

Mobilfunk & Gesundheit - Eine Übersicht

B.Sc. Benjamin Zaiser
Hochschule der Medien
Nobelstr. 10, 70569 Stuttgart
E-Mail: bz003@hdm-stuttgart.de

Abstract

Mobile communication associated with electromagnetic radiation provides flexibility, a piece of freedom and luxury. The topic is often discussed in public and study results may have been misinterpreted by lay-journalists and so fear is injected into the population. In this article, an overview about highfrequent electromagnetic fields and their impact on human body is provided. Starting with characteristics of electromagnetic fields with their legal limit values. Following by radiation values of current technologies and biological effects. Finally the question, whether electromagnetic fields have adverse health effects is resolved.

1 Kurzfassung

Mobilfunk und die damit verbundene elektromagnetische Strahlung bietet uns heutzutage Flexibilität, ein Stück Freiheit und Luxus. Die Thematik Mobilfunk und Gesundheit steht immer wieder in der Öffentlichkeit und Studienergebnisse werden von Laien oftmals fehlinterpretiert, was zu Verunsicherungen und Ängsten in der Bevölkerung führt. Dieses Paper soll eine wissenschaftlich fundierte Übersicht zum Thema hochfrequente elektromagnetische Felder (EM-Felder) und deren Auswirkungen auf den menschlichen Körper bieten. Angefangen bei den Eigenschaften von EM-Feldern mit den gesetzlichen Grenzwerten über Strahlungswerte einzelner Technologien hin zu den biologischen Auswirkungen. Außerdem wird die Frage geklärt, ob hochfrequente elektromagnetische Strahlung einen gesundheitsschädlichen Einfluss auf den menschlichen Körper hat.

2 Einleitung

2.1 Motivation

Hochfrequente elektromagnetische Felder umgeben uns mittlerweile fast überall. Zum Beispiel vom DECT Telefon zum schnurlosen Telefonieren, vom Mikrowellenofen

und von Radio- und Fernsehübertragungen. Unterwegs im Café steht ein WLAN Access-Point oder WiMAX für den drahtlosen Internetzugang bereit und mittels DVB-T kann man das digitale Fernsehen genießen. Zu guter Letzt, der fast omnipräsente Mobilfunk mit den im gesamten Land verteilten Basisstationen, das GSM Netz, das neue UMTS Netz und die ganzen Mobiltelefone. Aber auch das Headset, das mit Bluetooth kommuniziert, emittiert elektromagnetische Strahlung. Wie man sieht, verwendet der Großteil der Technologien in der heutigen Informationsgesellschaft hochfrequente elektromagnetische Strahlung zur Datenübertragung. Diese Systeme bieten uns viel Luxus - aber haben sie vielleicht auch eine Schattenseite? Wie wirkt sich diese hochfrequente elektromagnetische Strahlung auf den menschlichen Körper aus? Hat sie womöglich eine gesundheitsschädigende Wirkung? Mit dieser Frage beschäftigt sich dieses Paper. Es soll unter Bezug auf aktuelle Meta-Studien eine objektive Übersicht des Themas Mobilfunk und Gesundheit bieten.

2.2 Aufbau des Dokuments

Zunächst werden kurz die physikalischen Grundlagen elektromagnetischer Felder erläutert und das Frequenzspektrum analysiert. Danach werden die gesetzlich festgelegten Grenzwerte anhand des Frequenzspektrums aufgeführt und die Eigenschaften von EM-Feldern des jeweiligen Spektrums beschrieben. Im Kapitel „Strahlungswerte im Vergleich“ werden die Strahlungsintensitäten der oben beschriebenen Technologien aufgelistet. Danach werden die diversen biologischen Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern basierend auf Meta-Studien beschrieben. Zu jedem Punkt wird dabei erläutert, warum diese Auswirkung schädlich sein könnte und die Ergebnisse von diversen Studien zusammengefasst. So soll ein möglichst umfassendes Bild der aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse auf diesem Gebiet vermittelt. Abschließend folgt eine Zusammenfassung und persönliche Stellungnahme.

3 Physikalischen Grundlagen

3.1 Elektromagnetische Felder

Elektromagnetische Felder/Wellen Ein elektromagnetisches Feld breitet sich in Isolatoren, Leitern oder im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit aus und besteht aus einem elektrischen und einem magnetischen Feld.

Elektrische Felder Ein elektrisches Feld entsteht, wenn zwischen getrennten Ladungsträgern eine Potentialdifferenz vorhanden ist. Die Stärke eines elektrischen Feldes wird mithilfe der elektrischen Feldstärke $[V/m]$ gemessen. Elektrische Felder können leicht durch geerdete elektrisch leitfähige Materialien abgeschirmt werden. Sich zeitlich ändernde elektrische Felder (Wechselfelder) erzeugen in elektrisch leitfähigem Material Wechselströme, die dann magnetische Felder erzeugen.

Magnetische Felder Ein magnetisches Feld entsteht, sobald sich elektrische Ladungsträger bewegen. Die Stärke eines magnetischen Feldes wird mithilfe der magnetischen Flussdichte $[Tesla]$ gemessen. Die magnetische Flussdichte oder auch Leistungsflussdichte wird verwendet, um die Leistung einer senkrecht auf eine Fläche eintreffenden Strahlung zu quantifizieren (17). Eine Abschirmung ist nur schwer möglich. Magnetische Wechselfelder induzieren in elektrisch leitfähigem Material elektrische Felder.

Bei niedrigen Frequenzen sind elektrische und magnetische Felder voneinander unabhängig. Bei hohen Frequenzen (30kHz - 300GHz) treten Wechselwirkungen zwischen den zwei Feldern auf und man spricht dann von elektromagnetischen Feldern. Diese können sich von der erzeugenden Quelle lösen und sich im Raum ausbreiten.

Elektromagnetische Felder werden durch die Frequenz $[Hz]$, die Intensität (Leistungsdichte $[W/m^2]$) und die Polarisation (Schwingungsrichtung des elektrischen Feldanteils) beschrieben.

Hochfrequente elektromagnetische Felder sind leicht durch elektrisch leitfähige Materialien abschirmbar. Hochfrequente EM-Felder erzeugen in elektrisch leitfähigem Material, durch die erzeugten elektrischen Ströme, Wärme. („Thermischer Effekt“: Absorption von Strahlung durch die Wassermoleküle im Gewebe - siehe Mikrowellenkochgerät)

Spektrum

| | |
|-------------------|--|
| 0 Hz | statische Felder (z.B. Erdmagnetfeld) |
| >0 Hz - 30 kHz | Niederfrequenzbereich (z.B. Eisenbahn: $16\frac{2}{3}Hz$, Stromnetz: 50Hz) |
| 30 kHz - 300 GHz | Hochfrequenzbereich (z.B. Radio zwischen 148,5kHz und 108MHz, TV zwischen 47 MHz und 862MHz, Mobilfunk zwischen 935MHz und 2170MHz, WLAN zwischen 2,4GHz und 5GHz) |
| 300 GHz - 7,8 THz | (z.B. Infrarot / sichtbares Licht) |
| > 7,8 THz | ionisierende Strahlung (z.B. UV-, Röntgen-, Gammastrahlen) |

Abbildung 1: Frequenzspektrum

(11)

Eigenschaften Alle elektromagnetischen Felder bis 7,8 THz werden als nicht-ionisierende Strahlung bezeichnet. Alles was darüber ist, gehört zur ionisierenden Strahlung. Diese Strahlung ist durch eine hohe elementare Energie in der Lage, Elektronen aus Atomen oder Molekülen zu extrahieren und zu ionisieren. Dadurch kann eine hohe Schädigung von z.B. Körpergewebe entstehen. Die elektrische und magnetische Feldstärke nimmt um den Faktor $\frac{1}{r}$ mit der Entfernung ab. Die Leistungsflussdichte nimmt um den Faktor $\frac{1}{r^2}$ mit der Entfernung ab (5).

3.2 Grenzwerte

Definition der Grenzwerte Die ICNIRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection) wurde 1992 gegründet und ist von der WHO (Weltgesundheitsorganisation) und der EU anerkannt. Diese Organisation hat die Aufgabe, kontinuierlich aktuelle Befunde aus der Wissenschaft zu analysieren und hinsichtlich gesundheitsrelevanter Aspekte zu bewerten. Bei der Festlegung der Grenzwerte wurden zunächst alle wissenschaftlich publizierten Studien auf ihre Glaubwürdigkeit hin untersucht. Aufgrund der Resultate der glaubwürdigen Studien wurden gesichert geltende Effekte definiert. Auf Basis dieser Effekte wurden dann die Grenzwerte festgelegt.

Grenzwerte zwischen 1Hz und 10MHz Bei elektromagnetischen Feldern mit einer Frequenz unter 1MHz werden

elektrische Ströme und Felder im Körpergewebe induziert. Als Messgröße wird die Stromdichte [A/m^2] verwendet. Ab einer Stromdichte von $100mA/m^2$ kann die Normalfunktion des Körpers beeinträchtigt werden. Die Erregbarkeit des zentralen Nervensystem ändert sich und weitere Effekte wie z.B. visuelle Effekte treten auf¹ (10) (25).

| Frequenz | Berufliche Exposition [mA/m^2] | Allgemeinheit [mA/m^2] |
|--------------|------------------------------------|----------------------------|
| bis 1Hz | 40 | 8 |
| 1 - 4Hz | $\frac{40}{f}$ | $\frac{8}{f}$ |
| 4Hz - 1kHz | 10 | 2 |
| 1kHz - 10MHz | $\frac{f}{100}$ | $\frac{f}{500}$ |

Abbildung 2: Grenzwerte zwischen 1Hz und 10MHz

Grenzwerte zwischen 100kHz und 10GHz Bei elektromagnetischen Feldern mit einer Frequenz zwischen 100kHz und 10GHz dringen die Felder in exponiertes Gewebe ein und verursachen eine Erwärmung durch Energieabsorption. Dabei muss der *Skin-Effekt* beachtet werden: bei hochfrequenten Feldern werden die Feldlinien ähnlich einem Faradayschen Käfig an die Körperoberfläche gedrängt. (Bsp: bei einem Feld mit $f=915MHz$, beträgt bei einer Eintrittstiefe von 2,1cm die Feldstärke noch die Hälfte. Bei doppelter Eintrittstiefe (4,2cm) beträgt die Feldstärke nur noch ein Viertel (9))

Außerdem muss der *Resonanzeffekt* beachtet werden. Sobald die Körpergröße ca. $\frac{\lambda}{2}$ entspricht, kann der Körper in Resonanz mit dem elektromagnetischen Feld geraten und dieses verstärken. (Bsp: Feld mit $f=915MHz$, $\frac{\lambda=32,8}{2} = 16,4cm$ Körpergröße.) Aufgrund des Resonanzeffekts dürfen Studien, die an Tieren vollzogen wurden, nicht ungehindert auf den Menschen übertragen werden! Außerdem sind Studien an Erwachsenen nicht unbedingt auf Kinder übertragbar. Die unterschiedlichen Körpergrößen können auf unterschiedliche Weise mit den elektromagnetischen Feldern in Wechselwirkung treten. Dadurch könnten Kinder möglicherweise einem höheren Risiko ausgesetzt sein.

Als physikalische Größe für die Absorption von elektromagnetischen Wellen in biologischem Gewebe wurde die spezifische Absorptionsrate (SAR-Wert) [W/kg] wie folgt definiert:

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E_i^2 = c_i \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

¹Magnetophosphene: (magnetischen Wechselfeldern $>2mT$) Lichtblitze oder farbige Flächen auch bei geschlossenen Augen. Vermutlich aufgrund induzierter elektrischer Ströme in der Retina.

- E_i Effektivwert elektrischen Feldstärke im Gewebe [V/m]
- ρ Gewebedichte [kg/m^3]
- σ Elektrische Leitfähigkeit des Gewebes [S/m]
- c_i spezifische Wärmekapazität des Gewebes [$J/(kgK)$]
- T Temperaturanstieg im Erwärmungszeitintervall t [K]
- t Erwärmungszeitintervall [s]

Je kleiner der SAR-Wert, desto schwächer wird das Gewebe erwärmt. Die Messbedingungen werden in EN 50361 definiert (8).

Wird ein Mensch einem elektromagnetischem Feld von $4W/kg$ über 30min hinweg ausgesetzt, erhöht sich die Körpertemperatur um bis $1^\circ C$. Gesicherte akute biologisch und gesundheitlich bedenkliche Effekte treten erst ab einer Erhöhung der Körpertemperatur von $1^\circ C$ auf. Ein SAR Wert von $4W/kg$ wird somit als Wirkschwelle angesehen. Daraus leitet die ICNIRP Basisgrenzwerte ab:

| Frequenz | Ganzkörper SAR | | Teilkörper SAR (Kopf/Rumpf) | | Teilkörper SAR (Extremitäten) | |
|------------------|----------------|-------|-----------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| | berufl. | Allg. | berufl. | Allg. | berufl. | Allg. |
| 100 kHz - 10 GHz | 0,4 | 0,08 | 10 | 2 | 20 | 4 |

Abbildung 3: SAR Grenzwerte des ICNIRP Instituts ($t = 6min$, Teilkörper SAR Werte für 10g Gewebe) alle Werte in W/kg

Für die Messung des SAR-Wertes muss die Gewebetemperatur ermittelt werden. Dies ist nicht immer möglich. Falls doch, ist eine Messung sehr zeitaufwändig (thermodynamisches Gleichgewicht muss nach jeder Messung wiederhergestellt werden) und meist kann die erforderliche Genauigkeit von $0,1W/kg$ nicht erreicht werden. Deswegen wurden diverse Grenzwerte abgeleitet, die sich auf Messgrößen beziehen, die einfacher zu messen sind, wie z.B. die elektrische Feldstärke oder die magnetische Leistungsflussdichte (26). Für Mobiltelefone wird der Grenzwert für die Absorptionsrate auf $2W/kg$ definiert. Von den zur Zeit erhältlichen Mobilgeräten hält sich fast jedes dritte an einen SAR-Wert $\leq 0,6W/kg$ (Strahlungskriterium für das Umweltzeichen Blauer Engel). Allerdings steigt der Anteil aktueller Modelle, die einen sehr hohen SAR-Wert besitzen ($1,69-1,80W/kg$) (12).

Grenzwerte zwischen 10GHz und 300GHz Bei elektromagnetischen Feldern mit einer Frequenz über 10GHz tritt

die Strahlung nur mit geringer Energie in das Körpergewebe ein. Es muss jedoch eine mögliche ionisierende Wirkung beachtet werden (siehe 3.1). Bei diesen hohen Frequenzen wird als Maßeinheit die Leistungsflussdichte [W/m^2] verwendet.

| Frequenz | berufliche Exposition | Allgemeinheit |
|----------------|-----------------------|---------------|
| 10GHz - 300GHz | $50W/m^2$ | $10W/m^2$ |

Abbildung 4: Grenzwerte zwischen 10GHz und 300GHz

Messung elektromagnetischer Felder Die elektrische Feldstärke kann durch die hervorgerufene Verschiebung von elektrischen Ladungen und die dadurch entstehende Spannung gemessen werden. Bei Feldern mit einer hohen Leistungsdichte kann indirekt durch die Erwärmung von elektrisch leitenden Materialien die Leistungsdichte bestimmt werden. Für die Messung von ausgewählten Quellen werden sog. frequenz-selektive Verfahren eingesetzt (nur die Stärke des Feldes eines bestimmten Frequenzspektrums wird gemessen), im Gegensatz zu den frequenz-integralen Verfahren, mit denen die Stärke des Gesamtfeldes bestimmt werden kann (11).

Aktuelles Im Jahr 2001 hat das Bundesministerium für Umwelt eine Prüfung der Grenzwerte aufgrund eines veränderten Kenntnisstandes der Wissenschaft in Auftrag gegeben. Die dazu beauftragte Strahlenschutzkommission hat festgestellt, dass durch die Grenzwerte in (4) die Bevölkerung vor nachgewiesenen Gesundheitsgefahren ausreichend geschützt wird (20).

Vorsorgegrenzwerte Aufgrund der Unsicherheit in Bezug auf Schwellenwerte möglicher nichtthermischer Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf Körpergewebe, sollten die Expositionen generell so gering wie möglich gehalten werden. In Neuseeland und Schweden wurde das Minimierungsgebot bereits im Immissionenschutzrecht verankert. Die deutsche Strahlen-Schutz-Kommission (SSK) fordert auch das 26.BImSchV dementsprechend zu revidieren. Die Minimierung von Expositionen sollen zu einem Qualitätsmerkmal eines Produkts gemacht werden. Die Immissionen einzelner Verursacher sollen deutlich unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte liegen, sodass auch die Gesamtexposition noch unterhalb der Grenzwerte liegt. Da sich die Produktnormungen nicht an den Regeln der ICNIRP halten muss, ist es heutzutage möglich, dass ein einziges Produkt bereits den gesamten Expositionsspielraum ausnutzt. Geräte sollen deswegen entsprechend gekennzeichnet werden z.B. in wie weit bereits der Basisgrenzwert durch das Gerät bereits ausgeschöpft wird (11).

| Anwendung | Frequenz | Sicherheitsgrenzwerte 26.BImSchV | Vorsorgegrenzwerte ECOLOG |
|------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------------|
| Rundfunk (LW, MW) | 0,15 - 1,6 MHz | - | 2,0 V/m |
| Rundfunk (KW, UKW, TV) | 3,4 - 790 MHz | 27,5 - 38,6 V/m | 2,0 V/m |
| Mobilfunk | 900 - 2100 MHz | 41,3 - 61,0 V/m | 2,0 V/m |

Abbildung 5: Vorsorgegrenzwerte empfohlen vom ECOLOG-Institut

4 Strahlungswerte im Vergleich

4.1 Antenne/Basisstation

An einem Mobilfunkmast sind meist mehrere Antennen abhängig von demographischen Bedingungen angebracht. Eine Antenne hat dabei einen begrenzten Öffnungswinkel zwischen $60-120^\circ$ horizontal, $4-16^\circ$ vertikal (gerichtete Antenne mit Hauptstrahlwirkung), ähnlich einem Leuchtturm. Somit ist das bodennahe Umfeld am Mobilfunkmast nur relativ schwach mit elektromagnetischer Strahlung belastet.

Die Strahlung einer Antenne wird als Emission bezeichnet. Die Stärke eines elektromagnetischen Feldes an einem bestimmten Punkt, hervorgerufen durch eine Mobilfunkbasisstation, wird als Immission bezeichnet. Immissionen sind von einer Vielzahl technischer Parameter abhängig, deren Zusammenspiel so komplex ist, dass Immissionen nur gemessen oder sehr aufwändig berechnet werden können.

Die Strahlungsleistung einer Antenne wird mit Equivalent Radiation Power (ERP) oder Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP) angegeben. EIRP gibt an, wie stark ein Kugelstrahler (ungerichtete Antenne) senden müsste, um die gleiche Wirkung zu erzielen, wie eine Richtantenne in ihrer Hauptsenderichtung. (ERP bezieht sich dabei nicht auf einen Kugelstrahler sondern auf eine $\frac{\lambda}{2}$ -Dipol Antenne). Zum besseren Verständnis der EIRP eine Analogie: eine Taschenlampe ohne Parabolspiegel hat eine bestimmte Eingangsleistung. Da sie das Licht wie ein Kugelstrahler emittiert, wird eine Wand mit einer entsprechenden Lichtstärke angestrahlt. Sobald man den Parabolspiegel auf die Taschenlampe aufsetzt, ist eine Richtwirkung vorhanden und die Lichtstärke an der Wand ist nun wesentlich größer. Wenn man die gleiche Lichtstärke an der Wand ohne den Parabolspiegel erreichen möchte, so müsste die Taschenlampe mit einer wesentlich höheren Eingangsleistung versorgt werden. Diese höhere Eingangsleistung wird mit der EIRP angegeben.

$$EIRP = G \cdot P = 10^{\left(\frac{g}{10}\right)} \cdot P \quad (2)$$

- G Antennengewinnfaktor (bezogen auf isotropen Strahler)
- g Antennengewinn [dBi] (bezogen auf isotropen Strahler)
- P Sendeleistung[W]

Die maximale Feldstärke (elektrisch / magnetisch) ist in (4) festgelegt. Diese Werte beziehen sich auf Hochfrequenzanlagen ($10\text{MHz} < f < 300.000\text{ MHz}$) ≥ 10 Watt EIRP (umgebende Sendeanlagen werden miteinbezogen).

| Frequenz [MHz] | (f) | elektrische Feldstärke [V/m] | magnetische Feldstärke [A/m] |
|-----------------|-----|------------------------------|------------------------------|
| 10 - 400 | | 27,5 | 0,073 |
| 400 - 2.000 | | $1,375\sqrt{f}$ | $0,0037\sqrt{f}$ |
| 2.000 - 300.000 | | 61 | 0,16 |

Abbildung 6: Grenzwerte der effektiven Feldstärke (4)

Diese Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen wurden im Bundes-Immissionenschutzgesetz (4) im Jahr 1997 festgelegt, basierend auf den Empfehlungen der ICNIRP sowie der WHO.

Im ländlichen Bereich werden Sendeanlagen für den Mobilfunk mit bis zu 40W betrieben, aufgrund der relativ großen räumlichen Ausdehnung einer Mobilfunkzelle. In Wohngebieten liegt die Sendeleistung bei ca. 25W (11).

4.2 GSM

Basisstation Eine GSM Antenne hat eine Eingangsleistung von 10W. Würde eine Antenne in jede Richtung gleichmäßig strahlen, hätte Sie auch eine Strahlungsleistung von 10W. Jedoch strahlen Mobilfunkantennen stets stark gebündelt. Um nun die tatsächlich abgestrahlte Leistung zu bestimmen, muss die EIRP ermittelt werden (siehe 4.1). Bei GSM beträgt die maximal zulässige EIRP 400W im D-Netz und 300W im E-Netz. Die EIRP Angabe bezieht sich dabei auf einen Netzbetreiber, eine Antenneneinheit und einen Kanal. Die tatsächlich abgestrahlte Strahlungsleistung ist somit in der Gesamtexposition noch weit höher.

Mobilteil Das Mobilteil (Handy) passt seine Sendeleistung entsprechend der Signalstärke an. Ist das Signal zur Basisstation gut, wird mit einer niedrigeren Sendeleistung gesendet. Ein Handy im D-Netz (GSM 900) sendet maximal mit 2W. Im E-Netz (GSM 1800) mit maximal 1W (19). Am Mobilteil entstehen Leistungsflussdichten von ungefähr 5 mW/cm^2 (1). Das Handy nimmt ca. alle 30 Minuten

Kontakt zur Basisstation auf, um dem Mobilfunknetz mitzuteilen, wo es sich gerade befindet, damit ein Anruf in die entsprechende Funkzelle weitergeleitet werden kann. Wichtig ist, dass ein GSM Handy nur zu Beginn eines Gesprächs mit der maximalen Sendeleistung sendet. Ist eine Basisstation in der Nähe, wird automatisch die Sendeleistung heruntergefahren, bis zum minimal möglichen Wert.

4.3 UMTS

Basisstation Eine UMTS Basisstation besteht in der Regel aus 3 Antennen. Eine Antenne hat eine Eingangsleistung von ca. 20W (11). Eine UMTS Antenne hat eine Strahlungsleistung von 500W EIRP. (21) (16)

Mobilteil Die maximale Sendeleistung von UMTS Handys liegt zwischen 125mw bis 250mw. Simulationen ergaben, dass in ländlichen Gebieten die mittlere Sendeleistung bei ca. 7mW und in städtischen Gebieten bei 0,6mW liegt (18).

4.4 WLAN

Basisstation, Client Die maximale Strahlungsleistung im 2,4 GHz Band (entspricht IEEE 802.11b und IEEE 802.11.g) beträgt 100mW (EIRP). Bei WLAN Netzwerken im 5GHz Bereich (entspricht IEEE 802.11a) beträgt die maximale Strahlungsleistung 1W. Beim Client darf die Strahlungsleistung maximal 200mW EIRP betragen.

4.5 DECT

Basisstation, Mobilteil Die maximale Sendeleistung der Basisstation und des Mobilteils einer DECT-Telefonanlage beträgt 0,25W. Die Basisstation einer schnurlosen Telefonanlage sendet alle 10ms einen Synchronisationsimpuls. Das Mobilteil sendet hingegen nur dann, wenn ein Gespräch stattfindet. (DECT Telefone nach dem CT1+ Standard senden im Bereitschaftszustand keine Strahlung aus) Ein DECT Mobiltelefon sendet im Gegensatz zu einem GSM Handy stets mit der maximalen Sendeleistung.

4.6 Radio/Fernsehen

Sendeleistungen bei Mittelwelle Radio-Sendern beträgt bis zu 1,8MW (Aufgrund der hohen Reichweite sind aber nur wenige Sendeanlagen in ganz Deutschland erforderlich). Ultrakurzwellen-Sender haben eine Sendeleistung von bis zu 100kW. Sendeleistungen analoger Fernsehsender betragen bis zu 500kW. Durch die Umstellung auf digitales terrestrisches Fernsehen werden weitere Sendeanlagen installiert. Dadurch kann die Signalstärke der einzelnen Sendeanlagen jedoch gesenkt werden. Die Strahlungsleistung bei

DVB-T beträgt zwar weniger als die analoger Fernsehsender, aber immer noch mehr als 100kW.

Trotz der sehr starken Sendeleistungen gibt es so gut wie keine Studien darüber, ob diese Strahlung Einfluss auf den menschlichen Körper hat.

5 Biologische Auswirkungen

5.1 Wärmewirkung

Elektromagnetische Felder besitzen von Natur aus eine wechselnde Polarisierung (siehe 3.1). Befindet sich nun ein Dipol in solch einem Feld, beginnt dieser sich entsprechend der Polarisierung auszurichten. Aufgrund der sich stets wechselnden Polarisierung beginnt der Dipol sich zu drehen. Der daraus resultierende Reibungsverlust hat eine Wärmeentwicklung zur Folge. Da die chemische Verbindung von Wasser (H₂O) ein Dipol ist und der menschliche Körper zu 60% aus Wasser besteht, findet die beschriebene Wärmeentwicklung auch im menschlichen Körper statt. Diese thermische Auswirkung auf Körpergewebe ist wissenschaftlich sehr gut untersucht und eindeutig belegt. Die Grenzwerte in Deutschland sind so ausgelegt, dass eine Schädigung von Körpergewebe durch Überhitzung ausgeschlossen werden kann (11).

5.2 Schlafparameter

Studien zu Schlafparametern unter dem Einfluss von elektromagnetischer hochfrequenter Strahlung widersprechen sich und sind inkonsistent. Es wurde beobachtet, dass sich Einschlafzeit und REM-Phasen verkürzen (Verkürzung der Wachtraumphase von 18 auf 12min). Diese Ergebnisse konnten aber von denselben Autoren in späteren Studien nicht bestätigt werden (9).

Es gibt Untersuchungen, die einen Einfluss von EM-Feldern auf eine Verkürzung der Einschlafzeit, sowie eine Reduktion des prozentualen Anteils der REM-Phasen im Schlaf nachweisen. Die Befunde sind uneinheitlich, sie konnten nicht verifiziert werden und geben keinen direkten Hinweis auf Gesundheitsschäden (23).

5.3 Hormonausschüttung

Hormone dienen im menschlichen Körper zur Informationsübermittlung. Typische Hormone bei einer Stressreaktion sind Cortisol oder Adrenalin. Wird eine erhöhte Hormonausschüttung durch elektromagnetische Felder verursacht, so könnte dies eine Schwächung des Immunsystems herbeiführen.

Es sind Studien vorhanden, die statistisch signifikante Effekte zeigen. Weitere Befunde zeigen eine vorübergehend

erhöhte Stress-Reaktion. Allerdings ist die Befundlage uneinheitlich und die Untersuchungsmethoden sind sehr fehleranfällig. Die Ergebnisse können Mobilfunk-Felder nicht als potentielle Gefahr darstellen. Es sind in dieser Richtung aber weitere Studien erforderlich (23).

5.4 Blut-Hirn-Schranke

Durch das Gehirn ziehen sich viele feine Blutgefäße. Dadurch wird das Gehirn mit Sauerstoff und weiteren Nährstoffen versorgt. Die Wände dieser Gefäße bilden die Blut-Hirn-Schranke. Diese Schranke hat die Aufgabe, giftige Stoffe oder Krankheitserreger nicht in das Gehirn eindringen zu lassen. Fettlösliche Stoffe können die Blut-Hirn-Schranke überwinden. Wasserlösliche Stoffe kommen über spezielle Transportsysteme in das Gehirn. Durch diese Systeme wird der Austausch kontrolliert. Falls durch elektromagnetische Strahlung die Blut-Hirn-Schranke gestört wird, können die kontrollierenden Transportsysteme umgangen werden. Dadurch können alle Stoffe (auch Toxine) in das Gehirn eindringen. Bei einer Temperaturerhöhung nimmt die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke zu. Die erwärmende Wirkung von EM-Feldern unter den Grenzwerten ist dafür aber zu gering (15).

Studien von Salford et. al. (6), (7) zeigten, dass 915MHz Felder die Blut-Hirn-Schranke von Ratten zeitweilig für Plasmaalbumin (Protein) öffnen konnten. Diese Studien weisen jedoch grobe methodische Mängel auf und konnten durch weitere Studien nicht belegt werden (9). Weitere Studien liefern kein eindeutiges Ergebnis. Vor allem aufgrund der schweren Reproduzierbarkeit der Randbedingungen ist eine eindeutige wissenschaftliche Schlussfolgerung nicht möglich.

5.5 Hirntumore / Kanzerogenese

In diversen Studien wurde kein erhöhtes Risiko festgestellt, dass durch die Verwendung eines Mobiltelefons ein Hirntumor entstehen könnte. Allerdings war die Dauer der Mobilfunknutzung relativ gering. Niemand der untersuchten Probanden benutzte ein Handy länger als fünf Jahre. Die mittleren Latenzzeiten von Krebserkrankungen sind deutlich länger als 10 Jahre (13).

Es wurden über die letzten 15 Jahre hinweg Studien durchgeführt, die eine Verbindung zwischen RF Transmittern, wie z.B. Mobilfunkbasisstationen, und Krebs untersucht haben. Es wurde kein Beweis gefunden, dass RF Transmitter das Risiko einer Krebserkrankung steigern. Selbst bei Langzeit-Tierversuchen mit wesentlich höheren Feldstärken konnte kein erhöhtes Risiko festgestellt werden (22).

Studien an in vitro Zellen² haben gezeigt, dass eine Interaktion zwischen Zelle und elektromagnetischen Feldern stattfindet. Es findet sich aber kein genotoxischer Effekt auf nonthermaler Ebene. Es gab zwar positive Belege, für Risiken spezieller Krebsarten, diese waren aber nicht reproduzierbar (3).

Studien, die eine kanzerogene Wirkung von EM-Feldern untersucht haben, können nicht durch erweiterte Studien belegt werden. Alle Studien betrachten einen zu kurzen Zeitraum, um Effekte erfassen zu können. Epidemiologischen Untersuchungen konnten keine gesundheitlichen Auswirkungen belegen (9).

Vereinzelt gibt es Hinweise aus epidemiologischen Untersuchungen, dass in der Nähe von Hochfrequenzanlagen ein erhöhtes Krebsrisiko besteht. Die Ergebnisse diverser Studien sind jedoch nicht einheitlich und können durch erweiterte Studien nicht bestätigt werden (23).

5.6 EEG / kognitive Funktionen

Hat ein Mobiltelefon Einfluss auf die elektrische Aktivität des Gehirns? Ja, es treten Veränderungen im EEG³ auf. Die beobachteten Veränderungen lagen aber im Bereich natürlicher Schwankungen. Auffallend ist, dass die Effekte zeitlich verzögert, bzw. auch nach der Expositionsdauer noch anhielten. Dies deutet auf eine komplexere Wechselbeziehung hin, außerdem wurden für verschiedene Signaltypen unterschiedliche Veränderungen beobachtet. Die gesundheitliche Relevanz der Veränderungen ist noch unklar (13).

Es gab Studien die einen Einfluss von EM-Strahlung auf das Gehirn beobachteten und Studien, die keinen Einfluss beobachteten. Beweise sind inkonsistent (3).

Es gibt Hinweise auf eine Beeinflussung neurophysiologischer Prozesse, jedoch widersprechen sich die Studien (9).

Bei diversen beobachteten Effekten stieg die Temperatur im Gehirn um nicht mehr als 0,2°C. Dadurch ist es wahrscheinlich, dass die Effekte aufgrund nicht-thermischer Wirkungsmechanismen hervorgerufen wurden (24).

Die Studie von Preece et al. (2) findet einen statistisch signifikanten Effekt: Bei Probanden, die einem elektrischen Feld von 915MHz, gepulst 217MHz, ausgesetzt waren, ergab sich eine Verkürzung der Reaktionszeit, erhöhte Aufmerksamkeit und schnellere Lösung einer Subtraktionsaufgabe (= Einfluss auf Kurzzeitgedächtnis). Die Studie weist diverse Probleme auf. Zum einen sind die Effekte nicht reproduziert, der Placebo-Effekt könnte Einfluss gehabt haben und zum andern sind die Effekte marginal und liegen im Bereich natürlich biologischer Schwankungen.

²Die Zellen wurden außerhalb des menschlichen Körpers im Labor untersucht.

³Die Elektro-Enzephalographie ist eine Untersuchungsmethode, bei der die elektrischen Gehirnströme aufgezeichnet werden.

EM Felder haben eine Wirkung auf Reaktionszeit und Kurzzeitgedächtnis: ein Einfluss auf das zentrale Nervensystem ist eine plausible Hypothese, aber ohne gesundheitliche Relevanz. (Die Probleme der Studien überwiegen). Es konnten keine gesundheitsschädlichen Auswirkungen nachgewiesen werden (23).

Die älteren Studien sind schwierig und schlecht reproduzierbar. Neuere Studien mit standardisierten Kognitionstests, die doppelblind⁴ und statistisch ausführlich ausgewertet wurden, zeigen durchgehend keinen Einfluss von EM Feldern auf kognitive Leistungen (24).

5.7 DNA-Strangbrüche, Chromosomen Mutationen

Wird das Genmaterial einer Zelle beschädigt, können Mutationen auftreten. Diese sind für den Organismus meist schädlich und können zu Krebserkrankungen führen. Eine Untersuchung von Strangbrüchen ist problematisch, da EM Strahlung z.B. lediglich Einfluss auf die natürlichen zelleigenen Reparaturmechanismen haben könnte und die natürlich entstehenden Brüche nicht mehr repariert werden. (24)

Untersuchungen zeigen Schäden an der DNA durch EM-Felder und einen Einfluss auf die Induktion von Mikrokerneln (Micronuclei-Test). Jedoch ist die Befundlage sehr uneinheitlich und die Untersuchungsmethodik sehr schwierig, da bei der Untersuchung an sich bereits DNA Strangbrüche hervorgerufen werden können. Untersuchungen wurden in vitro durchgeführt - eine Übertragung auf den Menschen ist problematisch (23).

Wenige Studien mit positiven Befunden konnten in Wiederholungsstudien nicht bestätigt werden. Die SSK stellt fest, dass es keine fundierten Beweise für einen Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf das Genom gibt (24).

6 Fazit, persönliche Stellungnahme

Hat hochfrequente elektromagnetische Strahlung einen gesundheitsschädlichen Einfluss auf den menschlichen Körper? Es gibt keine wissenschaftlich eindeutig fundierten Beweise, die für eine gesundheitsschädigende Wirkung in Frage kommen würden. Eine gesundheitsschädigende Wirkung kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Diverse Studien haben Einflüsse von elektromagnetischer Strahlung, die unterhalb der Grenzwerte liegen, auf nonthermaler Ebene gefunden. Es ist aber nicht bewiesen, dass diese Einflüsse eine gesundheitsschädigende Wirkung haben. Einzig bei dem Punkt der Wärmewirkung (siehe 5.1) von EM-Feldern ist sich die Wissenschaft einig. Jedoch sind die gesetzlichen

⁴Weder die Probanden noch die Leiter der Untersuchung wissen, ob während der Exposition ein elektromagnetisches Feld aktiv ist.

Grenzwerte für Hochfrequenzanlagen so festgelegt, dass eine gesundheitliche Schädigung ausgeschlossen werden kann.

Es gibt eine Fülle an Studien zum Thema Mobilfunk und Gesundheit. Viele davon wurden aber nicht streng wissenschaftlich durchgeführt (keine Doppelblindtests, zu wenig Probanden, etc.), widersprechen sich gegenseitig oder wurden sogar gefälscht (siehe Studien aus den Jahren 2005 / 2008 der Medizinischen Universität Wien). Die korrekt durchgeführten Studien, die eine Auswirkung von EM Feldern auf Körpergewebe entdeckt haben, können meist durch erweiterte Studien nicht bestätigt werden. Bei den Untersuchungen könnte eine Fülle anderer Einflussfaktoren womöglich die Auswirkungen verursacht haben.

Im Juni 2008 wurden die Ergebnisse einer großangelegten Studie des Bundesamts für Strahlenschutz veröffentlicht. Zwischen 2002 und 2008 wurden von über 50 Forschungsgruppen Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel „grundsätzliche biologische Wirkungen und Mechanismen wissenschaftlich belastbar nachzuweisen und vor dem Hintergrund internationaler Forschungsergebnisse deren gesundheitliche Relevanz abzuschätzen“. Das Ergebnis: es gibt keine Hinweise für erhöhte gesundheitliche Risiken durch Handy-Strahlung innerhalb der Grenzwerte. Keine Einflüsse von GSM- oder UMTS Felder auf Schlaf, Kognition, Kanzerogenese oder Blut-Hirn-Schranke. Weiterhin müssen jedoch mögliche Langzeitwirkungen (siehe 5.5), sowie die Auswirkungen auf Kinder und Jugendliche (siehe 3.2) untersucht werden (14).

Die Problematik des Themas Mobilfunk und Gesundheit könnte man gut mit einer anschaulichen Metapher beschreiben: Wenn Sie in einem Café eine Torte serviert bekommen, so bietet Ihnen dieses Produkt einen gewissen Luxus. Es könnte aber sein, dass die Torte eine geschmacklose toxische Substanz beinhaltet, die gesundheitliche Schäden verursacht. Niemand kann Ihnen sagen, ob diese Substanz wirklich vorhanden ist, wie sie aussieht, schmeckt und welche Auswirkungen sie haben könnte. Würden Sie die Torte essen?

Wenn man einen Blick in die Zukunft wagt, so wird die Belastung von elektromagnetischen Feldern immer stärker. Neue Technologien drängen auf den Markt, die auf den Luxus der drahtlosen Datenübertragung nicht verzichten möchten, wie z.B. Car-2-Car Communication ⁵, Ambient Intelligence ⁶, Wireless HDMI ⁷ oder drahtlose Energieübertragung mithilfe von Magnetfelder. Auch aufgrund der langen Latenzzeiten von Krebserkrankungen müssen weiterhin die Belastungen und die Auswirkungen auf den menschlichen Körper untersucht werden.

⁵WLAN basierende Technologie. Fahrzeuge sollen untereinander kommunizieren, um sich gegenseitig z.B. vor Gefahren zu warnen, ...

⁶Massive Vernetzung aller Sensoren, Funkmodulen, Computerprozessoren vor allem im Haushalt, mit dem Ziel, den Alltag zu verbessern (Ubiquitous Computing).

⁷Drahtlose Übertragung von High-Definition Audio- / Videosignalen.

Literatur

- [1] AL., Enrique A. N.: *Electromagnetic Biology and Medicine*. Departamento de Física Aplicada, Universitat de València, 2003
- [2] AW, Preece ; S, Goodfellow ; MG, Wright ; SR, Butler ; EJ, Dunn ; Y, Johnson ; TC, Manktelow ; K, Wesnes: *Effect of 9002 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children*. *Bioelectromagnetics* 26: S138 S143, 2005
- [3] BERZ, Reinhold: Mobilfunk und Gesundheit zwischen Evidenz und Emotionen. In: *Schweizerische Ärztezeitung* (2004)
- [4] BUNDESREGIERUNG: *Verordnung über elektromagnetische Felder - 26.BImSchV*. Bundesministerium der Justiz, 1996
- [5] ELEKTRO-MAGNETISCHE UMWELTVERTRÄGLICHKEIT FEMU, Forschungszentrums für: *EMF-Portal*. <http://www.emf-portal.de/>, 2008. – [Online; Stand 13. Mai 2008]
- [6] G., Salford L. ; BRUN, A. ; EBERHARDT, J. ; PERSSON, B.: *Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, 200 Hz*. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 30: S293 - 301, 1993
- [7] G., Salford L. ; BRUN, A. ; STURESSON, K. ; EBERHARDT, J. ; PERSSON, B.: *Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz Electromagnetic Radiation, Continuous Wave and Modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz*. *Microscopy Research and Technique* 27: S535 - 542, 1994
- [8] GOLTZ, Dipl.-Ing. S. ; EGGERT, Dr.-Ing. S.: *Newsletter: Einsatz thermografischer Verfahren*. Forschungsgemeinschaft Funk e.V., 1999 tze.pdf
- [] MATTHIAS OTTO, Dr. rer. n. ; MÜHLENDAHL, Prof. D. v.: *Mobilfunk und Gesundheit: Eine Information für Ärzte*. Kinderumwelt gemeinnützige GmbH der Deutschen Akademie für Kinder- und Jugendmedizin e.V., 2005
- [10] MAUCHER, Prof. Dr. J.: *Elektromagnetische Strahlung im Mobilfunk*. 2007
- [11] NEITZKE, Dr. H.-Peter ; OSTERHOFF, Dr. J. ; VOIGT, Dr. H. ; SILKE KLEINHÜCKELKOTTEN, Julia G.: *EMF-Handbuch*. ECOLOG-Institut, 2006

- [12] NRW, Verbraucherzentrale: *Immer mehr Handys strahlen am Grenzwert*. <http://www.vz-nrw.de/UNI0121403606406668/link441941A.html>, 2008. – [Online; Stand 21. Juni 2008]
- [13] RÖÖSLI, M. ; HUG, K.: Gesundheitsrisiko der Mobilfunkstrahlung. In: *Schweizerische Ärztezeitung* (2004)
- [14] (SPIEGELNET GMBH) hei/dpa/AFP: *Studie findet kein erhöhtes Krebsrisiko für Mobiltelefonierer*. <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,560166,00.html>, 2008. – [Online; Stand 21. Juni 2008]
- [15] STRAHLENSCHUTZ, Bundesamt für: *Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) - Einführung*. http://www.emf-forschungsprogramm.de/int_forschung/wirk_mensch_tier/stellungnahmen/bhs01.html, 2008. – [Online; Stand 3. Juni 2008]
- [16] STRAHLENSCHUTZ, Team: *UMTS Frequenznutzungsplan Deutschland*. <http://www.aaronia.de/Frequenzplan-UMTS.htm>, 2008. – [Online; Stand 3. Juni 2008]
- [17] TASCHENLEXIKON, Meyers G.: *Leistungsflussdichte*. 1999
- [18] TECHNOLOGIE, Bundesministerium für Wirtschaft u.: *Langfassung - Ausführliche Informationen zum Thema UMTS*. <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/Telekommunikation-und-Post/mobilfunk,did=36600.html?view=renderPrint>, 2008. – [Online; Stand 24. Juli 2008]
- [19] TECHNOLOGIE, Bundesministerium für Wirtschaft u.: *Wie funktioniert Mobilfunk*. <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/Telekommunikation-und-Post/Mobilfunk/faq,did=189370.html>, 2008. – [Online; Stand 13. Mai 2008]
- [20] UMWELT, Naturschutz und R. f.: *Hochfrequente Felder - Grundlagen*. http://www.bmu.de/strahlenschutz/emf_mobilfunk/hochfrequente_felder/doc/41291.php, 2008. – [Online; Stand 16. Mai 2008]
- [21] WEISE, Joachim: *Elektrosmog Messtechnik Mobilfunk*. <http://www.elektrosmog-messen.de/mobilfunk-eirp.html>, 2008. – [Online; Stand 3. Juni 2008]
- [22] WHO: *Electromagnetic fields and public health*. World Health Organisation, 2006
- [23] WIEDEMANN, P.M. ; SCHÜTZ, H. ; THALMANN, A.T.: *Mobilfunk und Gesundheit - Risikobewertung im wissenschaftlichen Dialog*. Forschungszentrum Jülich, 2003
- [24] WÖLFLE, Dipl.-Ing. Ralf D.: *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)*. <http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/redir.htm?http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/technik/emv.htm>, 2008. – [Online; Stand 3. Juni 2008]
- [25] WÖLFLE, Dipl.-Ing. Ralf D.: *Elektrosmoginfo*. http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/redir.htm?http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/biologie/esr_icnirp.htm, 2008. – [Online; Stand 13. Mai 2008]
- [26] WÖLFLE, Dipl.-Ing. Ralf D.: *Elektrosmoginfo*. <http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/redir.htm?http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/technik/mobil.htm>, 2008. – [Online; Stand 13. Mai 2008]