF auf die Schlafqualität wurde nicht gefunden. Nach Auffassung des Studienleiters ist ein EMF-Einfluss auf den Schlaf, wenn er sogar bei Personen, die von starker Elektrosensibilität berichten, nicht nachgewiesen werden kann, auch sonst nicht zu erwarten. Interessant ist, dass bereits der Glaube an die Wirkung der Abschirmung – unabhängig davon, ob eine solche tatsächlich vorhanden war – eine deutliche Schlafverbesserung bewirkte.

Auch die epidemiologisch ausgerichtete QUEBEB-Studie (DMF-Projekt E8, siehe Kapitel 6.1 Elektrosensibilität) befasste sich mit der Schlafqualität. In dieser methodisch sehr sorgfältig durchgeführten DMF-Studie zum Einfluss von Mobilfunkfeldern auf den Schlaf konnten keine schlafstörenden Effekte beobachtet werden. Allerdings finden sich in der Literatur Einzelbeobachtungen und -befunde sowohl zum Schlaf- als auch zum Wach-EEG, deren Stellenwert in Folgestudien geprüft werden sollte (vgl. SSK 2011).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass Mobilfunkfelder von Basisstationen keinen gesundheitlich relevanten Einfluss auf den Schlaf haben. Das pure Vorhandensein einer Basisstation kann sich aber bei Personen mit Ängsten vor gesundheitlichen Wirkungen des Mobilfunks negativ auf die subjektive Schlafqualität auswirken.

6.3

Kognitive Leistungen

Frühe Studien zu Gedächtnisfunktion, Lernfähigkeit und Reizwahrnehmung beschrieben gelegentlich einen positiven Einfluss von HF-EMF bei simulierter Handynutzung. Beispielsweise war die Reaktionszeit um mehrere Prozentpunkte verkürzt. Die beobachteten Veränderungen lagen in der Regel im natürlichen biologischen Schwankungsbereich, waren also nicht sehr stark ausgeprägt. Grundsätzlich sind Untersuchungen zu kognitiven Leistungen methodisch schwierig und oftmals schlecht reproduzierbar.

Neuere Studien mit verbessertem Studiendesign (standardisierter Kognitionstest, Durchführung als Doppelblind-Versuch, Studien über längere Zeiträume oder mit vielen Testpersonen) fanden keinen Einfluss von HF-EMF auf kognitive Fähigkeiten von Erwachsenen und Kindern (vgl. BfS 2008).

Zum Thema Mobilfunk und Kinder hat die SSK bereits im Jahr 2006 eine Stellungnahme veröffentlicht (SSK 2006). Im Jahr 2011 hat sie die darin aufgeführten Erkenntnisse bestätigt und betont, dass eine Beeinflussung kognitiver Funktionen bisher weder bei Erwachsenen noch bei Kindern belegt sei.

In einem Langzeit-Tierversuch im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF-Projekt B9) wurden Ratten mithilfe etablierter Testverfahren untersucht. Nach Langzeitexposition gegenüber einem Mobilfunk-Hochfrequenzfeld (Exposition 5-fach oberhalb des Basisgrenzwertes für die Allgemeinbevölkerung) fanden sich keine Unterschiede zwischen exponierten und scheinexponierten Gruppen.

In dem oben erwähnten DMF-Probandenprojekt B19 der Charité Berlin konnte kein Effekt der Mobilfunkfelder auf kognitive Funktionen festgestellt werden. Die Tageszeit der Versuchsdurchführung zeigte jedoch einen erkennbaren Einfluss auf die Versuchsergebnisse.

Die Strahlenschutzkommission SSK listet weitere Faktoren auf, die Einfluss auf das Testergebnis haben können. Dazu gehören neben dem Expositionsdesign und der Probandenauswahl auch der Konsum von alkoholischen und koffeinhaltigen Getränken sowie die Testabfolge und -dauer (SSK 2011).

6.4

Hormonausschüttung und Stress

Bei Studien, die sich mit dem Einfluss von HF-EMF auf den Hormonhaushalt beschäftigen, steht die Melatoninsekretion im Vordergrund. Melatonin wirkt als Hormon (u. a. zur Steuerung des Schlaf-Wach-Rhythmus), als Antioxidans (Radikal-Fänger) und als Transmitter. Falls hochfrequente elektromagnetische Felder in der Lage wären, die Melatoninsekretion zu verringern, könnte dies den Schlaf-Wach-Rhythmus und darüber hinaus das Krebsgeschehen im Sinne einer tumorpromovierenden Wirkung beeinflussen, so die Hypothese der Wissenschaftler.

Experimentell konnte jedoch nicht bestätigt werden, dass die Melatoninsekretion unter GSM-Feldeinfluss abnimmt (Mann et al. 1998, Radon et al. 2001). Die im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms durchgeführten In-vitro- und In-vivo-Versuche am Tiermodell (isolierte Pinealdrüse, Hamster) ergaben bei Befeldungen bis zur Höhe des Ganzkörpergrenzwertes für die Allgemeinbevölkerung (0,08 W/kg) keine Beeinflussung der Melatoninproduktion. Bei einer Exposition mit gepulsten Feldern in Höhe von 0,8 W/kg stieg die Melatoninproduktion an, bei 2,7 W/kg verringerte sie sich. Möglicherweise ist die Zunahme der Melatonsynthese auf einen geringfügigen Temperaturanstieg zurückzuführen. Eine Beeinflussung unter In-vivo-Bedingungen, d. h. im lebenden Organismus, erscheint sehr unwahrscheinlich (vgl. Lerchl et al. 2008).

Die am Robert Koch-Institut angesiedelte Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ kam im Jahr 2005 in ihrer Stellungnahme „Melatonin in der umweltmedizinischen Diagnostik im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern“ zu der folgenden Schlussfolgerung: „Die Bestimmung von Melatonin bzw. seinen Metaboliten kann für

den klinisch-umweltmedizinischen Bereich nicht empfohlen werden, da die Messergebnisse keine sinnvollen Aussagen oder Rückschlüsse in Bezug auf biologische Wirkungen von elektromagnetischen Feldern erlauben.“ Derartige Bestimmungen sind auch nicht dazu geeignet, aus den Ergebnissen gesundheitliche Schlussfolgerungen oder Gefährdungsabschätzungen vorzunehmen. Auch aus biochemisch-physiologischer Sicht sprechen mehrere Gründe gegen eine Korrelation zwischen Melatonin und einer EMF-Exposition (vgl. Wunstorf et al. 2000).

Ob Mobilfunkfelder Einfluss auf das Immunsystem und auf Stressreaktionen bei Versuchstieren ausüben, wurde im DMF-Projekt B9 untersucht. Von einzelnen Versuchsergebnissen abgesehen, die als Zufallsbefunde eingestuft wurden, konnten keine signifikanten Einflüsse festgestellt werden.

6.5

Öffnung der Blut-Hirn-Schranke

Zu Beginn der 90er Jahre erregten die Arbeiten von Salford et al. große Aufmerksamkeit. Seine histochemischen Untersuchungen hatten gezeigt, dass 915-Megahertz-Felder die Blut-Hirn-Schranke von Ratten zeitweilig für Plasmaalbumin öffnen konnten (vgl. Salford et al. 1993, 1994). Auffallend war allerdings, dass die niedrigste Befeldungsdosis dabei den größten Effekt und die größte Befeldungsdosis den geringsten Effekt hatte. Den Versuchen zufolge öffnete sich die Blut-Hirn-Schranke sowohl bei Befeldung mit einem konstanten als auch mit einem gepulsten Feld.

Nachfolgende Versuche von Fritze et al. (1997) konnten den Befund von Salford et al. nur für hohe Feldstärken bestätigen, die bereits zu einer Erwärmung im Gehirn führten. Japanische Untersuchungen (vgl. Tsurita et al. 2000) und australische Studien konnten keine Störung der Blut-Hirn-Schranke feststellen.

In einer 2003 veröffentlichten Studie beschrieben Salford et al. den Übertritt von Albumin aus dem Blut ins Rattenhirn mit der Folge, dass Hirnnervenzellen degenerierten (Bildung von „dark neurons“). Diese Studie weist grobe methodische Mängel auf: Ihr liegt nur ein einziges Experiment zugrunde, die Angaben zur Exposition sind unklar, es wurden Tiere unterschiedlichen Alters und Gewichts eingesetzt und ohne Angabe von Gründen ließen die Autoren viele Wochen zwischen Feldeinwirkung und Messung des Effekts verstreichen.

In einer Nachfolgestudie der Salford-Arbeitsgruppe (Eberhardt et al. 2008) wurden die geschilderten Wirkungen erneut beobachtet, allerdings mit einer inversen Dosis-Wirkungsbeziehung – die stärksten Effekte wurden bei den niedrigsten SAR-Werten gefunden.

Eine im Rahmen des DMF durchgeführte Drei-Generationen-Studie an Ratten konnte keine Beeinflussung der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke feststellen (vgl. Stohrer et al. 2007). Eine weitere Tierstudie, die sich auf die Feldexposition speziell der Kopffregion der Ratte konzentrierte, fand nur in

der höchsten, weit über dem Teilkörpergrenzwert liegenden Expositionsgruppe (GSM 1800, SAR 13 W/kg) einen Effekt (vgl. Lagroye et al. 2007).

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand gibt es keine ernstzunehmenden Hinweise auf eine Störung der Blut-Hirn-Schranke unter dem Einfluss der bei der Handynutzung üblichen Felder. Dies gilt besonders für die um mehrere Größenordnungen schwächeren Felder von Mobilfunkbasisstationen. Die SSK sieht hier keinen weiteren Forschungsbedarf (SSK 2011).

6.6

Blutbild

Gelegentlich werden Veränderungen in der Retikulozytenzahl oder die Geldrollenagglutination von Erythrozyten als im Mikroskop sichtbaren Beweis für die Schädlichkeit von Mobilfunkfeldern angeführt.

Zu beiden Punkten hat die Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ im Jahr 2006 in ihrer Mitteilung „Parameter des roten Blutbildes bei Exposition durch Mobilfunkanlagen“ Stellung bezogen. Sie weist darauf hin, dass die damals bekannt gewordene Untersuchung eines niedergelassenen Arztes (Germann 2004) zum Mobilfunkeinfluss auf die Retikulozytenreife in methodischer und statistischer Hinsicht nicht den üblichen wissenschaftlichen Standards entspricht. Die berichteten Blutwerte liegen im Normbereich, statistisch signifikante Unterschiede sind nicht erkennbar. Mehrere Zahlenangaben sind widersprüchlich. Die gezogenen Schlussfolgerungen sind aus den vorliegenden Daten nicht ableitbar.

Die „Geldrollenbildung“ (blood sludge) der Erythrozyten wiederum ist eine normale Eigenschaft des Blutes und dient zur Feinregulierung der Blutviskosität. Darüber hinaus tritt sie bei Schockzuständen (z. B. nach Verbrennungen) und bei unzureichender Flüssigkeitsaufnahme auf.

Im Übrigen ist die Bestimmung der Retikulozytenzahlen bzw. der Geldrollenbildung als biologischer Marker für eine Belastung mit Mobilfunkfeldern allein aufgrund der hohen intra- und interindividuellen Variabilität nicht sinnvoll (vgl. Lerchl 2004; Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ 2006).

So kommt auch die SSK in ihrer Stellungnahme zum Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm aus dem Jahr 2011 zu folgendem Fazit: „Effekte von Mobilfunkfeldern auf verschiedene Blutparameter (z. B. Reticulozyten, ‚Geldrolleneffekt‘), z. B. vor und nach der Errichtung einer Mobilfunk-Basisstation, sind spekulativ und basieren nicht auf einem validierten diagnostischen Ansatz.“

Auch die Weltgesundheitsorganisation gibt in ihrer aktuellen, derzeit noch als Entwurf vorliegenden EMF-Stellungnahme „Radio Frequency fields: Environmental Health Criteria Monograph“ (Stand: November WHO 2014a) einen Überblick über Studien zum Einfluss von Mobilfunkfeldern auf das hämatopoetische System (vgl. Chapter 10: Immune system and hematology). Danach konnten keine Studien identifiziert werden, die ein gesundheitliches Risiko unter üblichen Mobilfunk-Expositionsbedingungen nahelegen.

6.7

Mobilfunk und Kanzerogenese

Seit Langem wird der Frage nachgegangen, ob Mobilfunkfelder das Krebsgeschehen beeinflussen. Die Energie von HF-EMF reicht nicht aus, um die DNS direkt zu schädigen und auf diese Weise eine Tumorentstehung auszulösen. Die Forschung konzentriert sich daher auf die Frage, ob Mobilfunkfelder möglicherweise eine tumorfördernde Wirkung haben können. Neben In-vitro-Studien an Zellen (Lymphozyten, Hirnzellen, Labor-Zelllinien) wurde und wird dabei auch mit Tierversuchen und epidemiologischen Studien gearbeitet.

Tierversuche

Besonderes Aufsehen hatte Ende der 1990er Jahre die Arbeit des australischen Forschers Repacholi erregt (vgl. Repacholi et al. 1997). Er fand heraus, dass gentechnisch veränderte Mäuse nach Exposition gegenüber 900-Megahertz-Feldern vermehrt Lymphome entwickelten. Allerdings weist die Studie eine Reihe von Mängeln auf; daher wurden Wiederholungsstudien durchgeführt. Zwei Nachfolgestudien (vgl. Utteridge et al. 2002; Obereto et al. 2007) konnten Repacholis Ergebnisse nicht bestätigen.

Der Einfluss hochfrequenter Mobilfunkfelder auf die Tumorentstehung und -promotion bei Ratten und Mäusen war Gegenstand des europäischen Forschungsprojektes PERFORM-A, an dem Wissenschaftler aus Deutschland, Österreich, der Schweiz und Italien beteiligt waren. Die Ergebnisse wurden 2007 veröffentlicht. In drei Teilstudien (A1, A2 und A4) konnten die Wissenschaftler keine Nachweise für eine nachteilige Wirkung der elektromagnetischen Felder auf das Krebsrisiko finden. Im vierten Teilprojekt (A3) wurden marginale Effekte bei Ratten mit einem von den Forschern erzeugten Mammakarzinom beobachtet, die allerdings nicht als repräsentativ eingestuft werden können (vgl. ITEM 2007).

Epidemiologische Studien

Die bisher veröffentlichten epidemiologischen Studien befassen sich vornehmlich mit einem möglichen Zusammenhang zwischen Krebserkrankungen und der Handynutzung. Dagegen liegen nur wenige Untersuchungen zum Krebsgeschehen im Umfeld von Mobilfunkbasisstationen vor (s. u.). Der Grund hierfür ist die Feldexposition, die durch Handys deutlich höher ist als durch Basisstationen. Letztere werden zudem oft von anderen Feldquellen überlagert, beispielsweise von nahen Fernsehgeräten oder – im häuslichen Umfeld – durch DECT-Telefone.

Handynutzung und Hirntumoren

Die Frage, ob Krebserkrankungen im Kopfbereich durch Mobiltelefonate vermehrt auftreten könnten, ist angesichts der weltweiten Mobiltelefonnutzung von großer Relevanz.

Erste Ergebnisse epidemiologischer Studien zur Häufigkeit von Hirntumoren bei Handynutzern kamen aus den USA und Skandinavien (vgl. Hardell et al. 1999, 2002, 2003; Muscat et al. 2000, 2002; Inskip et al. 2001). In einzelnen Studien wurden Auffälligkeiten beobachtet. Teilweise konnten hierfür plausible Gründe (z. B. die Nutzung einer analogen Mobilfunktechnik mit hoher Sendeleistung in den 90er Jahren in Schweden) gefunden werden, teilweise waren die Ergebnisse nicht reproduzierbar.

Seit Mitte der 90er Jahre befasst sich die Weltgesundheitsorganisation WHO und die ihr zugehörige Internationale Krebsforschungsagentur IARC mit dieser Fragestellung. 13 Länder nahmen an einer 1998 und 1999 durchgeführten Machbarkeitsstudie teil, die später die Grundlage für die groß angelegte INTERPHONE-Studie bildete. Das Studiendesign und die Zahl der zu untersuchenden Fälle sollten es ermöglichen, eine ein- bis zweifache Risikoerhöhung für Gliome, Meningeome, Akustikusneurinome und weitere Tumorarten im Kopf- und Halsbereich sicher zu erkennen.

INTERPHONE-Studie

Die IARC hatte im Jahr 2000 im Auftrag der WHO eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie in 13 Ländern, die INTERPHONE-Studie, initiiert. Die an der INTERPHONE-Studie beteiligten Forscher konzentrierten ihre Untersuchungen auf Gliome (Tumoren des Stützgewebes im Hirn), Meningeome (Tumoren der Hirnhaut), Akustikusneurinome (Tumoren des Hörnervs) und Parotistumoren (Ohrspeicheldrüse). Als Fälle wurden Patienten in der Altersgruppe 30 bis 59 Jahre gewählt, bei denen zwischen 2000 und 2004 ein Gliom oder Meningeom diagnostiziert wurde. Alle Diagnosen wurden histologisch oder durch bildgebende Verfahren bestätigt. Insgesamt wurden 2.708 Patienten mit einem Gliom und 2.409 Patienten mit einem Meningeom sowie eine entsprechende Anzahl von Kontrollpersonen in die Studie einbezogen.

Die Erhebung erfolgte nach einem zuvor gemeinsam festgelegten Studienprotokoll. Im Rahmen der computergestützten Befragung wurden die Telefoniergewohnheiten und weitere Daten erfasst. Die (geschätzte) Telefonierdauer diente als Maß für die Exposition gegenüber den Mobilfunkfeldern. Ferner wurde gefragt, ob der Tumor auf der Kopfseite auftrat, auf der hauptsächlich telefoniert wurde. Die Gefahr von Erinnerungsverzerrungen kann an dieser Stelle nicht ausgeschlossen werden. Die Nutzung von Freisprecheinrichtungen wurde gesondert berücksichtigt.

Die Ergebnisse wurden von der IARC im Oktober 2011 veröffentlicht (vgl. IARC 2011). Insgesamt konnte für Nutzungszeiten von weniger als 10 Jahren keine Risikoerhöhung für Gliome oder Meningeome beobachtet werden. In der Untergruppe der Wenigtelefonierer wurde sogar ein statistisch signifikant erniedrigtes Risiko gefunden, das von den Studienautoren als

Zufallsbefund eingestuft wurde. In der Gruppe der Vieltelefonierer (mehr als 1.640 Stunden kumulative Telefonierdauer über 10 Jahre hinweg) liegen Hinweise auf ein möglicherweise erhöhtes Risiko für Hirngewebstumoren (Gliome) vor. In der zusammenfassenden Auswertung (IARC 2011a) wird ein möglicherweise erhöhtes Risiko für Hirngewebstumoren in der am stärksten exponierten Gruppe von den Autoren allerdings sehr kritisch beurteilt.

Im Mai 2011 hat die IARC hochfrequente elektromagnetische Felder als „möglicherweise krebserregend“ (Gruppe 2B) für den Menschen eingestuft (Details s. Kapitel 7). Die deutsche Strahlenschutzkommission kommt auch unter Berücksichtigung der von der IARC aufgeführten Studien zu einer anderen Bewertung. Nach ihrer Einschätzung deutet die derzeitige Datenlage nicht auf einen Zusammenhang zwischen Mobilfunkexposition und krebspromovierenden Wirkungen hin (SSK 2011).

Auch das Bundesamt für Strahlenschutz sieht durch die INTERPHONE-Studie kein erhöhtes Risiko für Hirntumoren oder Tumoren des Hörnervs durch Handynutzung bestätigt. Es sieht aufgrund der Ergebnisse der INTERPHONE-Studie keinen Grund, von seinen bisherigen Bewertungen möglicher gesundheitlicher Risiken des Mobilfunks und seinen Empfehlungen zur Vorsorge abzurücken. Allerdings stellte das BfS im Abschlussbericht zum Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm auch fest, dass die möglichen Auswirkungen einer intensiven und lang andauernden Handynutzung sowie die Wirkungen auf Kinder – die zum Einen besonders empfindlich sein können und zum Anderen wesentlich länger als die heutigen Erwachsenen Handys nutzen werden – noch nicht ausreichend erforscht sind und weitere Untersuchungen dringend erforderlich sind (vgl. Bundesamt für Strahlenschutz 2015a).

Auch SCENIHR (2015a) und die schwedische Strahlenschutzkommission (Swedish Radiation Safety Authority SSM, 2010) weisen auf noch fehlende Langzeitstudien zum Krebsrisiko insbesondere bei Kindern hin. Die WHO sieht ebenfalls Forschungsbedarf an prospektiven Kohortenstudien zur Kindergesundheit unter Einbeziehung des Endpunktes Krebs (WHO 2010, van Deventer et al. 2011).

7. Bewertungen internationaler Expertengremien

Die biologischen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF), wie sie beispielsweise von Rundfunk- und Mobilfunksendern ausgehen, sind seit Jahrzehnten Gegenstand der wissenschaftlichen Forschung. Eine umfassende Übersicht über die deutsche und internationale Forschung bietet das EMF-Portal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen). In dessen Literaturlistenbank sind bereits über 20.000 wissenschaftliche Arbeiten zu den Wirkungen elektromagnetischer Felder erfasst (www.emf-portal.de/). Davon befassen sich rund 6.000 Studien ausschließlich mit den Wirkungen von Mobilfunkfeldern.

Zahlreiche renommierte Gremien wie die Weltgesundheitsorganisation WHO, die Internationale Strahlenschutzkommission (ICNIRP), die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) und weitere nationale, mit dem Strahlenschutz befasste Expertengremien sichten und bewerten regelmäßig die vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse aus der Mobilfunkforschung. Angesichts der Vielzahl an Studien ist eine Auswahl nach bestimmten Kriterien zu treffen.

Auswahlkriterien für Studien

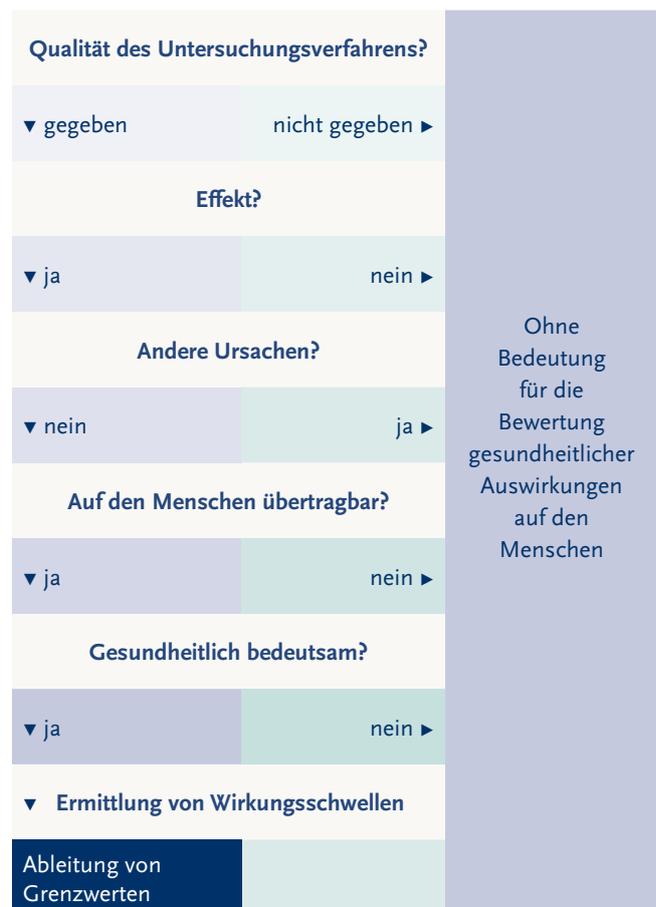
Ergebnisse, die in Zeitschriften mit einem Peer-Review-System veröffentlicht werden, werden stärker gewichtet als Veröffentlichungen in Zeitschriften, die ohne dieses Verfahren arbeiten. Ferner wird geprüft, ob Untersuchungsmethoden korrekt und adäquat zur Fragestellung eingesetzt wurden und ob eine gefundene Wirkung von unabhängigen Forschergruppen reproduziert werden konnte.

Schließlich stellt sich die Frage, ob eine beobachtete Wirkung für die Gesundheit von Bedeutung ist. Das Schema in der rechten Spalte (Abbildung 9) illustriert dieses Bewertungsverfahren, das nicht nur beim Mobilfunk, sondern unter anderem auch bei toxikologischen und umwelthygienischen Fragestellungen angewandt wird.

Weltgesundheitsorganisation WHO

Die WHO veröffentlicht seit vielen Jahren Monografien („Environmental Health Criteria monographs“) zur Risikobewertung bestimmter Umweltgrößen. Bisher wurden Monografien zu magnetischen Feldern (1987), statischen Feldern (2006), zu Niederfrequenzfeldern (2007) und Hochfrequenzfeldern (1993) herausgegeben. Das Update zu den Hochfrequenzfeldern liegt seit Herbst 2014 als Entwurf vor und wurde von der (Fach-) Öffentlichkeit kommentiert. Im Anschluss wird die finale Version erstellt (vgl. WHO 2014a).

Abbildung 9: Verfahrensablauf bei der Bewertung wissenschaftlicher Studienergebnisse zum Thema „Mobilfunk und Gesundheit“



Ferner hat die WHO im Oktober 2014 ihr „Factsheet 193“ („Electromagnetic fields and public health: mobile phones“) überarbeitet (WHO 2014b). Sie betont darin, dass die grundlegende Wechselwirkung von Hochfrequenzfeldern mit dem menschlichen Körper auf der Wärmewirkung beruhe. Die Energieabsorption erfolgt hauptsächlich in der Haut, die Temperaturerhöhung im Gehirn und anderen Organen ist bei Einhaltung der Grenzwerte vernachlässigbar gering. Zu Einflüssen dieser Felder auf das EEG, kognitive Funktionen, Schlaf, Puls und Blutdruck liegen nach ihrer Auffassung keine konsistenten Ergebnisse zu nachteiligen Effekten auf die Gesundheit vor, sofern die geltenden Grenzwerte eingehalten werden.

Darüber hinaus habe die bisherige Forschung keine Hinweise auf eine kausale Beziehung zwischen den HF-EMF und der (selbst berichteten) Elektrosensibilität erbracht. Langzeiteffekte, die im Zusammenhang mit Mobilfunk diskutiert werden, betreffen vorrangig das Krebsrisiko, insbesondere das Hirntumorrisiko beim mobilen Telefonieren. Weder die Ergebnisse aus Tierversuchen noch die Resultate der INTERPHONE-Studie deuten auf ein erhöhtes Risiko hin, von einer kleinen Untergruppe der Vieltelefonierer mit erhöhter Gliomhäufigkeit abgesehen – so die Einschätzung der WHO.

Gleichzeitig verweist die WHO auf die IARC, die im Jahr 2011 aufgrund der unklaren Ergebnisse bei Vieltelefonierern hochfrequente elektromagnetische Felder als „möglicherweise krebs-erregend“ (Gruppe 2B) eingestuft hat (Details s. unten).

Weiteren Forschungsbedarf im Zusammenhang mit HF-EMF sieht die WHO insbesondere auf den folgenden Gebieten (WHO 2010):

- Epidemiologie: Prospektive Kohortenstudie an Kindern und Erwachsenen zum Verhalten, zu Verhaltensstörungen, neurologischen Störungen und Krebs
- Epidemiologie: Monitoring der Hirntumorinzidenz, möglichst in Verbindung mit Daten zur Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern
- Probandenstudien: EMF-Provokationsstudien an Kindern verschiedenen Alters
- Probandenstudien: EMF-Provokationsstudien zur Identifizierung von neurobiologischen Mechanismen, die bei etwaigen EMF-Einflüssen auf die Gehirnfunktion, Schlaf und Ruhe-EEG eine Rolle spielen könnten
- Tierversuche: Einfluss pränataler und postnataler Hochfrequenzfelder auf Entwicklung und Verhalten
- Tierversuche: Einfluss der Hochfrequenzfelder auf das Altern und auf neurodegenerative Erkrankungen
- Zellversuche: nicht prioritär

Im Einklang mit diesem Forschungsbedarf haben bereits mehrere Studienvorhaben begonnen: Im Jahr 2010 starteten fünf europäische Länder die Langzeitstudie COSMOS (Cohort Study of Mobile Phone Use and Health). Mithilfe von bis zu 250.000 Handynutzern sollen über einen Untersuchungszeitraum von 20 bis 30 Jahren die Langzeitwirkungen von Mobiltelefonen auf die Gesundheit beleuchtet werden. Dabei werden Handynutzer in Europa auf verschiedene gesundheitliche Störungen und Krankheiten untersucht, unter anderem Hirntumoren, Schlafstörungen, Depressionen, Kopfschmerzen und Tinnitus (www.ukcosmos.org/).

Einem ähnlichen Ziel dient die 2009 gestartete MOBI-KIDS-Studie (Mobi-Kids Risk of Brain Cancer from Exposure to Radiofrequency in Childhood and Adolescence). Sie untersucht die Wirkung elektromagnetischer Felder auf Kinder und Jugendliche. Über einen Zeitraum von fünf Jahren werden bei dieser

Fall-Kontroll-Studie Fälle von Erkrankungen an einem Hirntumor bei jungen Menschen zwischen 10 und 24 Jahren gesammelt und die Handynutzung der Patienten mit der einer gesunden Kontrollgruppe verglichen. Auf diese Weise möchte man mögliche Zusammenhänge zwischen Art und Dauer der Handynutzung und dem Risiko, an einem Hirntumor zu erkranken, erkennen. Diese Studie ist weltweit die größte ihrer Art. Ergebnisse sollen voraussichtlich 2016 vorliegen (www.mbkd.net/).

Anfang 2014 wurde das **GERoNiMO-Projekt** (Generalized EMF research using novel methods) gestartet. Das Projekt ist auf fünf Jahre angelegt und wird von der Europäischen Union gefördert. Es verfolgt einen interdisziplinären Ansatz mit dem Ziel, das Wissen über mögliche Wirkungen elektromagnetischer Felder zu erweitern. Dazu sollen auch Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition durch elektromagnetische Felder erarbeitet werden. An dem Projekt arbeiten Wissenschaftler aus 19 Forschungseinrichtungen und 13 Ländern (www.crealradiation.com/index.php/geronimo-home).

Im Frühjahr 2014 wurde der Start der Studie SCAMP (Study of Cognition, Adolescents and Mobile Phones) bekanntgegeben. Britische Wissenschaftler am Londoner Imperial College wollen im Rahmen dieses Forschungsprojektes der Frage nachgehen, wie sich der Umgang mit Handys und drahtlosen Funktechnologien in der Kindheit auf die weitere kognitive Entwicklung auswirkt. Rund 3.000 Londoner Schüler sollen an dem dreijährigen Projekt teilnehmen. Die Kinder sollen in der Jahrgangsstufe 7 sowie zwei Jahre später, in Klasse 9, Fragen zu ihrer Nutzung mobiler Geräte und schnurloser Funktechnologien sowie zu ihrem Lebensstil und Wohlbefinden beantworten. Zusätzlich durchlaufen sie verschiedene Tests, die Aufschluss über ihre geistige Entwicklung sowie über Gedächtnisleistung und Konzentrationsfähigkeit geben sollen. Ziel der Studie ist herauszufinden, ob die kognitiven Fähigkeiten von Kindern durch die Nutzung von Funktechnologien beeinflusst werden (www.scampstudy.org/).

IARC (International Agency for Research on Cancer)

Die zur Weltgesundheitsorganisation gehörende Internationale Agentur für Krebsforschung IARC hat im Jahr 2011 hochfrequente elektromagnetische Felder hinsichtlich ihres krebserregenden Potenzials in die Gruppe 2B „möglicherweise krebserregend“ ihrer Klassifizierungsskala eingestuft.

In ihrer Bewertung kommt die IARC zu dem Schluss, dass es keinen Nachweis für ein erhöhtes Tumorrisiko durch HF-EMF gibt. Allerdings konnte die IARC nach Prüfung der vorhandenen Studien eine Verbindung zwischen Handynutzung und Krebsentwicklung nicht definitiv ausschließen. Aufgrund dieser Hypothese hat die IARC die Einstufung in die Gruppe 2B vorgenommen. Dies bedeutet nach Aussage des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), dass es begrenzte Hinweise, aber keinen Nachweis für eine krebserregende Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Menschen gibt.

Die IARC stellt in ihrer 2013 veröffentlichten Monografie fest, dass sich aus Studien zu Mobilfunkbasisstationen keine Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung hochfrequenter Felder ergeben haben. Die Einstufung in die Gruppe 2B bezieht sich auf die Handynutzung (vgl. IARC 2013). Grundlage für die Klassifizierung sind epidemiologische Beobachtungen; diese konnten durch experimentelle Befunde nicht gestützt werden. Weitere, derzeit noch laufende Langzeituntersuchungen werden dazu beitragen, noch offene Forschungsfragen zu klären.

SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks)

Das EU-Beratungsgremium SCENIHR (Wissenschaftlicher Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“) hat mehrfach zu möglichen Einflüssen elektromagnetischer Felder (Niederfrequenz und Hochfrequenz) auf die menschliche Gesundheit Stellung genommen. In ihrer aktuellen Stellungnahme vom März 2015 bestätigt SCENIHR erneut, dass auf Basis der aktuellen wissenschaftlichen Forschungsergebnisse keine gesundheitsschädigende Wirkung von EMF unterhalb der Grenzwerte ausgeht. Zwar finden sich einige Studien, die einen Zusammenhang vermuten, zwischen EMF und dem Risiko, an einem Akustikusneurinomen oder Gliom zu erkranken. Andere Studien bestätigen diesen Zusammenhang jedoch nicht. Dabei mahnt SCENIHR zur besonderen Vorsicht bei der Deutung eines vermeintlichen EMF-Zusammenhangs, denn „die Häufigkeit der entsprechenden Tumoren hat sich seit der Einführung der Mobiltelefone nicht erhöht.“

Strahlenschutzkommission (SSK)

Die Strahlenschutzkommission hat im Jahr 2011 eine Gesamtbewertung der Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF) veröffentlicht. Sie stellt darin fest: „Die Ergebnisse des DMF zeigen, dass die ursprünglichen Befürchtungen über gesundheitliche Risiken (des Mobilfunks, Anm. d. R.) nicht bestätigt werden konnten. Es haben sich durch die Forschungsergebnisse des DMF auch keine neuen Hinweise auf bisher noch nicht bedachte gesundheitliche Auswirkungen ergeben. In Übereinstimmung mit anderen internationalen Gremien (ICNIRP 2009, WHO 2011) kann festgestellt werden, dass die den bestehenden Grenzwerten zugrundeliegenden Schutzkonzepte nicht in Frage gestellt sind.“

Aus der Sicht des Strahlenschutzes ist festzustellen, dass auf Basis der durchgeführten Forschungsprojekte die Gesamtproblematik der biologisch-medizinischen Wirkungen der Felder des Mobilfunks nicht endgültig geklärt werden konnte (vgl. SSK 2011).

Die SSK fordert, künftige Forschung stärker auf hypothesengeleitete Ansätze auszurichten. Die Evidenz für eine potenzielle Kanzerogenität von Mobilfunkfeldern stuft die SSK als unzureichend ein und kommt damit zu einer anderen Bewertung als die IARC (2011b).

Zur Frage einer mobilfunkbedingten Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke sieht die SSK keinen weiteren Forschungsbedarf. Aus der Zusammenschau der Ergebnisse des DMF zur Elektrosensibilität und der internationalen Literatur zu diesem Thema gelangt sie zu der Erkenntnis, dass dieses Phänomen im Sinne eines Kausalzusammenhangs sehr wahrscheinlich nicht existiert (vgl. SSK 2011).

Mit Bezug auf inkonsistente Ergebnisse zu möglichen Mobilfunkeinflüssen auf die Gehirnaktivität empfiehlt die Strahlenschutzkommission weitere (multizentrische) Forschung, sowohl bei Kindern und Jugendlichen als auch bei älteren Menschen (bei letzteren, um der Frage nach etwaigen Mobilfunkwirkungen auf neurodegenerative Prozesse nachzugehen).

Nach Auffassung der SSK ist die Annahme einer höheren Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen gegenüber den Feldern des Mobilfunks wissenschaftlich nicht gerechtfertigt (vgl. Kapitel 9). Diese Feststellung schließt natürlich nicht aus, dass weitere Entwicklungen und neuere Erhebungen sehr sorgfältig verfolgt werden müssen. Offene dosimetrische Fragen in dieser Altersgruppe sollten geklärt werden.

8. Wechselwirkung mit Medizintechnik

Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder hoher Intensität haben das Potenzial, elektrische und elektronische Geräte in ihrer Funktion beeinflussen zu können. Diese Thematik wird als *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)* bezeichnet. In diesem Zusammenhang ist eine mögliche Wechselwirkung der Mobilfunktechnik – insbesondere von Mobiltelefonen – auf die Medizintechnik nicht auszuschließen. Hierunter fallen sowohl aktive Implantate (z. B. Herzschrittmacher, Defibrillatoren, implantierte Insulinpumpen oder Hörprothesen) als auch elektrische und elektronische Geräte im Krankenhausumfeld.

Grundsätzlich hat der Hersteller der Medizingeräte während der Neuentwicklung die möglichen EMV-Einflüsse und potenziellen Störwirkungen zu untersuchen. Beispielsweise definiert die Norm DIN EN 45502-2-1, wie die Störfestigkeit von Herzschrittmachern gegenüber Störspannungen zu bestimmen ist und welche Grenzwerte die Hersteller einhalten müssen. Trotzdem sollten sich die Träger aktiver Implantate der Möglichkeit einer Störbeeinflussung stets bewusst sein und beim Arzt oder Hersteller wegen der *Störfestigkeit* ihres Gerätes um Rat anfragen. Falls eine Beeinträchtigung nicht ausgeschlossen werden kann, empfiehlt es sich nach gegenwärtigem Kenntnisstand, einen Mindestabstand von 25 Zentimetern zwischen dem Implantat und dem eingeschalteten Mobiltelefon einzuhalten. Bei Einhaltung dieser Regeln können auch Träger von Herzschrittmachern und Implantaten mobil telefonieren.

Bezüglich der Nutzung von Mobiltelefonen in Krankenhäusern und Kliniken setzen einige Einrichtungen auf ein generelles Handyverbot, während andere nur in ausgewählten Bereichen die Nutzung verbieten. Da generelle Verbote bei Patienten und Besuchern, aber auch beim Personal nur schwer zu kontrollieren sind, erscheint eine wirkliche Risikominimierung durch eine solche Maßnahme schwierig. Hinzu kommt, dass zunehmend auch in Kliniken Funkanwendungen zur internen Kommunikation und Datenübertragung genutzt werden.

Zur Frage der Störbeeinflussung wurden in den letzten Jahren zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, die zeigten, dass das Störrisiko in der Realität minimal ist. Beispielsweise berichten Schubert et al. (2012), dass ab einem Abstand von 35 Zentimetern und mehr zwischen mit maximaler Leistung sendenden Mobiltelefonen und 40 untersuchten Medizingeräten aus den Kategorien Dialyse, Beatmung, Narkose, HF-Chirurgie, Patientenüberwachung, Infusionstechnik, Defibrillatoren, Blutanalyse und Radiologie keine relevanten Funktionsbeeinflussungen feststellbar waren. Ein generelles Verbot von Mobiltelefonen im Krankenhaus erscheint somit aus EMV-Gründen nicht erforderlich. Von den Autoren wird vielmehr ein Zonenkonzept mit ausgewiesenen Verbotsbereichen (z. B. Intensivstationen) für die Handynutzung durch die Allgemeinheit empfohlen.



Die Handynutzung in Krankenhäusern und Kliniken wird individuell geregelt.

9. Schutz empfindlicher Personengruppen

Die in der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV) verankerten Grenzwerte zum Schutz der Allgemeinbevölkerung liegen etwa 50-fach unterhalb der biologischen Wirkschwelle und berücksichtigen den aktuellen Kenntnisstand zu gesicherten Wirkungen der Mobilfunkfelder. Nach Ansicht der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICNIRP), der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) und des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) gewährleistet dieser Sicherheitsfaktor einen ausreichenden Schutz auch für Kinder, Schwangere, Ältere und weitere empfindliche Personengruppen.

Im Folgenden wird die Exposition durch Mobilfunkbasisstationen und durch Handys bzw. Smartphones differenziert aus ärztlicher Sicht betrachtet:

Mobilfunkbasisstationen

Die tatsächliche Feldexposition schöpft i. d. R. nur Bruchteile der geltenden Grenzwerte aus. Dass Kinder aufgrund ihrer Körpergröße (S. 13, Infokasten Resonanzerscheinungen) und des höheren Wassergehalts ihres Körpers das Feld etwas stärker absorbieren, spielt angesichts der erheblichen Grenzwertunterschreitung de facto keine Rolle. Auch Schwangere sind nicht stärker gefährdet als andere Personengruppen. Der bereits geschilderte Skineffekt (S. 13) schützt das Ungeborene vor Mobilfunkfeldern.



Die Grenzwerte beinhalten einen Sicherheitsfaktor von 50 und schützen auch empfindliche Personengruppen wie Kinder.

Mobile Endgeräte

Die Nutzung von Mobiltelefonen, Smartphones und Tablets hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Vor allem für Kinder und Jugendliche besitzen die neuesten Modelle angesagter Smartphones eine hohe Attraktivität und sind zum Lifestyle-Objekt geworden. Dazu haben auch Apps und soziale Netzwerke beigetragen.

Eltern und anderen für die Gesundheit von Kindern und Jugendlichen Verantwortlichen stellt sich die Frage, ob die bei der Nutzung von Endgeräten entstehenden elektromagnetischen Felder möglicherweise einen Einfluss auf die Gesundheit haben können. Dabei wird argumentiert, dass Kinder und Jugendliche im Laufe ihres Lebens erheblich länger den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) des Mobilfunks ausgesetzt seien als Erwachsene und nicht ausgeschlossen werden könne, dass der jugendliche Organismus empfindlicher als der des Erwachsenen reagiere. Einen guten Überblick zur aktuellen Diskussion gibt Leitgeb von der Technischen Universität Graz in seinem Beitrag „Macht Mobilfunk Kinder krank? Fakten, Spekulationen, Mythen“, der 2012 in der „Monatsschrift für Kinderheilkunde“ erschienen ist (vgl. Leitgeb 2012).

Tatsächlich sind bisher nur wenige speziell auf Kinder ausgerichtete Studien veröffentlicht worden. In Kapitel 7 wird auf derzeit laufende Studien hingewiesen (z. B. MOBI-KIDS, COSMOS, SCAMP).

Die Vermutung, dass Kinder und Jugendliche während eines Mobiltelefonats das Feld im Kopfbereich stärker absorbieren als Erwachsene, liegt zunächst nahe. Kinder haben eine andere Kopfform als Erwachsene, die Kopfhaut und die Schädelknochen sind dünner. Es gibt Unterschiede in den dielektrischen Eigenschaften des Hirngewebes. Zudem ist das Ohr als Distanzhalter zwischen Handy und Kopf dünner und elastischer (SSK 2007).

Diesen Fragen ist ein Schweizer Forscherteam der IT'IS Forschungsstiftung für Informationstechnologie im Rahmen des DMF auf den Grund gegangen (vgl. Christ et al., 2010a und 2010b). Ihre Simulationsstudien zur Feldabsorption im Kopf von Kindern und Erwachsenen haben Folgendes ergeben:

- Die Altersabhängigkeit der dielektrischen Gewebeeigenschaften wirkt sich nicht signifikant auf die maximale SAR pro Volumenelement aus.
- Ähnliches gilt für die geometrischen Eigenschaften des Kopfes.
- Die Ohrdicke hat zwar insgesamt einen großen Einfluss auf die maximale SAR, jedoch gibt es keine typischen Unterschiede in den Ohrdicken zwischen beiden Gruppen.

- Bei kleinen Kindern kann die Feldabsorption durch tiefer im Gehirn liegende Areale (z. B. Hippocampus, Hypothalamus) im Vergleich zu Erwachsenen doppelt so hoch sein. Beim Knochenmark ist der Unterschied noch wesentlich größer.
- Die thermische Belastung ist gering und liegt in beiden Gruppen bei etwa 0,05 Grad Celsius.
- Ob die festgestellten räumlichen Unterschiede in der Feldabsorption gesundheitliche Auswirkungen haben, ist offen.

Zusammenfassend kommt die SSK in ihrer Stellungnahme zum DMF aus dem Jahr 2011 zu folgender Bewertung: „Als Ergebnis epidemiologischer Studien haben sich Hinweise auf einen Zusammenhang von Gesundheitseffekten bei Kindern und Jugendlichen und Mobilfunkexposition deutlich abgeschwächt. Mehrgenerations-Tierstudien konnten keine Effekte durch Mobilfunkexposition aufzeigen. Die bislang durchgeführten Studien stützen nicht die Annahme einer postulierten erhöhten Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen [...]. Über die u. a. auf Basis der WHO-Empfehlungen (WHO 2010) initiierten Studien bezüglich Kindern und Jugendlichen hinaus sieht die SSK aktuell keinen weiteren Forschungsbedarf auf diesem Gebiet.“

Empfehlungen zur Nutzung von Mobiltelefonen und Smartphones

Zur Reduzierung der Exposition stehen sowohl technische Möglichkeiten (Auswahl des Mobiltelefons nach SAR-Wert, Verwendung von Headsets) als auch Verhaltenstipps zur Verfügung.

Es gibt zahlreiche Empfehlungen für den Umgang mit Mobilfunkgeräten (z. B. vom Bundesamt für Strahlenschutz, der Kinderärztlichen Beratungsstelle für Umweltmedizin oder der Wiener Ärztekammer), die u. a. die folgenden Ratschläge beinhalten:

- Auf gute Empfangsbedingungen achten.
- Nicht in stark abgeschirmten Räumen (Tiefgaragen, Aufzügen, Autos) telefonieren, da Handys und Smartphones die jeweilige Sendeleistung der Verbindungsqualität anpassen.
- Beim Handy- bzw. Smartphonekauf auf den SAR-Wert achten (vgl. die Listen des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Informationszentrums Mobilfunk).
- Sprechzeiten möglichst kurz halten und für längere Telefonate Freisprechanlagen oder Headsets nutzen.
- Die mobile Datenverbindung deaktivieren, wenn sie nicht benötigt wird.

Kinder und Jugendliche sollten Handys umso bedachtsamer nutzen, je jünger sie sind. Sinnvoll ist es, wenn Eltern und Kinder gemeinsam Regeln für die Handynutzung festlegen.



Durch die Verwendung von Headsets kann die Exposition durch Mobiltelefone reduziert werden.

Über die Exposition gegenüber HF-EMF hinaus sei an dieser Stelle auf weitere psychosoziale Aspekte der Handy- und Smartphonennutzung hingewiesen:

- Die mobile Erreichbarkeit verschafft Kindern und Eltern eine zumindest subjektiv empfundene, möglicherweise auch objektiv vorhandene größere Sicherheit.
- Smartphones können in Verbindung mit sozialen Netzwerken sowohl Integration als auch Ausgrenzung und Mobbing fördern.

10. Perspektiven für mobile Anwendungen im Gesundheitsbereich

Die Mobilfunktechnik eröffnet auch im Gesundheitsbereich neue Möglichkeiten. Mobile Gesundheitsanwendungen verbessern nicht nur die Sicherheit, sondern auch die Lebensqualität von chronisch oder schwer kranken Patienten. Gleichzeitig können sie die Effizienz im Gesundheitswesen steigern und helfen, Kosten zu senken.

Unter Telemedizin (E-Health) versteht man die Diagnostik, Prävention, Kontrolle oder Therapie im Gesundheitsbereich über räumliche Distanzen hinweg. Dies wird durch eine Kombination verschiedener, auf Informations- und Kommunikationstechnologie basierender Instrumente ermöglicht. Sie werden in der Arzt-Patienten-Kommunikation sowie in der medizinischen Versorgung eingesetzt.

Als technische Weiterentwicklung gelten M-Health-Anwendungen (Mobile Health), die telemedizinische Dienste auf Mobilgeräten wie Smartphones und Tablets bereitstellen. Diese Angebote umfassen Gesundheits-Apps und Fitnessprogramme und richten sich vor allem an Konsumenten.

Telemedizinische Anwendungen ermöglichen es, Gesundheitskontrollen bei Bedarf an sich selbst vorzunehmen. Infarktgefährdete Patienten können zum Beispiel per Mobilfunk ihre Herzrhythmuswerte rund um die Uhr überwachen lassen. Ein tragbares EKG-Gerät misst die Herzströme, die per Knopfdruck zum Handy gesendet und von dort an ein medizinisches Zentrum weitergeleitet werden. Der behandelnde Arzt kann

sie jederzeit abrufen, frühzeitig Warnsignale erkennen und bei Bedarf reagieren. Dieses Vorgehen wurde in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt „Gesundheitsregion der Zukunft Nordbrandenburg – Fontane“ (FKZ: 13KQ0904A, 13KQ0904B, 13KQ1104A) praktiziert und momentan in einer klinischen Studie evaluiert. Dies ist eine der größten Telemedizinstudien zur chronischen Herzinsuffizienz weltweit. In der Studie wird untersucht, welche Effekte eine Kombination aus ambulanter Versorgung und telemedizinischer Betreuung von Patienten mit Herzschwäche im ländlichen Raum Brandenburgs hat.

Durch telemedizinische Anwendungen ist eine medizinische Betreuung nicht mehr zwangsläufig an einen Klinikaufenthalt oder Arztbesuch gebunden. Vor allem für Menschen in ländlichen Regionen sind diese Dienste hilfreich, da lange Anfahrten und Wartezeiten in der Praxis entfallen. Ein weiterer Vorteil besteht in einem verbesserten Informationsaustausch zwischen Arztpraxen, Kliniken, Rehabilitationszentren und Patienten.

In Deutschland werden mobile Gesundheitsanwendungen bisher vor allem in Studien und Pilotprojekten untersucht; eine Eingliederung in die Regelversorgung steht noch aus. Die bisher angebotenen telemedizinischen Dienste sowie die durchgeführten Studien und Projekte zeigen jedoch, dass mobile Gesundheitsanwendungen eine zunehmend größere Rolle im Gesundheitswesen spielen und einen Beitrag zur medizinischen Versorgung der Bevölkerung leisten.



Die Potenziale mobiler Gesundheitsanwendungen werden in bundesweiten Studien und Pilotprojekten untersucht.

11. Risikowahrnehmung und -kommunikation

Die Einführung neuer Technologien wird seit jeher neben allen Chancen auch von Skepsis und Vorbehalten begleitet. Das gilt auch für den Mobilfunk: Seit dem flächendeckenden Ausbau der Mobilfunknetze wird öffentlich über mögliche Auswirkungen der Mobilfunkfelder auf die menschliche Gesundheit diskutiert. Auch nach über zwei Jahrzehnten bleibt diese Kontroverse aktuell, denn das potenzielle Gesundheitsrisiko der Mobilfunktechnologie wird von Vertretern der Öffentlichkeit, Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und anderer interessierter Kreise unterschiedlich bewertet.

Vor diesem Hintergrund ist es ratsam, sich mit der individuellen Wahrnehmung von Risiken und Gefährdungspotenzialen der verschiedenen Akteure genauer zu beschäftigen. Daraus lassen sich praktische Empfehlungen für eine sinnvolle Arzt-Patienten-Kommunikation ableiten.

11.1

Risikobewertung aus Sicht von Experten und Laien

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass die wissenschaftliche Risikoabschätzung deutlich von der intuitiven Risikobeurteilung durch Nicht-Experten abweicht. Zur Bewertung verwenden beide Gruppen unterschiedliche Risikokonzepte und greifen auf verschiedene Informationsquellen zurück. Auch in der kognitiven Verarbeitung von Informationen gibt es Differenzen (vgl. Slovic 1987 und 1993, Wiedemann & Schütz 1996, Wiedemann et al. 2001 und 2005, Fülgraff 1996, WHO 2002 und 2013, Bülligen et al. 2002).

Im Gegensatz zu Meinungen und „pseudowissenschaftlichen“ Erklärungsansätzen basiert die wissenschaftliche Einschätzung auf gültigen, beweisbaren und überprüfbaren Erkenntnissen. Laien hingegen kategorisieren Stoffe häufig intuitiv als „schädlich“ oder „unschädlich“, ohne dabei physikalische oder biologische Wirkungen zu beachten. Zum Beispiel bewerten sie natürliche elektromagnetische Felder (UV-Licht, Infrarotlicht) in der Regel als weniger schädlich als künstlich erzeugte (Strom, Mobilfunk, Mikrowelle).

Diese abweichende Risikoabschätzung liegt unter anderem darin begründet, dass Experten und Laien bei ihrer Risikobewertung unterschiedliche Ziele verfolgen. Während Fachleute danach streben, mögliche Gefahren objektiv zu bewerten, um sie klassifizieren zu können und Prioritäten in der Vorsorge zu bestimmen, machen Laien ihre Risikowahrnehmung in erster Linie von persönlichen Wertvorstellungen und Erfahrungen abhängig. So bewerten sie beispielsweise Risikopotenziale, die sie nicht selbst steuern können (Mobilfunkbasisstationen), höher als diejenigen, die sie als steuerbar einstufen (Handys).

Auch wird die öffentliche Bewertung von Gesundheitsrisiken in hohem Maße von den Medien beeinflusst: Je häufiger über vermutete Gesundheitsrisiken berichtet wird und je plastischer die verwendeten Bilder und Vergleiche sind, desto eher wird die Bedeutung des Themas – und damit auch die mögliche Gefahr – überschätzt. Witthöft und Rubin (2013) konnten in einer Studie nachweisen, dass Medienberichte über angeblich gefährliche Stoffe bei den Menschen Besorgnis auslösen und damit bereits bestehende Ängste verstärken können.



Laien schätzen die möglichen Gesundheitsrisiken von Basisstationen oft höher ein als die gesundheitlichen Auswirkungen von Handys.

Zur Beurteilung des Gefährdungspotenzials durch die Mobilfunktechnologie liegen umfangreiche gesicherte Erkenntnisse zur biologischen Wirkung elektromagnetischer Felder vor. Dennoch ist der Erkenntnisprozess aus wissenschaftlicher Sicht nie abgeschlossen. Die wissenschaftliche Risikobetrachtung geht davon aus, Gefahrenpotenziale nach dem „wissenschaftlich Denkbaren“ zu beurteilen. Es wird aus erkenntnistheoretischer Sicht daher immer offene Fragen bzw. ein gewisses Restrisiko geben. Ein Beweis für ein Nullrisiko ist wissenschaftlich nicht zu erbringen (vgl. Popper 1935). Diese Problematik ist für den Laien jedoch oft stark verunsichernd, da ein mögliches Restrisiko – sei es auch noch so gering – niemals mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

11.2

Arzt-Patienten-Gespräch

Ärzte sind erste Ansprechpartner in Gesundheitsfragen und nehmen in der Bevölkerung eine besondere Vertrauensstellung ein. Ihr sachliches Urteil ist gefragt, wenn Patienten Befindlichkeitsstörungen oder Krankheiten mit den elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Verbindung bringen.

Daher kommt ihnen eine besondere Rolle zu, wenn Patienten zum Beispiel durch Medienberichte oder Mobilfunkanlagen in ihrer Wohnumgebung beunruhigt sind. In solchen Situationen können Ärzte aufklären und auf gesichertes Wissen über mögliche Auswirkungen des Mobilfunks auf die Gesundheit verweisen.



Mediziner sind oft die ersten Ansprechpartner für Patienten, die ihre Beschwerden auf die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zurückführen.

Informationen über die Höhe elektromagnetischer Felder im Umfeld von Mobilfunksendeanlagen sind in der Standortdatenbank der Bundesnetzagentur abrufbar. Dort können sich alle Interessierten über Sendestandorte in ihrer unmittelbaren Umgebung informieren. Außerdem werden Orte erfasst, an denen durch Messungen überprüft wurde, welcher Exposition die Anwohner ausgesetzt sind. Die Standortdatenbank ist auf der Website der Bundesnetzagentur unter dem Link <http://emf3.bundesnetzagentur.de/> abrufbar.

Die Bundesregierung geht aufgrund der im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF) gewonnenen Erkenntnisse davon aus, dass die geltenden Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor Mobilfunkimmissionen ausrei-

chend sind. Die Regierung stützt sich dabei auf die Bewertungen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und der Strahlenschutzkommission (SSK).

11.3

Klinisch-umweltmedizinische Aspekte im Umgang mit Elektrosensibilität

Immer wieder bringen Patienten eine Reihe von Symptomen und Erkrankungen mit den elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in Verbindung. Nur bei maximal 15 Prozent der Patienten lässt sich jedoch eine relevante Exposition mit dem Verdacht auf umweltbezogene Beschwerden identifizieren. Somatisierungsstörungen findet man bei 40 bis 75 Prozent der Patienten; die beklagten körperlichen Beschwerden lassen sich nicht (hinreichend) durch eine organische Erkrankung erklären (vgl. Eikmann et al. 2013).

Die risikobezogene Beratung stellt für Mediziner eine besondere Herausforderung dar. Verhaltensempfehlungen und Ratschläge in Bezug auf die Strahlenbelastung durch Mobilfunk, die oft auch ohne weitere Untersuchungen gegeben werden können, sind in der umweltmedizinischen Beratung bedeutend. Es muss über die Möglichkeiten und Grenzen, die Angemessenheit und den Nutzen von Untersuchungen aufgeklärt werden.

Umweltmedizinischen Ambulanzen kommt bei der Beurteilung eines Falles besondere Bedeutung zu. Sie betreiben eine umfassende Vordiagnostik mit ambulanten Untersuchungen, Vorbefunden und Labordiagnostik. In interdisziplinären Fallkonferenzen vor und nach der klinischen Diagnostik entscheiden Experten verschiedener Fachrichtungen über die Diagnose, den Umweltbezug und die Empfehlung an den Patienten. In diesem Kontext ist es wichtig, dass der Mediziner auf den vermeintlichen Umweltbezug eingeht. Dadurch kann erreicht werden, dass Patienten unter Umständen selbst die Exposition und den Umweltbezug infrage stellen und weitere medizinische Beratungen einholen.

Die WHO stuft Elektrosensibilität nicht als ein medizinisches Krankheitsbild oder eigenständiges medizinisches Problem ein. Dennoch empfiehlt sie, die Beschwerden subjektiv elektrosensibler Patienten ernst zu nehmen und eine entsprechende medizinische Versorgung und Diagnostik vorzunehmen. Die Behandlung der Betroffenen sollte sich auf die Symptomatik und das klinische Bild konzentrieren mit dem Ziel, Strategien zur Situationsbewältigung zu entwickeln.

11.4

Nutzung von Mobiltelefonen

Gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse, die es rechtfertigen würden, besonders schutzbedürftigen Personengruppen von der Handynutzung abzuraten, liegen gegenwärtig nicht vor. Träger von Herzschrittmachern und anderen implantierten medizinischen Geräten sollten sich jedoch beim Arzt oder Hersteller über die Störfestigkeit ihres verwendeten Gerätes informieren und die entsprechenden Nutzungsempfehlungen berücksichtigen. Alle auf dem Markt erhältlichen Geräte müssen die geltenden Grenzwerte einhalten (s. Kapitel 8 „Wechselwirkung mit Medizintechnik“).

Die Langzeitwirkungen der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks werden derzeit in mehreren Studien untersucht (vgl. Kapitel 7 „Bewertungen internationaler Expertengremien“). Auf Basis der bisher vorliegenden Forschungsergebnisse erscheint es als sehr unwahrscheinlich, dass die Felder während der Handynutzung nachteilige Wirkungen auf die Gesundheit haben.

Die in Deutschland gesetzlich verankerten Mobilfunkgrenzwerte berücksichtigen den Vorsorgegedanken, denn sie liegen um das 50-fache unterhalb der biologischen Wirkungsschwelle. Nach Aussage zahlreicher anerkannter Expertengremien (z. B. ICNIRP 2011, SSK 2011) garantiert dieser Sicherheitsfaktor von 50 den Gesundheitsschutz für alle Personengruppen, d. h. auch für empfindliche Menschen wie Kranke, Kinder, Schwangere und Senioren (vgl. Kapitel 9 „Schutz empfindlicher Personengruppen“).

Vorsorglich haben die Wiener Ärztekammer, die deutschen Kinderärzte und das Bundesamt für Strahlenschutz Empfehlungen zu einer maßvollen und bedachtsamen Handynutzung ausgesprochen (vgl. Kapitel 9).

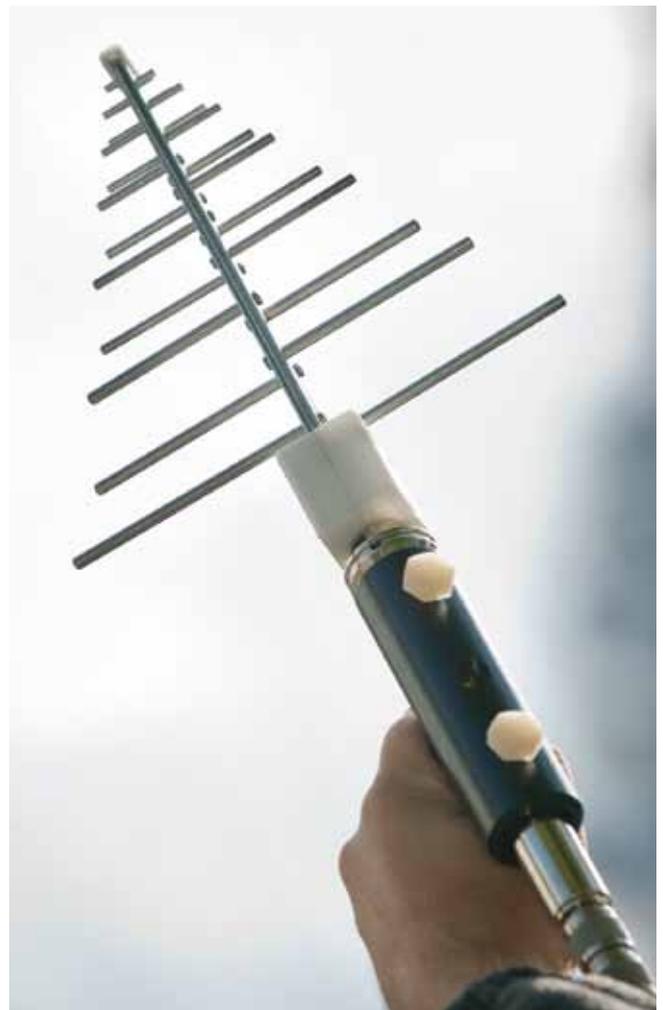
11.5

Baubiologie

Gelegentlich werden Ärzten von Ratsuchenden sogenannte baubiologische Gutachten vorgelegt, in denen die Feldbelastung durch Mobilfunkbasisstationen sowie Schnurlos- und Mobiltelefone untersucht und dokumentiert wird. Da die Berufsbezeichnung „Baubiologe“ keiner staatlichen Kontrolle unterliegt und beliebig verwendet werden kann, ist es schwierig, die Seriosität und Qualität eines baubiologischen Gutachters zu bewerten. Insbesondere kann oftmals nur vom Fachmann beurteilt werden, ob die technisch anspruchsvollen Messungen sachgerecht und mit der hierfür geeigneten, in der Regel mehrere Zehntausend Euro teuren Messtechnik vorgenommen wurden.

Neben einigen Instituten, die durchaus professionelle Hochfrequenzexpositionsmessungen durchführen, gibt es auch eine Vielzahl von Baubiologen, deren messtechnische Ausrüstung nicht den Anforderungen an eine seriöse Immissionsbestimmung entspricht. Vorsicht ist immer dann geboten, wenn ein oder mehrere der folgenden Punkte zutreffen:

- Es werden einfache Breitband-Messgeräte aus dem Elektronikmarkt („Elektromog-Tester“) anstatt teurer Spektrumanalysatoren verwendet.
- Die Geräte werden nicht korrekt bedient.
- Angaben zur Kalibrierung der Instrumente fehlen.
- Die Messwerte werden ausschließlich als Leistungsflussdichtewerte in der Einheit Mikrowatt pro Quadratmeter ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) aufgelistet.
- Die Messungen werden nicht auf eine maximale Anlagenauslastung der Mobilfunkbasisstationen hochgerechnet, vielmehr wird eine mehr oder auch weniger korrekte Summation aller gemessenen Hochfrequenzsignale vorgenommen.



Die Aussagekraft von Mobilfunkmessungen hängt vom Messgerät und von der Einrichtung ab, die die Messung durchführt.

Auch wenn derartige Hochfrequenzexpositionsmessungen möglicherweise fachlich korrekt durchgeführt wurden, unterscheidet sich die Bewertung der festgestellten Immissionen bei Baubiologen im Regelfall sehr deutlich von der Einschätzung der für Deutschland zuständigen Fachexperten (z. B. Bundesamt für Strahlenschutz, SSK). Einige Baubiologen fordern schärfere Grenz- oder Richtwerte, die um einige Zehnerpotenzen niedriger ausfallen als die für Deutschland in der 26. BImSchV gesetzlich festgelegten Grenzwerte. In ihren Gutachten kommen sie zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Es wird eine Grenzwertüberschreitung (der baubiologischen Vorgaben) postuliert.
- Die Immissionsituation wird als bedrohlich hoch und gesundheitsgefährdend dargestellt.
- Es werden teure Abschirmmaßnahmen als dringend notwendig empfohlen.
- Es werden andere als die in Deutschland gesetzlich festgelegten Grenzwerte der 26. BImSchV verwendet.
- Die deutschen Grenzwerte werden als zu hoch bezeichnet und infrage gestellt.
- Es werden Studien angeführt, die eine angebliche Gesundheitsschädlichkeit des Mobilfunks „beweisen“.

Sicherheit hinsichtlich der fachlichen Eignung können z. B. von staatlicher Seite akkreditierte oder zertifizierte Prüfinstitute geben. Durch diese Art der staatlichen Qualitätskontrolle und -überwachung wird bestätigt, dass sowohl die notwendige messtechnische Ausstattung als auch die fachliche Kompetenz des Prüfinstituts vorhanden ist. Hierunter fallen beispielsweise Akkreditierungen durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS), öffentlich bestellte und vereidigte Gutachter der Industrie- und Handelskammer (IHK) oder auf Länderebene zertifizierte Messstellen (z. B. zum FEE-2-Programm in Bayern). Auch die Umweltämter einiger Bundesländer bieten seriöse Hochfrequenzimmissionsmessungen an. Hinweise zur Eignung von Sachverständigen finden sich auch in der SSK-Empfehlung „Anforderungen an Sachverständige für die Bestimmung der Exposition gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern“ (SSK 2003).

Oft werden in den Gutachten teure Abschirmmaßnahmen wie z. B. Abschirmmatten für das Schlafzimmer bzw. Schutzvorrichtungen für das Mobiltelefon empfohlen. Das Bundesamt für Strahlenschutz sieht darin jedoch keinen Nutzen: „Wegen der zweifelhaften Wirksamkeit solcher Abschirmmatten sind diese aus Sicht des Bundesamts für Strahlenschutz weder zum Schutz vor Gesundheitsschäden noch als Vorsorgemaßnahme zur Verminderung von Expositionen zu empfehlen“ (Bundesamt für Strahlenschutz 2015b).

Literaturverzeichnis

Bundesamt für Umwelt BAFU (2012): Elektrosensibilität. Online verfügbar unter <http://www.bafu.admin.ch/elektromog/01095/12030/index.html?lang=de>. Letzter Zugriff am 29.05.2015.

Bornkessel, C.; Schubert, M.; Wuschek, M. (2013): Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunk-techniken. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Ressortforschungsbericht zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz; BfS-Resfor-79/13. Online verfügbar unter www.nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013041610546. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Bornkessel, C.; Schubert, M. (2013): Elektromagnetische Felder in NRW. Untersuchung der Immissionen durch Mobilfunk-Basisstationen. Feldmessungen im Umfeld von LTE-Mobilfunksendeanlagen; Studie im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW. Online verfügbar unter www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe47/fabe47.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Büllingen F. et al. (2002): Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt (EMVU) in der öffentlichen Diskussion – Situationsanalyse, Erarbeitung und Bewertung von Strategien unter Berücksichtigung der UMTS-Technologien im Dialog mit dem Bürger. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). WIK Consult, Bad Honnef.

Bundesamt für Strahlenschutz (2006): Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) – Bewertung. Online verfügbar unter www.emf-forschungsprogramm.de/int_forschung/wirk_mensch_tier/stellungnahmen. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Bundesamt für Strahlenschutz (2008): Gehirn und Kognition. Online verfügbar unter www.emf-forschungsprogramm.de/int_forschung/wirk_mensch_tier/stellungnahmen. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Bundesamt für Strahlenschutz (2015a): INTERPHONE-Studie findet kein erhöhtes Tumorrisiko durch Handynutzung – BfS rät weiterhin zur Vorsorge. Online verfügbar unter www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/mehr-infos/stellungnahmen/interphone.html. Letzter Zugriff am 16.06.2015.

Bundesamt für Strahlenschutz (2015b): Stellungnahme zu „Abschirmmatten gegen Elektromog“. Online verfügbar unter www.bfs.de/DE/themen/emf/mehr-infos/abschirmmatten.html, letzter Zugriff am 15.06.2015.

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: EMF-Datenbank. Online verfügbar unter emf3.bundesnetzagentur.de/karte. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Christ, A.; Gosselin, M.C.; Christopoulou, M.; Kühn, S.; Kuster, N. (2010a): Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. In: *Phys Med Biol.* 7:55(7), S. 1767-1783. doi: 10.1088/0031-9155/55/7/001.

Christ, A.; Gosselin, M.C.; Kühn, S.; Kuster, N. (2010b): Impact of pinna compression on the RF absorption in the heads of adult and juvenile cell phone users. In: *Bioelectromagnetics.* 2010 Jul;31(5), S. 406-412. doi: 10.1002/bem.20575.

Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) (2008):

a) Abschlussbericht. Online verfügbar unter

www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase/DMF_Internet_Abschlussbericht_deutsch.pdf

Letzter Zugriff am 11.12.2014.

b) Mobilfunk und Kinder. Online verfügbar unter

www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase/abschlusskonferenz.html/DMF_FinalConference_June2008_Weiss.pdf

Letzter Zugriff am 11.12.2014.

c) Überblick über die Forschungsvorhaben. Online verfügbar unter

www.emf-forschungsprogramm.de/forschung und www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2011/2011_10.pdf?__blob=publicationFile, (S. 51 – 53). Letzter Zugriff am 11.12.2014.

- B1 Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie
- B5 Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen
- B9 In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation
- B19 Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
- B20 Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen
- E8 Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen
- E9 Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern

Drießen, Sarah et al. (2012): Die Studienlage zum Phänomen der Elektrosensibilität im Mobilfunk-Bereich. In: EMF Spectrum 1/2012. Online verfügbar unter www.wik-emf.org/fileadmin/EMF-Spectrum/Einzelartikel_2012_1/EMF-Portal-Ueberblick-Elektrosensibilitaet-WIK-EMF-Spectrum-1-2012-lowres.pdf. Letzter Zugriff am 15.06.2015.

Eberhardt, J. L.; Persson, B. R.; Brun, A. E.; Salford, L. G.; Malmgren, L. O. (2008): Blood-brain barrier permeability and nerve cell damage in rat brain 14 and 28 days after exposure to microwaves from GSM mobile phones. In: Electromagn. Biol. Med. 27(3), S. 215-229.

Eikmann, Thomas et al. (2013): Mobilfunk aus Sicht von Arzt und Patient. Zertifizierte Fortbildung für Mediziner. Online verfügbar unter www.izmf.de/de/cme-online. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz) (1999/519/EG), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 199/59, 30.07.1999.

European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure EFHRAN (2010): Risk analysis of human exposure to electromagnetic fields. Online verfügbar unter http://efhran.polimi.it/docs/EFHRAN_D2_final.pdf. Letzter Zugriff am 29.05.2015.

Förderprogramm für Mobilfunkmessungen und Prognoseberechnungen in Bayern (FEE-2) (2009). Online verfügbar unter www.lfu.bayern.de/strahlung/emf_messung_bewertung/fee2/index.htm. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Fritze, K. et al. (1997): Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. In: Acta Neuropathol 94 (5), S. 465-470.

Fülgraff, G. (1996): Von Äpfeln und Birnen. In: Politische Ökologie 47, S. 37-42.

Germann, P. (2004): Einfluss der Mobilfunkbelastung auf die Retikulocytenreifung: Vorläufige Bewertung anhand von 1.000 Analysen. Online verfügbar unter www.buergerwelle.de/pdf/einfluss_mobilfunk_auf_retikulocyten_julio4.doc. Letzter Zugriff am 15.06.2015.

Glaser, R. (2000): Darstellung und Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks in Relation zu bestehenden Empfehlungen und Normen. Humboldt-Universität Berlin, Institut für Biologie. Abrufbar unter www.emf-risiko.de/projekte/pro_emf/pdf/glaser.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Hardell, L. et al. (1999): Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control-study. In: Int. J. Oncol. 15, S. 113-116.

Hardell, L.; Mild, K. H.; Carlberg, M. (2002): Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. In: Int. J. Radiat. Biol. 78 (10), S. 931-936.

Hardell, L.; Mild, K. H.; Carlberg, M. (2003): Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. In: Int. J. Oncol. 22 (2), S. 399-407.

IARC (2011):

- a) IARC Report to The Union For International Cancer Control (UICC) on the Interphone Study. Online verfügbar unter http://interphone.iarc.fr/UICC_Report_Final_03102011.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- b) IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans. Online verfügbar unter www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

IARC (2013): Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 102. Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. Online verfügbar unter monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol102/index.php. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP (1998): ICNIRP Guidelines, Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics, Vol. 74 No. 4, S. 494-522.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP (2011): Mobile Phones, Brain Tumours and the Interphone Study: Where are we now? In: Environmental Health Perspectives 119(11), S. 1534-1538.

Inskip, P. D. et al. (2001): Cellular-telephone use and brain tumours. N. Engl. J. Med. 344, S. 79-86.

Informationszentrum Mobilfunk e. V. (Hrsg.) (2012): Sicherheit durch Transparenz – LTE auf dem Prüfstand. Bundesweite Mobilfunk-Messreihe im Auftrag des Informationszentrums Mobilfunk e. V. (IZMF), erstellt vom Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST GmbH). Online verfügbar unter www.izmf.de/de/content/sicherheit-durch-transparenz-%E2%80%93-lte-auf-dem-pr%C3%BCfstand-2012. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Informationszentrum Mobilfunk e. V. (Hrsg.) (2012): Video „Experten im Gespräch – Dr. Christian Bornkessel, IMST GmbH: SAR-Werte“. Online abrufbar unter: www.youtube.com/watch?v=D-TkEGgoONM. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Fraunhofer-Institut Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM) (2007): Jahresbericht 2007. Online verfügbar unter www.item.fraunhofer.de/content/dam/item/de/neuedokumente/Jahresberichte/JB_item2007.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ (2005): Melatonin in der umweltmedizinischen Diagnostik im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern. In: Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 48, S. 1406 – 1408.

Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ (2006): Parameter des roten Blutbildes bei Exposition durch Mobilfunkanlagen. In: Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 49, S. 833 – 835.

Lagroye, I. et al. (2007): Effects of head-only exposure to GSM-1800 or UMTS on the blood-brain barrier in vivo. Online verfügbar unter www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase/1_2_Lagroye.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Leitgeb, N. (2007): Schlafstudie EPROS: Elektromog und Schlafstörungen. Online verfügbar unter www.handywellen.de/pdf/epros-pressehandout-206.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Leitgeb, N. (2012): Macht Mobilfunk Kinder krank? In: Monatsschrift Kinderheilkunde 2012 (160), S. 461–467. DOI 10.1007/s00112-011-2573, Springer-Verlag.

Lerchl, A. (2004): Blutuntersuchungen in der EMF-Forschung – Dichtung und Wahrheit. Online verfügbar unter <http://fgf.de/publikationen/newsletter2003.html>.

Lerchl, A. (2007): Macht Mobilfunk krank? Daten, Fakten, Hintergründe. Verlag: Zuckschwerdt 2007, ISBN-13: 9783886039197

Lerchl, A. et al. (2008): Effects of mobile phone electromagnetic fields at nonthermal SAR values on melatonin and body weight of Djungarian hamsters (*Phodopus sungorus*). In: J. Pineal. Res., 22 (4), S. 177-83.

Mann, K.; Röschke, J. (1996): Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. Neuropsychobiology 33 (1), S. 41-47.

Mann, K. et al. (1998): Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. In: Neuroendocrinology 67 (2), S. 139-144.

Muscat, J. E. et al. (2000): Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. In: JAMA 284, S. 3001-3007.

- Muscat J. E. et al. (2002): Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 58 (8): 1304-1306
- Oberto et al. (2007): Carcinogenicity study of 217 Hz pulsed 900 MHz electromagnetic fields in Pim1 transgenic mice. In: *Radiat. Res.* 168 (3), S. 316-326.
- Popper, Karl (1935): *Logik der Forschung*. Mohr Siebeck.
- Radon K. et al. (2001): No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. In: *Bioelectromagnetics* 22 (4), S. 280-287.
- Repacholi, M.H. et al. (1997): Lymphomas in Ep-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. In: *Radiat. Res.* 147, S. 631-640.
- Salford, L. G.; Brun, A.; Eberhardt, J.; Persson, B. R. (1993): Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, 200 Hz. In: *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 30, S. 293-301.
- Salford, L. G.; Brun, A.; Stuesson, K.; Eberhardt, J.; Persson, B. R. (1994): Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz Electromagnetic Radiation, Continuous Wave and Modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. In: *Microscopy Research and Technique* 27, S. 535-542.
- Salford, L. et al. (2003): Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones. In: *Environmental Health Perspectives*; 1-17 [http://dx.doi.org/ \(doi: 10.1289/ehp.6039\)](http://dx.doi.org/doi:10.1289/ehp.6039).
- SCENIHR (2007): Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_0_007.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- SCENIHR (2015a): Final opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_0_041.pdf. Letzter Zugriff am 12.03.2015.
- SCENIHR (2015b): Gefährdet die Exposition durch elektromagnetische Felder die Gesundheit? Neues SCENIHR-Gutachten untersucht die neuesten Daten zu gesundheitlichen Wirkungen neuer Technologien. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/docs/citizens_emf_de.pdf. Letzter Zugriff am 12.03.2015.
- Schubert, M. et al. (2012): Mögliche Interferenzen von Medizingeräten und Mobilfunksignalen im realen Klinikumfeld. In: *EMV 2012 Int. Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, Düsseldorf, Konferenzband*, S. 643-649.
- Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV): *Bundesgesetzblatt* (2013), I S. 3266, www.gesetze-im-internet.de/bimsv_26/. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Silny, J. (2000): Gesundheitliche Auswirkungen der Mikrowellen von Mobilfunkanlagen im D-Netz. In: *FZ für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit RWTH Aachen*. Online verfügbar unter www.emf-risiko.de/projekte/pro_emf/pdf/silny.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Silny, J. et al. (2004): Gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks und anderer neuer Kommunikationssysteme. In: *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 2004, 9 (2), S. 127-136.
- Slovic, P. (1987): Perception of Risk. *Science* 236, S. 280-285.
- Slovic, P. (1993): Perceived Risk, Trust, and democracy. In: *Risk Analysis* 13: 675-681
- Stohrer, M. et al. (2007): Integrity of the Blood Brain Barrier and number of CA1 Neurons after chronic GSM and UMTS radiation. Online verfügbar unter www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase/1_3_Stohrer.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Strahlenschutzkommission (SSK) (2003): Anforderungen an Sachverständige für die Bestimmung der Exposition gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 188. Sitzung der SSK am 02./03.12.2003, veröffentlicht im BAnz Nr. 83 vom 04.05.2004.
- Strahlenschutzkommission SSK (2006): Mobilfunk und Kinder. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung. Verabschiedet in der 213. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 05./06. Dezember 2006. Online verfügbar unter http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2006/Mobilfunk_Kinder.pdf?__blob=publicationFile. Letzter Zugriff am 15.06.2015.

- Strahlenschutzkommission (SSK) (2007): Mobilfunk und Kinder. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung. Online verfügbar unter www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2006/Mobilfunk_Kinder.html. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Strahlenschutzkommission (SSK) (2008): Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Online verfügbar unter www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2008/Mobilfunk_Forschungsprogramm.html. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Strahlenschutzkommission (SSK) (2011): Biologische Auswirkungen des Mobilfunks – Gesamtschau. Online verfügbar unter www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2011/Mobilfunk_Gesamtschau.html. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Swedish Radiation Safety Authority SSM (2010): Research 2009:36. Recent Research on EMF and Health Risks. Sixth Annual Report from SSM:s independent Expert Group on Electromagnetic Fields 2009. Online verfügbar unter www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2009/SSM-Rapport-2009-36.pdf. Letzter Zugriff am 15.06.2015.
- Tsurita, G. et al. (2000): Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. In: *Bioelectromagnetics* 21 (5), S. 364-371.
- Utteridge, T. D. et al. (2002): Long-term exposure of Ep-Pim1 transgenic mice to 898,4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. In: *Radiat. Res.* 158, S. 357-364.
- van Deventer, Emilie et al. (2011): WHO research agenda for radiofrequency fields. In: *Bioelectromagnetics* 32 (5), S. 417-421.
- Weltgesundheitsorganisation WHO (2002): Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields. Online verfügbar unter www.who.int/peh-emf/publications/en/EMF_Risk_ALL.pdf. Letzter Zugriff am 15.06.2015.
- Weltgesundheitsorganisation WHO (2005): Fact sheet 296: Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit – Elektromagnetische Hypersensitivität (Elektrosensibilität). Online verfügbar unter http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/ehs_fs_296_german.pdf. Letzter Zugriff am 15.06.2015.
- Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2010): WHO research agenda for radiofrequency fields. Online verfügbar unter http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599948_eng.pdf?ua=1. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Weltgesundheitsorganisation WHO (2013): Health and environment: communicating the risks. Online verfügbar unter www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/233759/e96930.pdf. Letzter Zugriff am 15.06.2015.
- Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2014a): Radio Frequency fields: Environmental Health Criteria Monograph. Online verfügbar unter www.who.int/peh-emf/research/rf_ehc_page/en/. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2014b): Electromagnetic fields and public health: mobile phones. Fact sheet 193. Online verfügbar unter www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Wiedemann, P. M.; Schütz, H. (1996): Ich sehe was, was Du nicht siehst. In: *Politische Ökologie* 47, S. 40-41.
- Wiedemann P. M.; Mertens, J.; Schütz, H.; Hennings, W.; Kallfass M. (2001): Risikopotenziale elektromagnetischer Felder: Bewertungsansätze und Vorsorgeoptionen (Bd. 1). Endbericht für das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik. Jülich 2001. www.emf-risiko.de/pdf/hefte/heft_81.pdf. Letzter Zugriff am 11.12.2014.
- Wiedemann, P. et al. (2005): Information und Beteiligung bei der Standortfindung von Mobilfunkanlagen: was bringt was? Eine experimentelle Untersuchung. Arbeiten zur Risikokommunikation 92, Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik (MUT), Jülich.
- Witthöft, Michael; Rubin, James (2013): Are media warnings about the adverse health effects of modern life self-fulfilling? An experimental study on idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF). In: *Journal of Psychosomatic Research* 2013 (74), S. 206-212.
- Wunstorf, B.; Boikat, U.; Lichtenberg, W. (2000): Melatonin - Schlüssel für die Bewertung der Wirkung elektrischer und magnetischer Felder? *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 43, S. 715-721. Online verfügbar unter <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fsoo1030050341>. Letzter Zugriff am 11.12.2014.

Glossar

Athermische Effekte

Unter athermischen Effekten versteht man hypothetische biologische Wirkungen sehr schwacher hochfrequenter elektromagnetischer Felder, die nicht mit einem Wärmeeffekt verbunden sind, aber möglicherweise eine körperliche Reaktion hervorrufen oder unterstützen können.

BfS (Bundesamt für Strahlenschutz)

Das Bundesamt für Strahlenschutz ist eine Behörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Im Zusammenhang mit der Bewertung des Mobilfunks erfüllt das BfS drei wichtige Aufgaben: die Beratung der Bundesregierung, die Information der Öffentlichkeit und die Initiierung von Forschung.

Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV)

Die 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – 26. BImSchV) beinhaltet Regelungen zum Schutz und zur Vorsorge vor möglichen Gesundheitsrisiken durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder. Sie ist 1997 als eine der ersten gesetzlich verankerten Regelungen der Grenzwerte für elektromagnetische Felder in Kraft getreten und wurde im August 2013 novelliert. Die seit 1997 im Bereich Mobilfunk geltenden Grenzwerte wurden in der erneuerten Verordnung nicht verändert.

Bundesnetzagentur (BNetzA)

Die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) ist eine selbstständige Behörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Für den Bereich Mobilfunk ist die BNetzA neben vielen anderen Regulierungsaufgaben auch für die Genehmigung des Betriebs von ortsfesten Sendeanlagen mit einer Sendeleistung von mehr als 10 Watt verantwortlich. Auf Basis der „Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV)“ erteilt sie eine sogenannte Standortbescheinigung. Erst wenn diese vorliegt, darf eine Mobilfunksendeanlage in Betrieb genommen werden. Regelmäßige Kontrollmessungen der BNetzA auf Grundlage der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV) garantieren die Einhaltung der vorgeschriebenen Personenschutzwerte.

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)

Standard für die digitale schnurlose Telekommunikation im Festnetzbereich. Dieser Standard nutzt hoch entwickelte digitale Funktechniken, die aufgrund ihrer niedrigen Funkstörungsseignenschaft eine leistungsfähige Kommunikation ermöglichen.

Exposition

Ausmaß, in dem eine Person der Einwirkung von Umweltfaktoren, z. B. elektromagnetischen Feldern, ausgesetzt ist.

EMVU (elektromagnetische Verträglichkeit mit der Umwelt)

Unter der elektromagnetischen Verträglichkeit mit der Umwelt (EMVU) versteht man die Verträglichkeit elektromagnetischer Felder mit allen in der Umwelt vorkommenden Lebewesen (Makro- und Mikroorganismen, Menschen, Tieren und Pflanzen). Dabei sind sowohl thermische als auch athermische Einwirkungen von elektromagnetischen Feldern auf biologische Systeme von Bedeutung.

Grenzwerte

In Deutschland orientieren sich die Grenzwerte an den 1998 verabschiedeten Richtlinien der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (ICNIRP). Sie liegen etwa 50-fach unter den Wirkungsschwellen für schädliche thermische Effekte. Die Aktualität dieser Empfehlungen erfolgt auf Basis regelmäßiger Sichtung und Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes durch nationale und internationale Expertengremien. Die Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen sind in Deutschland in einer entsprechenden Verordnung innerhalb des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) verankert. Für Europa hat der Rat der Europäischen Union im Juli 1999 eine Empfehlung (1999/519/EG) zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 bis 300 Gigahertz) ausgesprochen. Auch sie basiert auf den Empfehlung der ICNIRP.

GSM (Global System for Mobile Communications)

GSM (Global System for Mobile Communications) ist ein Standard für volldigitale Mobilfunknetze, der hauptsächlich für Telefonie und SMS (Short Message Service) sowie in begrenztem Ausmaß auch zur Datenübertragung genutzt wird. Als Nachfolger der analogen Systeme der ersten Mobilfunkgeneration (in Deutschland: A-, B- und C-Netz) markierte GSM den Wechsel zur digitalen zweiten Mobilfunkgeneration (2G).

HSPA

High Speed Packet Access (HSPA) ist eine Erweiterung des Mobilfunkstandards UMTS, die höhere Datenübertragungsraten ermöglicht. Es wird zwischen HSDPA zur Erhöhung der Datenübertragungsrate des Downlinks und HSUPA für den Uplink unterschieden.

IARC (International Agency for Research on Cancer)

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) gehört zur Weltgesundheitsorganisation (WHO). Diese Einrichtung koordiniert und betreibt Forschung zu den Ursachen und der Genese von Krebs und entwickelt wissenschaftliche Strategien zur Krebsbekämpfung. Die IARC ist an epidemiologischer Forschung und Laborversuchen beteiligt und verbreitet wissenschaftliche Informationen durch Veröffentlichungen, Tagungen, Kurse und Forschungsstipendien. Zu den wichtigsten Publikationen der IARC zählen die Monografien über Krebsrisiken und die Einstufung des krebserregenden Potenzials bestimmter Stoffe in eine von insgesamt fünf Kategorien (von „krebserregend für den Menschen“ bis „wahrscheinlich nicht krebserregend für den Menschen“).

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)

Die ICNIRP wurde im Jahr 1992 von der IRPA (International Radiation Protection Association) als unabhängige internationale Kommission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung gegründet. Ihre Arbeit wird von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Europäischen Union (EU) anerkannt. Die Hauptaufgaben der ICNIRP bestehen in der kontinuierlichen Analyse und gesundheitlichen Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes auf allen Gebieten, die für den Strahlenschutz relevant sind. Dabei werden auch mögliche Effekte der Immissionen des Mobilfunks berücksichtigt. Diese Analysen, verbunden mit Empfehlungen, werden regelmäßig veröffentlicht. Ziel ist eine weltweite Harmonisierung der Verfahren und Vorgehensweisen zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung.

Ionisierende Strahlung

Zur ionisierenden Strahlung zählen sowohl elektromagnetische Strahlen wie Röntgen- und Gammastrahlung als auch Teilchenstrahlung, z. B. Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung. Ionisierende Strahlung ist dadurch charakterisiert, dass sie genügend Energie besitzt, um Elektronen aus Atomen und Molekülen zu entfernen (Ionisation). Durchdringt sie eine Zelle oder einen Organismus, gibt die ionisierende Strahlung Energie ab. Ist diese hoch genug, kann es zur Schädigung der Zellbestandteile bzw. Moleküle kommen. Umgangssprachlich wird die ionisierende Strahlung häufig auch als radioaktive Strahlung bezeichnet.

LTE (Long Term Evolution)

Die LTE-Technologie (Long Term Evolution) ist eine Weiterentwicklung des UMTS-Standards der 3. Mobilfunkgeneration (3G). LTE bietet deutlich höhere Übertragungsgeschwindigkeiten (ca. 100 Mbit/s) als UMTS. Der LTE-Standard wird der vierten Mobilfunkgeneration (4G) zugeordnet. Zur Nutzung und zum Ausbau der neuen Technologie wurden von der Bundesnetzagentur Frequenzen in den Bereichen 800 Megahertz, 1.800 Megahertz, 2.000 Megahertz und 2.600 Megahertz vergeben.

LTE Advanced

LTE Advanced, kurz LTE-A, ist eine Erweiterung von LTE. Mit LTE Advanced soll eine Übertragungsrate von bis zu 1 Gbit/s erreicht werden. Diese Übertragungsrate ist erforderlich, weil sich der Bedarf an schnellen Übertragungsraten und mehr Bandbreite in den Mobilfunknetzen jedes Jahr in etwa verdreifacht. Parallel wird bereits an der Entwicklung der nächsten Mobilfunkgeneration (5G) gearbeitet.

Nicht ionisierende Strahlung

Nicht ionisierende Strahlung ist elektromagnetische Strahlung, die nicht genügend Energie aufweist, um Elektronen aus der äußeren Schale von Atomen oder Molekülen zu entfernen. Die Energie nicht ionisierender Strahlung ist also zu gering, um chemische Bindungen beeinflussen zu können. Zur nicht ionisierenden Strahlung werden elektromagnetische Felder im Frequenzbereich unter etwa 750 Terahertz (THz) oder einer Wellenlänge oberhalb von etwa 400 Nanometern (nm) gezählt. Darunter fallen niederfrequente Felder (z. B. technischer Wechselstrom), hochfrequente Felder (z. B. Rundfunk und Mobilfunk) sowie die Infrarotstrahlung, das sichtbare Licht und die UV-Strahlung im Frequenzbereich bis 400 nm. UV-Strahlung mit Wellenlängen kürzer als 400 nm zählen hingegen zur ionisierenden Strahlung.

SAR-Wert von Handys

Die Spezifische Absorptionsrate (SAR) ist das Maß für die vom Gewebe in einem bestimmten Zeitraum absorbierte Energie elektromagnetischer Felder, welche zu dessen Erwärmung führt. Um gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter Felder auszuschließen, darf die Spezifische Absorptionsrate eines Handys nicht mehr als 2 Watt pro Kilogramm Körpergewebe betragen. Dieser Höchstwert wird von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (ICNIRP) seit 1998 empfohlen. Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) und die EU-Kommission schlossen sich dieser Empfehlung 1998 bzw. 1999 an. Anschließend wurden durch europäische Fachgremien Normen erarbeitet, um die Einhaltung dieses Grenzwertes zu überprüfen. Alle im Handel befindlichen Handys unterschreiten den von der ICNIRP empfohlenen maximalen SAR-Wert von 2 Watt pro Kilogramm.

SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks)

Der Wissenschaftliche Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ der Europäischen Kommission (SCENIHR) erstellt wissenschaftliche Gutachten zu den Themen Verbrauchersicherheit, öffentliche Gesundheit und Umwelt. Der Ausschuss wurde 2004 von der Europäischen Kommission gegründet, um neu auftretende Risiken neuartiger Technologien zu identifizieren. Die Mitglieder des SCENIHR werden gemäß ihrer Kenntnisse und Erfahrungen auf den jeweiligen Fachgebieten ausgewählt. Zu den potenziellen Risiken, mit denen sich der Ausschuss befasst, zählen u. a. Nanotechnik, Lärm und elektromagnetische Felder.

Strahlenschutzkommission (SSK)

Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) ist ein unabhängiges Beratungsgremium des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Sie berät das Ministerium in allen Angelegenheiten des Schutzes vor ionisierenden und nicht ionisierenden Strahlen. Zu den nicht ionisierenden Strahlen zählen auch die Funkwellen, die der Mobilfunk nutzt.

Thermische Effekte

Hochfrequente elektromagnetische Felder, die auch der Mobilfunk nutzt, werden vom Körpergewebe absorbiert und bei ausreichender Stärke in Wärme umgewandelt. Diesen Effekt bezeichnet man als thermische Wirkung.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Das Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ist ein Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G), mit dem deutlich höhere Datenübertragungsraten als mit dem GSM-Standard der zweiten Generation (2G) möglich sind. UMTS sendet im Hochfrequenzbereich mit Frequenzen zwischen 1.920 bis 1.980 Megahertz und zwischen 2.110 und 2.170 Megahertz.

Weltgesundheitsorganisation (WHO)

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen mit Sitz in Genf. Sie zählt 194 Mitgliedsstaaten und ist die Koordinationsbehörde der Vereinten Nationen für das internationale öffentliche Gesundheitswesen. Im Jahr 1996 hat die WHO erstmals ein Projekt zur Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen elektrischer und magnetischer Felder (EMF-Projekt) ins Leben gerufen und ein internationales Wissenschaftsnetzwerk aufgebaut. Ziel ist es, noch genauere Abschätzungen der Wirkungen einer Exposition durch EMF im Frequenzbereich von 0 bis 300 Gigahertz zu ermöglichen. In Deutschland sind das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und die das Bundesumweltministerium beratende Strahlenschutzkommission (SSK) an dem Projekt beteiligt. Zur Förderung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Krebsforschung hat die WHO die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) gegründet.

Wichtige Adressen

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Presse- und Informationsstab
Stresemannstraße 128-130
10117 Berlin
Telefon: +49 30 1 83 05 20 10
Telefax: +49 30 1 83 05 20 16
E-Mail: presse@bmub.bund.de
www.bmub.bund.de

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

Pressestelle
Postfach 8001
53105 Bonn
Telefon: +49 228 14 99 21
Telefax: +49 228 14 89 75
E-Mail: pressestelle@bnetza.de
www.bundesnetzagentur.de

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Pressestelle
Postfach 100149
38201 Salzgitter
Telefon: +49 30 1 83 33 11 30
Telefax: +49 30 1 83 33 18 55
E-Mail: presse@bfs.de
www.bfs.de

Strahlenschutzkommission (SSK)

Geschäftsstelle der SSK beim Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 120629
53048 Bonn
Telefax: +49 228 67 64 59
E-Mail: info-ssk@bfs.de
www.ssk.de

Internationale Kommission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (ICNIRP)

ICNIRP-Sekretariat
c/o Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
Telefon: +49 89 3 16 03 21 56
Telefax: +49 89 3 16 03 21 55
E-Mail: info@icnirp.org
www.icnirp.org

Weltgesundheitsorganisation (WHO)

The International EMF Project
WHO-Sekretariat
Avenue Appia 20
1211 Genf 27
Schweiz
Telefon: +41 22 7 91 21 11
Telefax: +41 22 7 91 31 11
E-Mail: emfproject@who.int
www.who.int/peh-emf

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit an der RWTH

Aachen (FEMU)
Pauwelsstraße 30
52074 Aachen
Telefon: +49 241 8 08 88 81, +49 241 8 03 59 01
Telefax: +49 241 8 08 25 87
E-Mail: arbeitsmedizin@ukaachen.de
www.arbeitsmedizin.ukaachen.de/femu
www.emf-portal.de

Informationszentrum Mobilfunk e. V. (IZMF)

Hegelplatz 1
10117 Berlin
Telefon: +49 30 20 91 69 80
Telefax: +49 30 2 09 16 98 11
E-Mail: info@izmf.de
www.izmf.de

Kinderumwelt gemeinnützige GmbH

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Telefon: +49 541 9 77 89 00
Telefax: +49 541 9 77 89 05
E-Mail: info@uminfo.de
www.kinderumwelt.de
www.allum.de

Technische Universität Ilmenau (TU Ilmenau)

Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik
Helmholtzplatz 2
98693 Ilmenau
Tel.: +49 3677 69 28 31
Fax: +49 3677 69 15 86
E-Mail: hmt@tu-ilmenau.de
www.tu-ilmenau.de/it_hmt/

Die Autoren

Dr.-Ing. Christian Bornkessel

Technische Universität Ilmenau (TU Ilmenau) Fachgebiet Hochfrequenz- & Mikrowellentechnik

Christian Bornkessel erhielt 1990 seinen Grad zum Diplom-Ingenieur von der Technischen Universität Ilmenau und 1993 den Doktorgrad von der Universität Karlsruhe. Von 1995 bis 2014 war Dr. Bornkessel bei der IMST GmbH Kamp-Lintfort beschäftigt, wo er seit 2010 die Abteilung „Prüfzentrum“ leitete. Seit 2014 ist er bei der TU Ilmenau im Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik beschäftigt. Schwerpunkte seiner Tätigkeit sind die Elektromagnetische Verträglichkeit sowie die Umweltverträglichkeit hoch- und niederfrequenter Anlagen und Geräte mit einem Fokus auf dosimetrischen Fragestellungen.

Dr. Bornkessel ist Mitglied der deutschen Strahlenschutzkommission sowie im Fachausschuss „Antennen“ der Informationstechnischen Gesellschaft im VDE (ITG).

Prof. Dr. med. Karl Ernst von Mühlendahl

Kinderumwelt gemeinnützige GmbH

Karl Ernst von Mühlendahl ist Professor für Kinder- und Jugendmedizin, Toxikologie und Umweltmediziner. Von 1979 bis 2001 führte Prof. von Mühlendahl das Kinderhospital in Osnabrück und ist seit 1991 ärztlicher Leiter der gemeinnützigen Kinderumwelt GmbH. Er ist Autor des Standardwerks „Vergiftungen im Kindesalter“ und Mitherausgeber der Zeitschrift „Umweltmedizin in Forschung und Praxis“. Der Schlichtungsstelle der Ärztekammer Niedersachsen steht er als Sachverständiger zur Verfügung. Zudem ist Prof. von Mühlendahl Mitglied mehrerer Fachkommissionen. Viele Jahre lang war er Sprecher der (damaligen) Kommission für Umweltfragen der Deutschen Akademie für Kinder- und Jugendmedizin e. V. (DAKJ).

Dr. rer. nat. Matthias Otto

Kinderumwelt gemeinnützige GmbH

Matthias Otto promovierte 1976 nach dem Studium der Chemie und Biochemie am Institut für Physiologische und Biologische Chemie (HUB Berlin). Nach mehreren Jahren wissenschaftlicher Forschung und einer selbstständigen Tätigkeit auf dem Gebiet der Umweltanalytik ist Dr. Otto seit 1991 für die gemeinnützige Kinderumwelt GmbH in Osnabrück tätig. Hier bildet die umweltmedizinische Beratung zu aktuellen Umweltthemen und die Pflege öffentlicher und fachöffentlicher Webangebote zum Thema „Umwelt und Gesundheit“ (www.allum.de, www.uminform.de) den Schwerpunkt seiner Aufgaben.

Dr. Otto ist Mitglied der Kommission „Umweltmedizin“ beim Robert Koch-Institut und hat im Jahr 2005 in der Arbeitsgruppe „Mobilfunk und Kinder“ des Ausschusses „Nichtionisierende Strahlen“ der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) mitgearbeitet.

Impressum

Herausgeber

Informationszentrum Mobilfunk e. V. (IZMF)

Hegelplatz 1

10117 Berlin

Telefon: +49 30 20 91 69 80

Telefax: +49 30 2 09 16 98 11

Gebührenfreie Hotline: +49 800 3 30 31 33

E-Mail: info@izmf.de

www.izmf.de

Stand

Juni 2015

Bildnachweise

IZMF: S. 15, 29, 31

Thinkstock: S. 1, 4, 9, 25, 26, 27, 28, 30

O₂: S. 8

Abbildungen und Tabellen

IZMF: S. 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 22

IMST GmbH: S. 12

Gestaltung

Anja Teßmann, Art Direction & Design Studio

Lektorat

Beate Fischer, mediumText

Druck

Druckerei Reiner Brandt e. K.