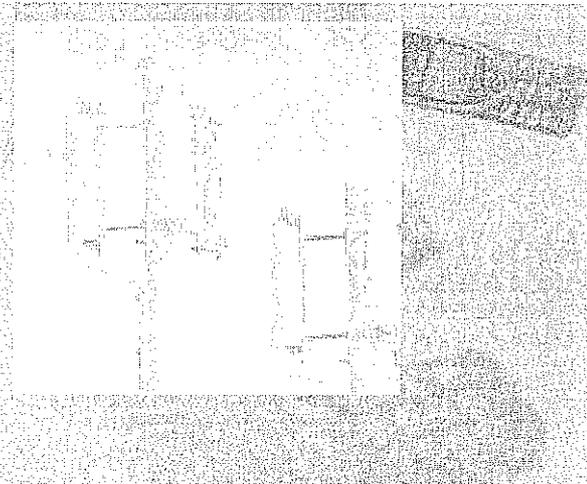




Gesundheit und Umwelt
Materialien zur Umweltmedizin



Mobilfunk:
Ein Gesundheitsrisiko ?



Hinweis:

Die Reihe „Gesundheit und Umwelt – Materialien zur Umweltmedizin“ dient der Fachinformation der bayerischen Gesundheitsämter.

Beiträge dieser Reihe stellen nicht notwendiger Weise auch in jedem Fall die Haltung des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz dar.

Für die Öffentlichkeitsarbeit hergestelltes Informationsmaterial der Bayerischen Staatsregierung darf weder von Parteien, noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von 5 Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. **Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen.** Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe von Druckwerken der Staatsregierung an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf staatliches Informationsmaterial nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Den Parteien ist es jedoch gestattet, staatliches Informationsmaterial zur Unterrichtung Ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Staatsministerium für
Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz

Referat
Umweltbezogene Gesundheitsvorsorge,
Umweltmedizin, Gesundheitsverträglichkeit

Schellingstr. 155
80797 München

Tel.: (089) 2170 – 04 (Vermittlung)
E-Mail: poststelle@stmgev.bayern.de
Internet: <http://www.stmgev.bayern.de>

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

der Anfang ist gemacht.

Eine neue Schrift in einer – wie wir uns zum Ziel gesetzt haben – neuen Reihe:
Gesundheit und Umwelt – Materialien zur Umweltmedizin.

Schriften dieser Reihe – mal kurz und bündig, mal umfangreich, wie beim vorliegenden, schwierigen und höchst aktuellen Thema Mobilfunk – sollen Sie in den Gesundheitsämtern bei Ihrer Arbeit vor Ort unterstützen und sie mögen Ihnen auch zur Fortbildung und als Anregung dienen.

Mitgewirkt haben mit kritischer Durchsicht des Textes, wertvollen Hinweisen und Ergänzungen:

Dr.rer.nat. Eike Roscher, Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen Südbayern

Dr.med. M. Kaschube, Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen Nordbayern

Dipl.Phys. Elke Hudel, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Dr.rer.nat. Jutta Brix, Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene

Dr.rer.nat. Evi Vogel, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen

Eine Schrift, wie die vorliegende, braucht zur Entstehung engagierte Kolleginnen und Kollegen. Ihnen gebührt ausdrücklich Anerkennung und herzlicher Dank!

Zu dieser Schrift erhalten die Gesundheitsämter ergänzend einen Foliensatz (PowerPoint-Datei), der sich in seiner Zusammenstellung an die Gliederung des Textes anlehnt. Er bietet sich zum Begleiten eigener Vorträge an, wobei jeweils eine geeignete Auswahl getroffen werden kann.

Das Vorhaben kann nur gemeinsam gelingen. Alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im bayerischen ÖGD sind nun herzlich eingeladen, sich zu beteiligen. Über Lob freuen wir uns, einer Kritik stellen wir uns, Anregungen sind uns willkommen.

München, im August 2001

Dr. med. Günther Kerscher

Mobilfunk: Ein Gesundheitsrisiko?

Dr.med. Uta Nennstiel-Ratzel, MPH ¹

Dr.rer.nat. Ulrich Busch ¹

Priv.Doz. Dr.med. Bernhard Liebl ¹

Dipl.Chem. Martina Schmid, MPH ²

Dr.med. Günther Kerscher ²

¹ Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen Südbayern

² Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einführung | 8 |
| 2 | Physikalische und technische Grundlagen | 8 |
| 2.1 | Elektrische und magnetische Felder und Wellen | 8 |
| 2.2 | Elektrisches Feld | 8 |
| 2.3 | Magnetisches Feld | 9 |
| 2.4 | Zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder | 9 |
| 2.5 | Elektromagnetisches Spektrum, elektromagnetische Wellen ("Funkwellen") | 10 |
| 2.6 | Mobilfunk | 13 |
| 3 | Exposition der Bevölkerung gegenüber Mobilfunkwellen | 13 |
| 3.1 | Basisstationen (Sendemasten) | 13 |
| 3.2 | Mobilfunk-Endgeräte (Telefone) | 15 |
| 3.3 | Handy-Nutzung in Kraftfahrzeugen | 16 |
| 3.4 | Mobilfunk in Bayern | 16 |
| 4 | Biologische Grundlagen | 16 |
| 4.1 | Thermische Wirkungen | 17 |
| 4.2 | Nicht-thermische Wirkungen | 17 |
| 5 | Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Tier- und Zellversuchen | 18 |
| 5.1 | Wirkungen auf das genetische Material | 18 |
| 5.2 | Kanzerogenität | 19 |
| 5.3 | Immunsystem | 21 |
| 5.4 | Blut-Hirn-Schranke | 22 |
| 5.5 | Nervensystem, kognitive Funktionen | 22 |
| 5.6 | Auge | 23 |
| 5.7 | Kardiovaskuläres System | 24 |
| 5.8 | Fertilität, Schwangerschaft | 24 |
| 5.9 | Rinderstudie | 24 |
| 6 | Gesundheitliche Auswirkungen von Mobilfunkwellen beim Menschen | 25 |
| 6.1 | Experimentelle Untersuchungen | 25 |
| 6.1.1 | <i>Kognitive Funktionen</i> | 25 |
| 6.1.2 | <i>Elektroenzephalogramm (EEG)</i> | 26 |
| 6.1.3 | <i>Herz-Kreislauf-System</i> | 27 |
| 6.2 | Handy-Nutzung beim Autofahren | 27 |
| 6.3 | Wirkungen auf medizinisch relevante elektronische Geräte | 27 |
| 6.4 | Epidemiologische Studien zum allgemeinen Gesundheitsrisiko | 28 |
| 6.4.1 | <i>Problematik epidemiologischer Studien</i> | 28 |
| 6.4.2 | <i>Tumorrisiko</i> | 29 |
| 6.4.3 | <i>Andere Gesundheitsstörungen</i> | 31 |
| 6.5 | "Elektrosensibilität" | 31 |
| 7 | Gesundheitsschutz: Empfehlungen, Grenzwerte und Überwachung | 32 |
| 7.1 | Internationale Empfehlungen | 32 |
| 7.2 | Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV | 34 |
| 7.3 | Regelungen zur Errichtung von Basisstationen | 35 |
| 7.4 | Grenzwerte im europäischen Vergleich | 36 |
| 7.5 | Empfehlungen sogenannter „kritischer Institutionen“ | 37 |
| 7.6 | Überwachung der Exposition der Bevölkerung | 38 |
| 7.7 | Individuelle Minderung der Exposition | 38 |
| 8 | Zusammenfassung, Fazit | 39 |
| 9 | Quellen, Internetadressen | 43 |

Abkürzungsverzeichnis, Einheiten

| | |
|---------|---|
| A | Ampere (Maßeinheit für die Stromstärke I) |
| AM | Amplitudenmodulation, Informationsübertragung durch Veränderung der Amplitude eines hochfrequenten Trägers |
| A/m | Ampere pro Meter (Maßeinheit für die magnetische Feldstärke H) |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| BImSchV | Bundes-Immissionsschutz-Verordnung |
| BfS | Bundesamt für Strahlenschutz |
| BVD | Bovine Virus Disease |
| CT | Cordless Telephone (nationale Standards für schnurlose Haustelefone) |
| DCS | Digital Communication System (europäischer Standard, in Deutschland E-Netz) |
| DECT | Digital Enhanced Cordless Telephone (europäischer Standard für schnurlose Haustelefone) |
| DNA | Desoxyribonukleinsäure |
| E | elektrische Feldstärke (Maßeinheit: Volt pro Meter, V/m) |
| EEG | Elektroenzephalogramm |
| EMF | elektromagnetische Felder |
| FM | Frequenzmodulation, Informationsübertragung durch Veränderung der Frequenz eines hochfrequenten Trägers |
| GHz | Giga-Hertz = 1000 MHz (Mega-Hertz) = 10^9 Hertz = 1 Milliarde Hertz |
| GMK | Gesundheitsministerkonferenz |
| GSM | “Global System for Mobile Communication”, internationaler Standard der neueren digitalen Mobilfunksysteme, ermöglicht Handynutzung im Ausland |
| H | magnetische Feldstärke (Maßeinheit: Ampere pro Meter) |
| HSP | Hitzeschockproteine |
| Hz | Hertz, Maßeinheit für die Frequenz, 1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde |
| ICNIRP | International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection |
| IRPA | International Radiation Protection Association |
| kHz | Kilo-Hertz = 10^3 Hertz = 1 Tausend Hertz |
| LfU | Bayerisches Landesamt für Umweltschutz |
| LOAEL | lowest observed adverse effect level |
| LW | Langwelle |
| MHz | Mega-Hertz = 10^6 Hertz = 1 Million Hertz |
| MW | Mittelwelle |
| m | Meter |

| | |
|------------------|--|
| NOAEL | no observed adverse effect level |
| ODC | Ornithindecaboxylase |
| RegTP | Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post |
| REM | Rapid Eye Movement |
| S | Leistungsflussdichte (Maßeinheit: Watt pro Quadratmeter, W/m ²) |
| SAR | Spezifische Absorptionsrate, Maß für die von Geweben absorbierte Energie elektromagnetischer Felder (Maßeinheit: Watt pro Kilogramm Körpermasse, W/kg) |
| T | Tesla (Maßeinheit für die magnetischen Induktion oder Flussdichte) |
| TNF | Tumornekrosefaktor |
| µT | Mikro-Tesla = 10 ⁻⁶ Tesla = 1 Millionstel Tesla |
| UKW | Ultrakurzwelle (30 – 300 MHz) |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System |
| UNEP | United Nations Environmental Programme |
| V/m | Volt pro Meter (Maßeinheit für die elektrische Feldstärke E) |
| W | Watt |
| W/m ² | Watt pro Quadratmeter (Maßeinheit für die elektrische Leistungsflussdichte S) |
| W/kg | Watt pro Kilogramm Körpermasse (Maßeinheit für die spezifische Absorptionsrate SAR) |
| ZNS | zentrales Nervensystem |

1 Einführung

Neue Technologien ermöglichen es, zu jeder Zeit und nahezu überall telefonieren zu können und erreichbar zu sein. Viele Menschen machen davon Gebrauch, sei es, weil sie darauf angewiesen sind, gerne erreichbar sind oder einfach Spaß haben zu kommunizieren. So wie Auto, Fernsehen, Fax und Internet ist für viele Menschen die private wie die berufliche Nutzung des Mobilfunks zu einer Selbstverständlichkeit geworden. Sendeanlagen sind erforderlich, damit der Mobilfunk genutzt werden kann. Sie sorgen weit über das Land verteilt dafür, dass Senden und Empfangen gesichert sind.

Mobilfunk hat allerdings nicht nur Befürworter. Beim Mobilfunk werden Sprache und/oder Daten mithilfe elektromagnetischer Felder übertragen. Mögliche Auswirkungen dieser Felder auf Menschen und Tiere werden in der Öffentlichkeit zunehmend kontrovers und emotional diskutiert. Das unsichtbare elektromagnetische Umfeld wird u.a. verursacht von Hochspannungsleitungen, Fernseh-, Rundfunk- und Richtfunksendern, Mobil- und Funktelefonen, elektrischen Geräten und Maschinen. Der Mensch hat für diese Phänomene kein Wahrnehmungsorgan, kann somit das Ausmaß der Exposition nicht erleben und eine mögliche gesundheitliche Gefährdung nicht abschätzen. Gleichzeitig sieht er sich mit einer zunehmenden Zahl von Mobilfunksendemasten konfrontiert. In dieser Kombination liegt wohl die Hauptursache für die Besorgnis vieler Menschen gegenüber der elektromagnetischen Umweltbelastung, denn Unsicherheit macht Angst. Hinzu kommt, dass selbst in der Fachwelt um die Interpretation einzelner Befunde gerungen wird.

Die vorliegende Übersicht will über physikalische und biologische Grundlagen sowie über Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Tier- und Zellversuchen und beim Menschen und den Stand der Gesetzgebung (Gesundheitsschutz) informieren. Die Darstellungen sind zum Teil aus den in Abschnitt 9 (Seite 43) angegebenen Quellen entnommen worden.

2 Physikalische und technische Grundlagen

2.1 Elektrische und magnetische Felder und Wellen

Alle elektrischen Einrichtungen, Geräte oder Leitungen (z.B. Haushaltsgeräte, Hochspannungsleitungen, Rundfunk- und TV-Sender, Mobilfunkgeräte und -anlagen) sind von elektrischen und magnetischen Feldern umgeben und/oder senden elektromagnetische Wellen aus. Die Gesamtheit aller elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder, die auf den Menschen einwirken, stellen seine elektromagnetische Umwelt dar. Diese Felder nehmen mit wachsendem Abstand von ihrer Quelle schnell an Stärke ab.

2.2 Elektrisches Feld

Ein elektrisches Feld ist ein Kraftfeld um eine elektrische Ladung. Es bewirkt, dass gleichnamige Ladungen abgestoßen, ungleichnamige angezogen werden. Die **elektrische Feldstärke (E)** wird in **Volt pro Meter (V/m)** oder Kilovolt pro Meter (kV/m) angegeben (Maß für die Kraft auf Ladungsträger). Das natürliche elektrische Feld zwischen Erdoberfläche und Ionosphäre hat je nach Wetterlage eine Stärke von 0,1 bis 0,5 kV/m. Bei Gewittern können diese Feldstärken erheblich höher sein (20 kV/m). Elektrische Felder können bereits durch dünne Metallfolien oder Netze praktisch vollständig abgeschirmt werden (Faraday'scher Käfig).

2.3 Magnetisches Feld

Magnetfelder werden durch bewegte elektrische Ladungen (d.h. elektrische Ströme) erzeugt. Überall, wo Strom fließt, ist neben dem elektrischen auch ein magnetisches Feld vorhanden. Abschirmmaßnahmen sind schwer möglich. Die physikalische Einheit für die **magnetische Feldstärke (H)** ist das **Ampere pro Meter (A/m)** (Kraftwirkung auf bewegte elektrische Ladungen). Häufig wird ein Magnetfeld durch die Messung der Induktion von Strömen in relativ zum Magnetfeld bewegter Materie erfasst. Die Angabe der magnetischen Induktion oder **Flussdichte in Tesla (T)** ist somit die zweite Möglichkeit, ein Magnetfeld zu charakterisieren. Für Luft und Körpergewebe gilt der Zusammenhang, dass einer magnetischen Feldstärke von 1 A/m eine Flussdichte von 1,25 μT entspricht.

Das natürliche statische Magnetfeld der Erde hat in unseren Breitengraden eine Flussdichte von etwa 40–50 μT . Sehr starke künstliche statische Magnetfelder werden z.B. für medizinische Untersuchungen in Kernspintomographen erzeugt; sie können mehrere Tesla erreichen.

2.4 Zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder

Zwischen elektrischen und magnetischen Feldern bestehen folgende enge physikalische Zusammenhänge:

- Ruhende (statische) elektrische Ladungen besitzen nur ein elektrisches Feld, bewegte elektrische Ladungen (Ströme) erzeugen darüber hinaus ein magnetisches Feld. Dieses magnetische Feld verursacht wiederum, wenn es zeitlich veränderlich ist, ein elektrisches Feld, das bedeutet z.B. dass es in einem elektrischen Leiter elektrische Ladungen bewegt.
- Zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder bedingen sich also gegenseitig. Wenn eine solche Situation vorliegt, spricht man von **elektromagnetischen Feldern (EMF)**. Periodische Veränderung von elektromagnetischen Feldern werden zum einen durch die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde - die sog. **Frequenz** - beschrieben. Einheit ist das Hertz (1 Hz = 1/s).

- Die **Wellenlänge** ist diejenige Distanz, welche die Welle während einer Schwingungsdauer zurücklegt (**Abbildung 1**).

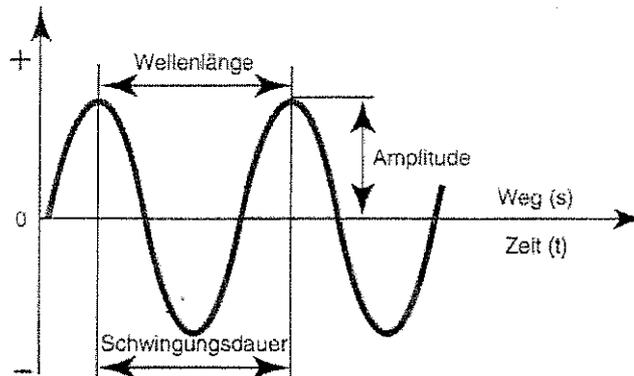


Abbildung 1 Elektromagnetische Felder: Wellenlänge, Frequenz (1/Schwingungsdauer), Amplitude (**Quelle: LfU**)

- Die **Amplitude** ist der während einer Schwingung angenommene maximale Wert der Feldstärke. Neben den sinusförmigen Wellen gibt es auch andere Signalformen wie Rechteckimpulse oder in der Amplitude veränderliche (modulierte) Signale.

2.5 Elektromagnetisches Spektrum, elektromagnetische Wellen („Funkwellen“)

Die Gesamtheit aller elektromagnetischen Felder wird als **elektromagnetisches Spektrum** bezeichnet (Abbildung 2). Es überdeckt die niederfrequenten Felder (< 30 kHz), die hochfrequenten Felder (30 kHz bis 300 GHz), die infrarote Strahlung (3×10^{11} bis 3×10^{14} Hz), das für den Menschen sichtbare Licht (3×10^{14} bis 8×10^{14} Hz), die ultraviolette Strahlung (3×10^{14} bis 3×10^{16} Hz) bis hin zur ionisierenden Strahlung (z.B. Röntgen- und Gammastrahlung).

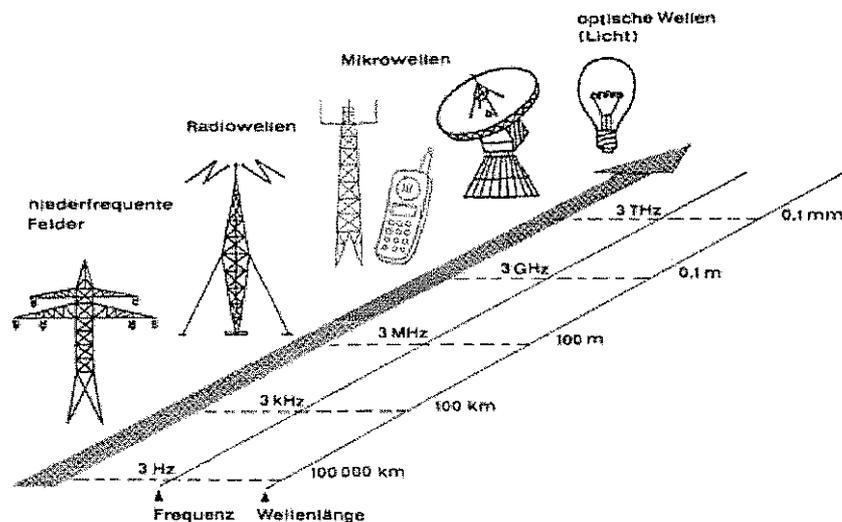


Abbildung 2 Elektromagnetisches Spektrum (StMLU 2001)

Der Teil des elektromagnetischen Spektrums, der vom Mobilfunk genutzt wird, gehört zu den **hochfrequenten Feldern**. Diese sind im Haushalt schon lange z.B. durch den Mikrowellenofen mit 2,45 GHz bekannt. Im Hochfrequenzbereich ist (im Gegensatz zum Niederfrequenzbereich) eine Trennung von elektrischen und magnetischen Feldern nicht möglich. Hochfrequente elektromagnetische Felder sind nicht mehr leitungsgeführt, sondern lösen sich von ihrer Quelle und breiten sich in die Umgebung aus. Man spricht dann von **elektromagnetischen Wellen** („Funkwellen“).

Elektromagnetische Wellen benötigen kein Träger- und Ausbreitungsmedium und können sich somit auch im luftleeren Raum (Vakuum) ausbreiten; dies erfolgt mit Lichtgeschwindigkeit. Dabei kann Information (z.B. Sprache) auf unterschiedliche Weise transportiert werden:

- **Amplitudenmoduliertes Signal (AM):** Information wird über eine Änderung der Amplitude der hochfrequenten Trägerwelle übertragen (Rundfunk im Langwellen(LW)-Bereich, UMTS)
- **Frequenzmoduliertes Signal (FM):** Information wird durch Veränderung der Frequenz der Trägerwelle übertragen (Rundfunk im Ultrakurzwellen(UKW)-Bereich, analoge Mobiltelefone, C-Netz) (**Abbildung 3**)
- **Gepulstes AM- oder FM-Signal:** Die kontinuierliche Trägerwelle mit der digitalen Information wird zerhackt und damit gepulst; dies wird Zeitschlitzverfahren genannt (digitale Mobiltelefone, D-Netz, E-Netz) (s.a. Abschnitt 2.6, **Abbildung 4**)

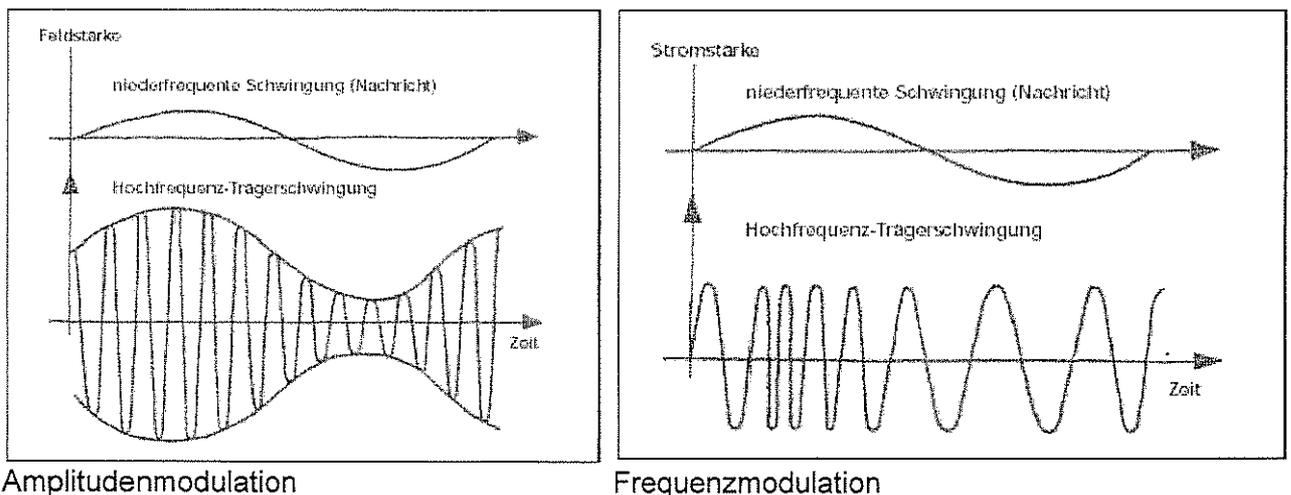


Abbildung 3 Schematisches Beispiel für eine Amplituden- bzw. Frequenzmodulation (StMLU 2001)

Die elektromagnetische Welle transportiert Energie. Der Energietransport pro Zeit und Fläche (die Intensität) entspricht dem Produkt der elektrischen und magnetischen Feldstärke. Maß für die Stärke einer elektromagnetischen Welle ist die **Leistungsflussdichte (S) in Watt pro Quadratmeter (W/m^2)** (Energie, die pro Zeiteinheit eine Fläche von $1m^2$ senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle durchströmt).

Im Gegensatz zur Röntgen- oder γ -Strahlung, die genügend Energie hat, um Atome zu ionisieren oder Moleküle zu spalten, ist die nicht-ionisierende Strahlung (z.B. Rundfunk, Mobilfunk) energieärmer. Hochfrequente Felder wie die des Mobilfunks können Atome und Moleküle in Schwingungen versetzen.

2.6 Mobilfunk

Beim Mobilfunk werden Sprache und/oder Daten mit Hilfe hochfrequenter elektromagnetischer Wellen (Funkwellen) zwischen mehreren Teilnehmern übertragen. Mindestens ein Teilnehmer ist mobil. Er kann sich frei und ohne Kabelverbindung mit seinem Handy innerhalb eines Mobilfunknetzes bewegen. Das erste Mobilfunksystem wurde 1946 in den USA aufgebaut, in Deutschland startete das A-Netz seine Dienste im Jahr 1958, das B-Netz folgte 1972, das C-Netz arbeitete von 1984 bis 2000. Derzeit werden mobile Telekommunikationsdienste von D1 und D2 (seit 1992) sowie über die beiden E-Netze (seit 1994) angeboten. Die Lizenzen für das D-Netz laufen bis Ende 2009, für das E-Netz bis 2012 bzw. 2016. UMTS soll ab 2002 die weltweit flächendeckende Mobilfunknutzung auch für Fotos, Musik und Drucktexte erheblich erleichtern. Neben diesen allgemein verfügbaren Netzen existieren weitere Funknetze, die nur bestimmten Personenkreisen zugänglich sind, wie etwa der Polizeifunk oder der Taxiruf.

Für das **D-Netz** werden Frequenzen um 900 MHz und beim **E-Netz** um 1800 MHz verwendet. Wollen mehrere Teilnehmer gleichzeitig innerhalb eines Sendebereichs telefonieren, müssen dabei ihre Funksignale eindeutig unterscheidbar sein. Dazu reichen geringfügig unterschiedliche Trägerfrequenzen. Eine andere Möglichkeit stellt zeitversetztes Senden und Empfangen nach dem Zeitschlitzverfahren dar. Die Information eines Gesprächs wird beim **GSM-Standard** in Portionen zerlegt, die jeweils während eines Zeitintervalls von 0,577 Millisekunden übermittelt werden. Dann folgt eine Pause von 7 solcher Zeitintervalle, dann die nächste Portion. Während der Pausen können andere Telefonate übermittelt werden (Abbildung 4).

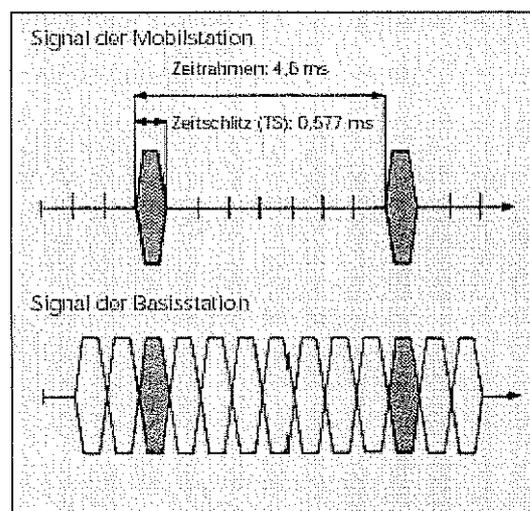


Abbildung 4 Zeitschlitzverfahren: Zeitverlauf der Felder für Mobil- und Basisstation (StMLU 2001)

Das neu einzuführende **UMTS** arbeitet bei Frequenzen zwischen 1900 und 2200 MHz mit einer ununterbrochenen Trägerwelle. Die einzelnen Gespräche werden durch spezielle Verschlüsselungscodes unterschieden.

Zusammenfassung: Die Gesamtheit aller elektromagnetischen Felder wird als **elektromagnetisches Spektrum** bezeichnet. Es umfasst den Bereich der nicht-ionisierenden und den Bereich der ionisierenden Strahlung. Niederfrequente Felder (< 30 kHz) und hochfrequente Felder (30 kHz-300 GHz) gehören zur nicht-ionisierenden Strahlung. Das elektromagnetische Spektrum, das vom Mobilfunk genutzt wird, befindet sich im Bereich der **hochfrequenten Felder**. Für das D-Netz werden Frequenzen um 900 MHz, für das E-Netz um 1800 MHz und für UMTS zwischen 1900 und 2200 MHz genutzt.

3 Exposition der Bevölkerung gegenüber Mobilfunkwellen

3.1 Basisstationen (Sendemasten)

Im Gegensatz zu Rundfunk und TV, deren Sendetürme in der Regel Reichweiten von mehreren 100 km haben, muss beim Mobilfunk ein sogenanntes „zellulares Netz“ mit einer Vielzahl von Funkzellen aufgebaut werden, die untereinander koordiniert sind (Abbildung 5). Jede Funkzelle hat ihre eigenen Funkfrequenzen, damit sich Gespräche von Nachbarzellen nicht gegenseitig stören.

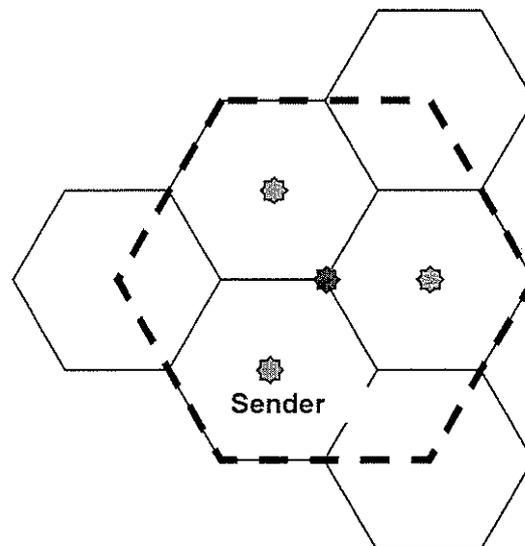


Abbildung 5 Zellulares Netz (Quelle: LfU)

Aufgrund der physikalischen Gesetze der Wellenausbreitung im Frequenzbereich des Mobilfunks und der begrenzten Sendeleistung des Handys ist der Radius einer derartigen Funkzelle beschränkt (von wenigen 100 m in Ballungsgebieten bis zu 15 km und mehr auf dem Land). Verantwortlich für die Versorgung der Funkzelle ist die Basisstation, deren Antennen auf einem Masten, Schornstein oder Dach installiert sind. Der Handy-Anrufer gibt die gewünschte

Telefonnummer ein, welche als elektromagnetische Welle zur nächsten Basisstation gesendet wird. Die einzelnen Basisstationen sind untereinander und mit der zentralen Vermittlungsstelle des Netzbetreibers per Kabel oder Richtfunk, genau wie beim herkömmlichen Telefonnetz, verbunden. Sie übergeben das Gespräch im Mobilfunknetz an den Empfänger oder an andere Telefonnetze.

Die Antennen senden – je nach Funksystem – mit unterschiedlich hohen **Leistungen** (Tabelle 1). Diese liegen je nach System und Reichweitenanforderungen im Bereich von wenigen Watt bis zu ca. 50-100 Watt (im Vergleich zu Rundfunk- und TV-Sendeleistungen von bis zu mehreren Megawatt). Die Netzbetreiber tendieren zu einer Verringerung der Sendeleistungen der Mobilfunk-Basisstationen bei gleichzeitiger Verkleinerung der Zellen. Dies macht eine zusätzliche Bereitstellung von Basisstationen nötig, reduziert aber auch die Exposition im Nahbereich der Antenne und beim Handy und verbessert den Handyempfang.

Tabelle 1 Kenngrößen einzelner Mobilfunksysteme (aus: Bundesamt für Strahlenschutz 1998)

| Bezeichnung der Übertragungsart | Trägerfrequenz-System | maximale Leistung ¹ der Basisstation je Kanal | Bemerkungen |
|---------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------------|
| C-Netz | 450-465 MHz | 8 W oder 35 W | analoges Signal (jetzt abgeschaltet) |
| D-Netz | 890-960 MHz GSM-Standard | 10 W typisch, 50 W maximal möglich | digital, gepulst mit 217 Hz |
| E-Netz | 1710-1880 MHz DCS-Standard | 10 W | digital, gepulst mit 217 Hz |

¹ wird in der Praxis oftmals nicht erreicht

Neben Sendeleistung und Abstand ist das Bündelungsverhalten der montierten Antenne der bestimmende Faktor für die Stärke der Felder und damit die Exposition von Menschen in der Umgebung der Sendeanlage. Die Antennen senden in der horizontalen Umgebung entweder omnidirektional (waagrecht wird in alle Richtungen gleich viel Energie abgegeben), oder die elektromagnetische Welle wird mittels Richtantennen horizontal auf einen typischerweise 30° bis 120° breiten Sektor konzentriert. Üblicher Weise werden solche Sektorantennen verwendet.

Alle Typen von Mobilfunkantennen senden relativ stark gebündelt. Der Öffnungswinkel der Antenne beträgt normalerweise 5 – 10°, häufig mit einer zusätzlichen Neigung nach unten (z.B. 7°). Dadurch erreicht man eine gezielte Versorgung der lokalen Funkzelle. Außerhalb dieser „Hauptkeule“ der Antenne ist die Energieabgabe deutlich geringer (1/10 bis 1/1000). Der bodennahe Raum in unmittelbarer Nähe einer erhöht angebrachten Mobilfunkantenne ist daher – ähnlich wie beim Nahbereich eines Leuchtturmes (Schattenzone) – geringer exponiert als der Fernbereich.

Jede Vergrößerung des Abstandes zwischen Sendeanlage und Empfänger bewirkt bei gleichbleibender Sendeleistung und unverändertem Bündelungsverhalten eine Verminderung der Exposition. Die Leistungsflussdichte reduziert sich mit zunehmendem Abstand r von der Antenne proportional zu $1/r^2$ (Abstandsquadratgesetz). In einiger Entfernung führen und Streueffekte (z.B. Reflexion an Wänden und Beugung) in der Regel zu einem diffusen Mischfeld.

3.2 Mobilfunk-Endgeräte (Telefone)

Wie die Basisstationen senden auch die Endgeräte (Telefone) je nach System mit unterschiedlicher Leistung (Tabelle 2).

Tabelle 2 Welches System wird für welche Anwendung genutzt?
(aus: Bundesamt für Strahlenschutz 1998)

| Anwendung | Funksystem | Geräteklasse | Bemerkungen |
|---------------------------|--------------------------------------|---|---|
| Schnurloses Telefon | 800 – 1000 MHz CT1, CT2 | typisch 10 mW | analoges (CT1) bzw. digitales (CT2) Signal |
| | 1.880 – 1900 MHz DECT | typisch 250 mW Pulsleistung | digital, gepulst mit 100 Hz |
| Handys | C-Netz = 450 MHz | typisch bis 0,75 W | analoges Signal (Ende 2000 abgeschaltet) |
| | D-Netz = 900 MHz GSM-Standard | weniger als 2 Watt Pulsleistung | digital, gepulst mit 217 Hz, einheitlich in Europa |
| | E-Netz = 1800 MHz DCS-Standard | 1 W Pulsleistung | digital, gepulst mit 217 Hz, geringe Sendeleistung, deshalb enges Netz |
| Autotelefon/ Portables | C-Netz = 450 MHz | typisch 5 W (Portables) 15 W (fest eingebaut) | analoges Signal, Antenne wird abgesetzt betrieben |
| | D-Netz = 900 MHz GSM-Standard | 2 W Pulsleistung 8 W Pulsleistung (Portables) | digital, gepulst mit 217 Hz eingebaut mit abgesetzter Antenne (auf dem Fahrzeugdach oder dem Grundgerät) |

Die Exposition von Mobilfunknutzern durch Handys kann um einen Faktor 1000 bis 10000 höher als die durch Basisstationen sein (Silny 2001). Besonders bei schlechtem Empfang, z.B. in der Nähe eines "Funklochs", regelt das Handy die Sendeleistung hoch und man kann am Kopf Werte nahe des Grenzwertes erreichen. Sogar für umstehende Passanten kann dadurch die Exposition größer werden, als durch eine Basisstation in der Nähe. Man unterscheidet die leistungsstarken in Autos eingebauten Telefone (bis 20 Watt), die portablen Telefone (bis 8 Watt) und die kleinen

Handgeräte oder Handys (bis 2 Watt Sendeleistung). Daten über die spezifischen Absorptionsraten (SAR-Werte, s.a. Abschnitt 4.1) verschiedener handelsüblicher Handy-Modelle können unter <http://www.HandyWerte.de> im Internet abgefragt werden. Schnurlose Telefone, wie sie in Haushalten häufig verwendet werden, übertragen die Sprache aus dem normalen Telefonnetz per Funk zum Hörer. Die mittlere Sendeleistung dieser Geräte ist deutlich niedriger als die der Handys.

3.3 Handy-Nutzung in Kraftfahrzeugen

Untersuchungen verschiedener Automobilhersteller haben gezeigt, dass es beim Telefonieren wegen der Reflexion der Funkwellen im Fahrzeug zu einer sehr inhomogenen Feldverteilung in der Umgebung der Antenne kommt. Durch den raschen Wechsel vom Sendebereich einer Mobilfunk-Basiszellen zur nächsten beim Fahren und um aus dem Inneren der Karosserie (Faraday Käfig) Funkkontakt mit der Basisstation halten zu können, müssen die Handys oft mit voller Leistung senden. Dadurch ergeben sich in Kopfnähe verglichen mit üblichen Telefonierpositionen höhere Feldstärken. Ein wesentlich wichtigerer Effekt beim Telefonieren im Auto ist die durch die eingeschränkte Aufmerksamkeit erhöhte Unfallgefahr (siehe 6.2).

3.4 Mobilfunk in Bayern

In Bayern gibt es rund 8 Millionen Mobilfunknutzer (Stand Oktober 2000) [Deutschland ca. 50 Mio.; Stand: Mitte 2001] und ca. 6000 Mobilfunksendeanlagen. Durch den Ausbau der Mobilfunknetze ist bis 2005 mit einem Zuwachs von 4500 neuen Sendeanlagen zu rechnen (Pressemitteilung Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen 19.Okt. 2000).

Zusammenfassung: Für Mobilfunk benötigt man ein sogenanntes „zellulares Netz“ mit einer Vielzahl von Funkzellen. Die Datenübermittlung vom Handy zur Basisstation (und umgekehrt) erfolgt durch hochfrequente elektromagnetische Wellen. Die einzelnen Basisstationen sind untereinander und mit der zentralen Vermittlungsstelle per Kabel oder Richtfunk verbunden („normales Telefonnetz“). Eine Verringerung der Sendeleistungen der Mobilfunk-Basisstationen und Handys bei gleichzeitiger Verkleinerung der Zellen erfordert eine zusätzliche Bereitstellung von Basisstationen, jedoch i.A. eine Reduktion der Exposition. Aktuelle Daten über die SAR-Werte verschiedener handelsüblicher Handy-Modelle können unter <http://www.HandyWerte.de> abgefragt werden.

4 Biologische Grundlagen

Elektromagnetische Felder durchdringen wasserreiche biologische Materie nicht gleichmäßig. Bei hochfrequenten Wellen nimmt die Eindringtiefe in den menschlichen Körper mit zunehmender Frequenz ab. In dem für den Mobilfunk relevanten Frequenzbereich liegen die **Eindringtiefen** in der

Größenordnung weniger Zentimeter. Im biologische Material können die Felder des Mobilfunks **thermische** und **nicht-thermische** Wirkungen hervorrufen.

4.1 Thermische Wirkungen

Die Wirkungen beim Eindringen hochfrequenter elektromagnetischer Wellen in biologisches Material sind vor allem durch Polarisationen auf atomarer und molekularer Ebene bedingt. Dazu gehören periodische, mit der Frequenz des Feldes oszillierende Verschiebungen und Schwingungen von Elektronen und Atomen sowie von Dipolen (z.B. Wassermolekül) oder von Seitenketten größerer Moleküle. Die Orientierungspolarisation von Wasser ist der Hauptabsorptionsmechanismus im GHz-Bereich. Bei dieser Orientierungspolarisation der Wassermoleküle kommt es zu Kraftwirkungen auf benachbarte Wasserdipole, die bei hinreichend starker Hochfrequenz-Befelderung infolge von Reibungsverlusten zu einer **Wärmewirkung (thermische Effekte)** führen können. Der Anteil der Energie, der in der Haut absorbiert wird, kann als Erwärmung subjektiv empfunden werden. Entsteht die Wärme in tieferen Gewebeschichten, werden die Thermorezeptoren in der Haut übersprungen und die Wärmeentstehung wird nicht sofort wahrgenommen.

Thermische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder bei Mensch und Tier sind seit einigen Jahrzehnten bekannt und hinreichend untersucht. Quantitativ lässt sich die absorbierte Energie durch die **spezifische Absorptionsrate (SAR) in Watt pro Kilogramm Körpermasse (W/kg)** beschreiben. Eine Exposition mit intensiven Feldern, die SAR-Werte von über 4 W/kg erzeugen, kann die wärmeregulierende Fähigkeit des Körpers überfordern ($=1^{\circ}\text{C}$). Bei Überschreitung dieser Schwelle über einen längeren Zeitraum sind im **Tierversuch** eine Vielzahl biologischer Veränderungen nachgewiesen wie z.B. Wirkungen auf das genetische Material (s.a. Abschnitt 5.1), Wirkungen auf das Immunsystem (s.a. Abschnitt 5.3), Wirkungen auf neuronale Funktionen (s.a. Abschnitt 5.5), Wirkungen auf das Auge (s.a. Abschnitt 5.6), sowie Wirkungen auf das kardiovaskuläre System (s.a. Abschnitt 5.7).

Die quantitativen Daten aus Tierversuchen (einschließlich Primaten) legen die Annahme nahe, dass ähnliche Effekte auch **beim Menschen** auftreten können, wenn die Exposition (spezifische Absorptionsrate) von vergleichbarer Größenordnung ist. Die Extrapolation der Tierversuche auf die Verhältnisse beim Menschen ist aber nicht nur wegen der unterschiedlichen Resonanzabsorption schwierig, sondern auch aufgrund der Unterschiede zwischen den Spezies wie z.B. anatomische Unterschiede und Unterschiede in der Fähigkeit zur Thermoregulation.

4.2 Nicht-thermische Wirkungen

Neben den thermischen Wirkungen werden seit einiger Zeit auch sog. **nicht-thermische (athermische) Effekte** diskutiert, die möglicherweise schon bei Feldintensitäten auftreten können, bei denen eine messbare Temperaturerhöhung nicht festzustellen ist (schwache Felder).

Gut untersuchte nicht-thermische Wirkungen **auf Zellebene** sind Kraftwirkungen und felderzeugte Zellmembrananspannungen. **Kraftwirkungen** entstehen aufgrund von Ladungsverschiebungen (Polarisationen). Benachbarte polarisierte Moleküle können Kräfte aufeinander ausüben. **Zellmembrananspannungen** entstehen durch Verschiebungen von Raumladungen in der Umgebung von Strukturen mit elektrisch unterschiedlichen Eigenschaften. Diese Potentialdifferenzen überlagern sich dem Ruhepotential der Zelle und können Zellreaktionen beeinflussen.

Forschungsergebnisse von **Laborversuchen (in-vitro), Tierexperimenten und Versuchen am Menschen (in-vivo)** zu nicht-thermischen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder bieten ein uneinheitliches Bild (s.a. Abschnitte 0 und 6). In Einzelfällen konnten nicht-thermische Effekte wissenschaftlich reproduziert werden. Es ist aber noch offen, ob diese eine Bedeutung für die menschliche Gesundheit haben. Dazu muss geklärt werden, inwieweit Erkenntnisse aus den Laboruntersuchungen und Tierexperimenten auf den Menschen übertragbar sind. Die Bedeutung nicht-thermischer Effekte ist aus diesen Gründen wissenschaftlich unklar und muss in weiteren Studien genau geprüft werden.

Zusammenfassung: Die Eindringtiefen der hochfrequenten elektromagnetischen Wellen des Mobilfunks in biologisches Material liegen in der Größenordnung weniger Zentimeter. Im Hinblick auf die biologischen Auswirkungen muss zwischen thermischen und möglichen nicht-thermischen Effekten unterschieden werden.

5 Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Tier- und Zellversuchen

5.1 Wirkungen auf das genetische Material

Zur Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Wellen auf das Erbgut (DNA-Schäden, Mutationen, Chromosomenaberrationen) ist eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt worden. Einige, v.a. der älteren Studien sind schwer zu bewerten, weil die Exposition entweder sehr hoch war oder nicht genau genug charakterisiert wurde. Die Interpretation wird insbesondere durch die Frage möglicher thermischer Effekte unter den gewählten Expositionsbedingungen erschwert, weil bereits die Erwärmung alleine (d.h. unabhängig von einer Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern) genotoxisch sein kann (Asanami & Shimono 1999) und die Wirkung anderer bekannter genotoxischer Substanzen verstärken kann (Miura *et al.* 1986).

Mutagenitätstests in-vivo (z.B. dominante Letaltests an Ratten und Mäusen) ergaben bei Expositionen ohne thermische Effekte weder an somatischen Zellen noch an Keimzellen Hinweise auf Gen- oder Chromosomenmutationen (IEGMP 2000). Die Ergebnisse der in-vivo-Studien von Sarkar *et al.* (1994) und Lai & Singh (1995,1996), die in Gehirnzellen von exponierten Mäusen und

Ratten (2,45 GHz, gepulst und nicht-gepulst über 2 Stunden, Ganzkörper-SAR im Bereich 0,2-1,2 W/kg) eine Zunahme an DNA-Einzel- und -Doppelstrangbrüchen beobachteten, konnten von anderen Untersuchern (Malyapa *et al.* 1997, 1998) nicht reproduziert werden. Gegen die Möglichkeit einer DNA-schädigenden Wirkung sprechen auch die Resultate einer Reihe von in-vitro-Studien (Genmutationstests, DNA-Reparaturtests, Tests auf Induktion von DNA-Strangbrüchen) an Bakterien, Pflanzen- und Säugerzellen, die zum Großteil negativ verliefen (IEGMP 2000). Während weitere indirekte Indikatortests einer DNA-Schädigung wie Chromosomenaberrations- oder Schwesterchromatidenaustausch-Tests ebenfalls meist negative Ergebnisse zeigten, gibt es eine Reihe von Berichten über eine Zunahme von Mikrokernen in Studien an pflanzlichen, tierischen und menschlichen Zellen. Die Befunde sind allerdings z.T. widersprüchlich (z.B. Maes *et al.* 1993, 1995; Vijayalaxmi 2000, 2001) und schwer zu interpretieren (IEGMP 2000). Mikrokerne sind chromatinhaltige, von einer Membran umgebene Körperchen, die zusätzlich zum normalen Kern auch unabhängig von einer Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern in der Zelle vorkommen. Die gesundheitliche Bedeutung einer vermehrten Bildung ist unklar (Garaj-Vrhovac 1999).

Zusammengefasst kann nach dem gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Kenntnisse davon ausgegangen werden, dass Hochfrequenzfelder keinen direkten Schaden an Genom oder DNA verursachen und somit keine Krebserkrankung primär auslösen können, wenn sie nicht durch hohe Intensität zu einer starken Gewebserwärmung führen (thermische Wirkung) (IEGMP 2000).

5.2 Kanzerogenität

Umwelttoxinen können bei der Kanzerogenese entweder als **Initiator** oder als **Promotor** eine Rolle spielen. Im ersten Fall müsste eine entsprechend mutagene Wirkung auf die DNA, wie sie für ionisierende Strahlung (z.B. Röntgen-, Gammastrahlung) bekannt ist, vorliegen. Davon ist nach heutigen Erkenntnissen für schwache hochfrequente elektromagnetische Felder nicht auszugehen (s.a. Abschnitt 5.1). Dies ist insofern von besonderer Bedeutung als für Tumor-Promotoren im Gegensatz zu Initiatoren in der Regel von einer Wirkschwelle auszugehen ist.

Inwieweit eine **Tumorpromotion** durch hochfrequente elektromagnetische Felder möglich ist, ist bislang offen.

Diskutiert wird insbesondere die sogenannte **Melatonin-Hypothese**: Diese Hypothese zur Tumorpromotion durch elektromagnetische Felder beruht auf (z.T. inkonsistenten) Berichten über eine mögliche Beeinflussung der Epiphysenfunktion durch extrem niederfrequente Felder. Demnach könnten Magnetfelder die Melatoninproduktion in der Epiphyse hemmen. Da Melatonin wiederum die Produktion von Östrogen und Prolaktin hemmt, wird ihm ein protektiver Effekt auf hormonsensitive Tumore zugeschrieben. Möglicherweise wirkt Melatonin auch onkostatisch, indem es die Stimulation der Immunabwehr von Tumorzellen beeinflusst (Löscher *et al.* 1997). Über einen protektiven Effekt von Melatonin in-vitro und bei Tierversuchen – selbst unter radioaktiver Bestrahlung – wurde wiederholt berichtet (Vijayalaxmi *et al.* 1998, 1999, 2000; Karbownik *et al.* 2000). Daraus

ergibt sich die Frage, ob die hochfrequenten Felder des Mobilfunks ebenfalls eine Wirkung haben könnten. Die wenigen dazu bislang durchgeführten Tierexperimente (Rinder, Ratten, Hamster) sowie Versuche am Menschen zeigten jedoch keinen Einfluss auf die Melatoninspiegel (IEGMP 2000).

Eine weitere Möglichkeit der Tumorpromotion könnte in einer Stimulierung der **Ornithindecarboxylase (ODC)** bestehen. Proteinkinasen wie die ODC sind Schlüsselenzyme des Zellstoffwechsels, die durch Hormone, Wachstumsfaktoren und Lymphokine aktiviert werden. Die ODC ist das geschwindigkeitsbestimmende Enzym der Synthese von Polyamiden, die die DNA-Synthese, das Zellwachstum und die Zelldifferenzierung triggern. Hemmung der ODC führt zur Verlangsamung des Wachstums sowohl von normalen als auch von Tumorzellen. Stimulierung der ODC steht im Zusammenhang mit der Aktivität mutagener und tumorpromovierender Substanzen. In-vitro-Studien an Zellkulturen weisen darauf hin, dass gepulste Mobilfunkwellen bereits bei nicht-thermischen Feldstärken zu einer leichten ODC-Stimulierung führen können (Litovitz *et al.* 1993; Penafiel *et al.* 1997). Die maximale Stimulierbarkeit (ca. Verdopplung der Aktivität) war allerdings deutlich geringer als die durch bekannte Tumorpromotoren (bis zu 500-fache Erhöhung); eine vermehrte DNA-Synthese als Indikator einer aus der ODC-Stimulierung resultierenden Zellproliferation konnte nicht nachgewiesen werden. Da ähnliche Effekte auf die ODC auch durch andere, nicht-tumorigene Stimuli hervorgerufen werden können, wird ein tumorpromovierender Effekt von Mobilfunkwellen über eine ODC-Stimulierung für unwahrscheinlich gehalten (IEGMP 2000).

In **Tierversuchen** lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Exposition von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und der Entstehung von Krebserkrankungen derzeit weder nachweisen noch ausschließen (Moulder *et al.* 2000).

Im Auftrag der US Air Force untersuchten Guy *et al.* (1985) Ratten im ersten großen Programm, das sich mit Langzeiteffekten von Hochfrequenzwellen auf die Gesundheit befasste. Hierbei wurde eine vierfache, statistisch signifikante Zunahme von Krebserkrankungen dokumentiert. Die SAR-Werte lagen bei 0,15 – 0,4 W/kg. Verwendet wurde ein 2450 MHz Feld mit einer Pulsmodulation von 8 Hz. In einer Studie von Chou *et al.* (1992) wurden ebenfalls erhöhte Tumorraten bei Ratten festgestellt. Toler *et al.* (1997) und Frei *et al.* (1998) wiederum fanden unter ähnlichen Expositionsbedingungen keinen Einfluss auf die Tumorraten bei Mäusen.

In einer Studie von Repacholi *et al.* (1997, 1998) an besonders empfindlichen transgenen Mäusen fand sich nach Exposition gegenüber hochfrequenten GSM-Feldern von zweimal einer halben Stunde täglich (bis zu 18 Monate lang) eine 2,4-fache Erhöhung der Lymphomrate. Dabei nahm allerdings auch in der Kontrollgruppe die Lymphomrate am Ende der Beobachtungszeit stark zu. Außerdem wurden nur sterbende Tiere histologisch untersucht. Gegenwärtig laufen weitere Studien, um Repacholis Ergebnisse zu verifizieren. Selbst wenn sich die Befunde bestätigen sollten, bliebe noch die Frage der Übertragbarkeit auf den Menschen zu klären.

In einigen Studien zur **epigenetischen Wirkung** hochfrequenter Felder wurde eine Verstärkung der kanzerogenen Wirkung bekannter genotoxischer Substanzen (z.B. Mitomycin-C, Benzo(a)pyren) oder ionisierender Strahlung beobachtet, teilweise wurden jedoch keine Effekte gefunden (IEGMP 2000). Adey *et al.* (1996, 1999) beschrieben sogar einen schwachen (nicht signifikanten) protektiven Effekt von Mobiltelefon-Feldern (837 MHz) auf die Entwicklung von chemisch induzierten Hirntumoren bei Ratten.

Zusammenfassung: Nach dem Stand der wissenschaftlichen Kenntnisse können hochfrequente elektromagnetische Felder bei nicht-thermischen Feldstärken keinen direkten Schaden an Genom oder DNA verursachen und somit keine Krebserkrankung primär auslösen. Inwieweit eine Tumorpromotion möglich ist, ist bislang offen. Zur Kanzerogenität von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern liegen viele Studien aus Tier- oder in-vitro-Versuchen vor. Die Ergebnisse sind teilweise inkonsistent, die Übertragbarkeit auf den Menschen ist fraglich. Es besteht weiterer Forschungsbedarf.

5.3 Immunsystem

Starke, thermisch wirksame hochfrequente Felder können sowohl stimulierende als auch hemmende Wirkungen im Immunsystem ausüben, wobei die Effekte (z.B. Veränderungen der Lymphozytenaktivität) im allgemeinen reversibel sind und sich nach Beendigung der Befeldung normalisieren. Hinsichtlich möglicher Wirkungen schwacher hochfrequenter Felder liegen z.T. heterogene Ergebnisse vor.

Lyle *et al.* (1983) fanden unter in-vitro-Bedingungen bei einer Exposition gegenüber sinusförmig amplitudenmodulierten Feldern (450 MHz) bei nicht-thermischen Feldstärken eine Hemmung der Aktivität isolierter Lymphozyten. In einigen akuten und chronischen in-vivo-Studien führte die Exposition gegenüber schwachen Hochfrequenzfeldern zu transienten Effekten, die den Auswirkungen von thermisch bedingtem Stress oder physiologischen Veränderungen im Rahmen der Thermoregulation entsprachen (Smialowicz *et al.* 1983; Yang *et al.* 1983).

In Versuchen von Elekes *et al.* (1996) bewirkten amplitudenmodulierte und nicht-modulierte Hochfrequenzfelder unter Kurzzeitbedingungen eine Steigerung der Antikörper-Bildung in männlichen Mäusen. Fesenko *et al.* (1999) fanden bei exponierten Mäusen (10 GHz, SAR wahrscheinlich 2-5 mW/kg) eine Zunahme der TNF-Produktion der Makrophagen. Novoselova *et al.* (1999) zeigten, dass dieser stimulierende Effekt auf die zelluläre Immunität durch eine mit Antioxidantien angeereicherte Diät sogar noch verstärkt werden kann.

5.4 Blut-Hirn-Schranke

Ob die Hochfrequenzfelder des Mobilfunks die physiologisch variable Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Makromoleküle verändern können und inwieweit dies ein unmittelbares Gesundheitsrisiko darstellt, ist unklar.

Frey *et al.* (1975) und Oscar & Hawkins (1977) beschrieben Effekte schwacher gepulster Hochfrequenzfelder auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke bei narkotisierten Ratten. Die Aussagekraft dieser älteren Arbeiten wird jedoch aufgrund methodischer Mängel angezweifelt (z.B. unsicherer Einfluss von Störfaktoren wie Anästhetika und Probleme bei der Dosimetrie).

Jüngere, genauere Untersuchungen lieferten widersprüchliche Ergebnisse. So fand sich in Arbeiten von Neubauer *et al.* (1990) und Salford *et al.* (1992, 1994) eine erhöhte Proteindurchlässigkeit (Albumin), z.T. nur bei sehr niedrigen SAR-Werten (0,016 W/kg), höhere Expositionen führten zu keinem Effekt. Diese Befunde konnten allerdings von anderen Untersuchern (Fritze *et al.* 1997; Nagawa *et al.* 1999) nicht bestätigt werden.

5.5 Nervensystem, kognitive Funktionen

Aufgrund des hauptsächlichlichen Gebrauchs von Handys in unmittelbarer Nähe des Kopfes sind mögliche Effekte auf den Stoffwechsel und die Erregbarkeit von Nervenzellen, Neurotransmitter-Systeme und Hirnfunktionen (Gedächtnis, Verhalten etc.) von besonderem Interesse.

Angesichts der zentralen Rolle von **Calcium** für die Funktion von Neuronen und anderen Zellen beschäftigte sich eine Vielzahl von Forschern mit dem Einfluss hochfrequenter Felder auf die Ca-Ströme in Hirngeweben. Auch wenn in einigen Studien keine Effekte beobachtet wurden, so wurde doch in einer Reihe von Experimenten an Nervenzellen und Hirngewebepräparaten unterschiedlicher Spezies (Vögel, Katzen, Ratten, menschliche Neuroblastomzellen) ein erhöhter Ca-Efflux unter nicht-thermischen Expositionsbedingungen gezeigt (Dutta *et al.* 1989). Die Bedeutung dieser unter sehr artifiziellen in-vitro- bzw. ex-vivo-Bedingungen erhobenen Befunde für die in-vivo-Situation ist allerdings unklar. Außerdem trat der Effekt (wenn überhaupt) interessanterweise nur unter der Voraussetzung einer für die heutige Mobilfunktechnologie nicht relevanten niederfrequenten Amplitudenmodulation (ca. 16 Hz AM) auf (IEGMP 2000).

Aus elektrophysiologischen Untersuchungen ist gut belegt, dass starke, thermisch wirksame hochfrequente Felder die **Erregbarkeit von Neuronen** herabsetzen können, während die Exposition gegenüber Feldern, die zu keiner Gewebeerwärmung führen, keinen solchen Effekt hervorruft (IEGMP 2000).

Die meisten Untersuchungen an **Neurotransmitter-Systemen** (cholinerges System, Noradrenalin, Serotonin) wurden unter thermisch wirksamen Expositionsbedingungen durchgeführt. Die gefundenen Effekte spiegeln daher wahrscheinlich entweder thermoregulatorische Phänomene oder andere Reaktionen auf die Temperaturveränderung wieder. Angesichts der Bedeutung dieser Sys-

teme für die Funktionen des Gehirns besteht hier noch in besonderem Maße Forschungsbedarf (IEGMP 2000).

Aus Tierversuchen zum Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf **Lern- und Gedächtnisleistungen** ergaben sich Hinweise auf eine Beeinflussung des räumlichen Gedächtnisses. So machten in Versuchen von Lai *et al.* (1994) exponierte Ratten mehr Fehler bei der in Labyrinth erlernten Suche nach Futter. In einem anderen Modell der gleichen Arbeitsgruppe mussten schwimmende Ratten in einem mit Milchpulver getrüben Wasserbecken eine untergetauchte Plattform suchen, um das Wasser verlassen zu können. Die exponierten Ratten fanden die Plattform deutlich langsamer. Nach ausreichendem Training wurde die Plattform entfernt und das Verhalten erneut beobachtet. Die nicht exponierte Gruppe schwamm die meiste Zeit im Bereich der früheren Plattform. Die befelderten Tiere schwammen längere Zeit in anderen Teilen des Beckens und zeigten seltener eine Tendenz, die Plattform zu suchen (Lai 1999; Wang & Lai 2000).

Diese Versuche wurden z.T. bei relativ hohen Feldintensitäten durchgeführt und sind methodisch kritisiert worden (u.a. statistische Probleme, möglicherweise zusätzlicher Lärmstress durch Überschreitung der Hochfrequenz-Hörschwelle von Ratten). Die Ergebnisse konnten von Sienkiewicz *et al.* (2000) bei einer Ganzkörper-SAR von 0,05 W/kg (900 MHz, gepulst) nicht bestätigt werden.

Der im Frontalhirn gelegene Hippocampus spielt bei vielen Spezies eine entscheidende Rolle für räumliche Lern- und Gedächtnisleistungen. Lai *et al.* (1987, 1988, 1989) beobachteten bei hochfrequenter elektromagnetischer Feld-Belastung eine Abnahme von Acetylcholin in dieser Hirnregion. Jüngere elektrophysiologische Untersuchungen an Gewebeschnitten aus dem Hippocampus zeigten bei teilweise schon bei sehr niedrigen Feldintensitäten (700 MHz, ca. 0,001 W/kg) eine transiente Abnahme der Neuronenaktivität. Diese Veränderungen unter in-vitro-Bedingungen waren allerdings sehr variabel und sind hinsichtlich ihrer Bedeutung für die in-vivo-Situation schwer zu interpretieren. Bei der Extrapolation auf den Menschen muss auch bedacht werden, dass der menschliche Hippocampus sehr tief innerhalb des Gehirns liegt. In diesen Regionen kann nur extrem wenig Energie absorbiert werden.

5.6 Auge

Das Auge ist besonders empfindlich gegenüber der Einwirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder (Kues *et al.* 1992). Insbesondere in der Linse können aufgrund der fehlenden Durchblutung Wärme schlecht abgeleitet und Schädigungen am Fasergerüst schlecht repariert werden. Die Schwelle für eine Kataraktentstehung liegt bei akuter Exposition gegenüber einem 2,45 GHz-Feld bei einer SAR von > 100W/kg, einer Einwirkzeit von >1 Std, und einer Erhöhung der Temperatur im Auge auf > 43°C (UNEP/WHO/IRPA 1993).

Bei langfristiger Exposition unterhalb dieser Schwelle könnten selbst minimale Schäden wegen der begrenzten Regenerationsfähigkeit akkumulieren und langfristig auch zur Linsentrübung oder anderen Folgeerscheinungen führen (siehe auch 6.4.2.3). Über degenerative und andere

Veränderungen am Auge (z.B. transient veränderte elektrische Aktivität der Retina) im Tierversuch (einschließlich Primaten) wurde wiederholt berichtet. Die Effekte traten allerdings immer erst bei Intensitäten deutlich oberhalb der beim üblichen Handygebrauch zu erwartenden Expositionen auf (IEGMP 2000).

5.7 Kardiovaskuläres System

Exposition gegenüber starken, thermisch wirksamen hochfrequenten Feldern kann, wenn sie mit einer Erhöhung der Körpertemperatur einhergeht, auf vielfältige Weise entweder direkt (Effekte an Herz oder/und Gefäßen) oder indirekt über regulatorische Mechanismen (Barorezeptoren, Kreislaufzentrum im Hirnstamm, vegetatives Nervensystem) das Herzkreislaufsystem beeinflussen. Die vorliegenden tierexperimentellen Befunde liefern jedoch keinen Hinweis dafür, dass sich diese Effekte qualitativ oder quantitativ von anderweitig verursachten Erhöhungen der Körpertemperatur unterscheiden (IEGMP 2000).

Mobilfunkrelevante (nicht-thermische) Expositionen führten in Tierversuchen zu keinerlei messbaren Effekten auf Herzfrequenz und Blutdruck (IEGMP 2000).

5.8 Fertilität, Schwangerschaft

In einer Vielzahl von Tierexperimenten wurden keine Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder unter mobilfunkrelevanten Expositionsbedingungen auf die Fertilität gefunden (IEGMP 2000). Dasdag *et al.* (1999) fanden allerdings Schrumpfungen der Samenkanälchen männlicher Ratten nach Exposition gegenüber Mobiltelefon-Feldern mit einer SAR von 0,141 W/kg (Sprach- und Stand-By-Modus). Diese Ergebnisse müssen in weiteren Untersuchungen verifiziert werden.

Aus den vorliegenden tierexperimentellen Studien ergeben sich keine Hinweise dafür, dass Mobilfunkwellen (unter für Handy-Nutzung zu erwartenden Expositionsbedingungen) Effekte auf Schwangerschaft und Fetal- bzw. Embryonalentwicklung haben (IEGMP 2000).

5.9 Rinderstudie

In einer vom bayerischen Umweltministerium in Auftrag gegebenen Studie zum Einfluss von elektromagnetischen Feldern von Mobilfunkanlagen (GSM-Befelderung) auf Gesundheit, Leistung und Verhalten von Rindern (in Bayern und Hessen) konnte eine schädigende Wirkung weder bewiesen noch ausgeschlossen werden (Herzog, Unsheim, Wuschek *et al.* 2001). Die Ergebnisse dieser Studie sind von Confoundern (Störgrößen) wie der Rinderrasse, der Rinderviruserkrankung BVD, der geographischen Lage und der Qualität der Tierhaltung stark beeinflusst. Eine Interpretation der Ergebnisse ist damit äußerst problematisch. Die z.T. gehäuft auftretenden Missbildungen korrelieren stärker mit der Präsenz des BVD-Virus als mit der Exposition durch ein elektromagnetisches Feld. Auch der nach den Autoren hochsignifikante Unterschied in der Wie-

derkaufrequenz auf der Weide lässt keine sichere Aussage zu, da diese Stichprobe (nur 8 Betriebe hatten eine Weidehaltung) zu klein war.

Zusammenfassung: Zu möglichen Effekten auf das Immunsystem, das ZNS und sonstige Körperfunktionen liegen viele unbestätigte Einzelergebnisse aus Tier- und Zellversuchen vor. Allein aus dieser Tatsache ergibt sich weiterer biophysikalischer Forschungsbedarf. Die Ergebnisse der Rinderstudie sind von so vielen Störgrößen beeinflusst, dass keine Aussagen zum Einfluss von elektromagnetischen Feldern von Mobilfunkanlagen (GSM-Befeldung) auf Gesundheit, Leistung und Verhalten von Rindern gemacht werden können.

6 Gesundheitliche Auswirkungen von Mobilfunkwellen beim Menschen

6.1 Experimentelle Untersuchungen

6.1.1 Kognitive Funktionen

Die experimentelle Erfassung von unmittelbaren Auswirkungen einer Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf verschiedene kognitive Funktionen beim Menschen (z.B. Kurz- und Langzeitgedächtnis, Aufmerksamkeit, Reaktionszeiten) ist relativ einfach. Obwohl hierfür eine Reihe anerkannter Verfahren existieren, wurden bisher nur wenige Studien publiziert.

Preece *et al.* (1998, 2000) berichteten, dass Felder im Mobilfunkfrequenzbereich unter Nutzungsbedingungen die Reaktionszeit verkürzen, aber keine Effekte auf das Gedächtnis zeigen. Studenten wurden sowohl gegenüber kontinuierlichen Wellen als auch gepulsten Signalen für eine halbe Stunde exponiert (Simulation einer Nutzung von analogen bzw. GSM-Handgeräten mit durchschnittlichen Leistungen von 1 W bzw. 0,125 W). Danach wurden sie hinsichtlich Reaktionszeit und Präzision bei kognitiven Tests untersucht. Je höher die Leistung des Signals war, desto kürzer war die Reaktionszeit.

Koivisto *et al.* (2000) fanden bei freiwilligen Versuchspersonen ebenfalls Hinweise dafür, dass die Exposition gegenüber Mobilfunkfeldern (902 MHz GSM-Signal, 217 Hz Modulation, durchschnittliche Leistung 0,25 W) die Reaktionszeit bei einfachen Reaktions- und Vigilanz-Aufgaben leicht aber signifikant verkürzte, dass aber die Erkennungszeit in arithmetischen Tests verzögert war. Die Autoren folgerten, dass die Felder von Mobiltelefonen einen fördernden Effekt auf bestimmte Gehirnfunktionen, v.a. bei Aufgaben, die Aufmerksamkeit und Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis erfordern, ausüben könnte.

Auch wenn diese Studien in einigen Punkten aus methodischer Sicht kritisiert wurden (u.a. statistische Auswertung), so weisen sie dennoch auf die Möglichkeit biologischer Effekte einer Exposition gegenüber Mobilfunkwellen innerhalb der gültigen Grenzwerte hin, die für eine unmittelbare Beein-

flussung kognitiver Funktionen ausreichen. Weitere Studien müssen folgen, um diesen Verdacht zu bestätigen (IEGMP 2000).

6.1.2 Elektroenzephalogramm (EEG)

Bei der Interpretation von Wirkungen auf das normale **Ruhe-EEG** im Wachzustand muss die hohe inter- und intraindividuelle Variabilität der Befunde beachtet werden. Die Spontanaktivität ist abhängig von Faktoren wie z.B. Aufmerksamkeitsschwankungen und Entspannungszustand der Probanden, die einen erheblichen Einfluss auf das EEG haben können. Anfang der 90er Jahre hatte der Lübecker Medizophysiker v.Klitzing in einer Untersuchung bei zwei Drittel der Probanden bei Exposition gegenüber gepulsten Hochfrequenzfeldern EEG-Veränderungen festgestellt. Seine Studie wurde nie in nachvollziehbarer Weise publiziert. In späteren Studien konnten diese Ergebnisse nicht bestätigt werden. So fanden z.B. Röschke & Mann (1997), Krafczyk *et al.* (1999) und Krause *et al.* (2000) keine Hinweise auf einen Einfluss elektromagnetischer Felder auf das Ruhe-EEG.

Widersprüchlich sind auch die experimentellen Befunde hinsichtlich einer Beeinflussung des **Schlaf-EEG**. Während Mann & Röschke (1996) bei Exposition gegenüber Mobilfunk-ähnlichen Feldern (GSM) verkürzte REM-Schlafphasen und EEG-Veränderungen während des REM-Schlafes fanden, konnten diese Ergebnisse in späteren Untersuchungen der gleichen Arbeitsgruppe (Wagner *et al.* 1998) nicht reproduziert werden. In einer jüngeren Studie (Borbely *et al.* 1999) wurden wiederum Veränderungen von Schlafmuster (verminderte Anzahl von Aufwachphasen, d.h. schlaffördernder Effekt) und Schlaf-EEG bei Exposition gegenüber einem „Pseudo-GSM Signal“ (alternierende Abfolge von 15-Min. on/off-Intervallen der Exposition, 900 MHz) beobachtet.

Krause *et al.* (2000) fanden Veränderungen im **EEG-Reaktionsmuster (evozierte bzw. „event-related“ Potentiale, ERP)** während einer Gedächtnisaufgabe unter ähnlichen Expositionsbedingungen wie in der Studie von Koivisto *et al.* (siehe Abschnitt 6.1.1). In drei weiteren Studien wurde der Einfluss von GSM-ähnlichen Feldern auf ERP mittels akustischer und visueller Reize untersucht. Während Urban *et al.* (1998) keine Veränderungen beobachteten, berichteten Freude *et al.* (1998) und Eulitz *et al.* (1998) über positive Effekte.

Zusammengefasst ergeben sich auch aus den elektrophysiologischen Untersuchungen gewisse Hinweise auf einen möglichen Einfluss von Mobilfunkwellen auf Hirnfunktionen, die in weiteren Studien insbesondere bezüglich Effekte auf Schlaf und evozierte Potentiale geklärt werden müssen. Dabei ist zu betonen, dass derzeit weder die biologische noch die klinische Bedeutung der gefundenen Effekte und damit auch nicht deren Relevanz im Hinblick auf die Sicherheit der Mobilfunk-Technologie klar ist (IEGMP 2000). Bekannt ist außerdem, dass viele andere Umweltreize, wie z.B. Coffein, die Gehirnströme beeinflussen.

6.1.3 Herz-Kreislauf-System

Ein ursprünglich aufgrund von arbeitsmedizinischen Erfahrungen in der ehemaligen Sowjetunion vermuteter Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Herzfrequenz und Blutdruck konnte bei wissenschaftlicher Überprüfung nicht bestätigt werden (IEGMP 2000).

In einer jüngeren Studie wurde über akute Effekte (leichte Abnahme der Herzfrequenz und Erhöhung des Blutdrucks) einer Mobilfunkexposition unter Nutzungsbedingungen berichtet (übliche GSM Digital-Mobilfunktelefone in Nähe der rechten Kopfseite, 35 Minuten). Sowohl Planung (u.a. Fehlen einer echten Kontrollgruppe) als auch statistische Auswertung dieser Untersuchung wurden erheblich kritisiert (Reid & Gettinby 1998). Wahrscheinlich handelte es sich um eine Fehlmessung bedingt durch Interferenzen der elektromagnetischen Felder mit dem eingesetzten elektronischen Blutdruck- und Herzfrequenzmessgerät. Mechanische Messungen mit der Blutdruckmanschette zeigten keine Effekte. Die Arbeit soll zurückgenommen werden.

Zusammenfassung: Trotz teilweise widersprüchlicher Befunde ergeben sich aus experimentellen Untersuchungen am Menschen Hinweise auf eine mögliche unmittelbare Beeinflussung kognitiver Funktionen durch Handy-Nutzung, die in weiteren Studien geklärt werden müssen. Für einen Effekt auf das Herz-Kreislauf-System gibt es derzeit keinen Anhalt.

6.2 Handy-Nutzung beim Autofahren

Die größte akute Gefahr für die menschliche Gesundheit durch Mobilfunk geht von der Benutzung des Handys während des Autofahrens aus.

Experimentelle Untersuchungen mit Fahrsimulatoren oder auf Teststrecken zeigten übereinstimmend, dass die Mobilfunk-Nutzung im fahrenden Fahrzeug zu einer Verlängerung der Reaktionszeiten und Bremswege sowie zu einer schlechteren Adaptation an außergewöhnliche Fahrsituationen führt (IEGMP 2000; Schüz & Michaelis 2001).

Diese Befunde decken sich mit epidemiologischen Erkenntnissen zum Auftreten von Verkehrsunfällen (Dreyer *et al.* 1999). Demnach erhöht die Nutzung eines Mobiltelefons im fahrenden Auto sowohl das allgemeine Unfallrisiko als auch das Risiko durch einen Unfall zu sterben. Dies führte in der Zwischenzeit zum Verbot von Mobiltelefonaten während der Autofahrt, wenn keine Freisprechanlage zur Verfügung steht. Allerdings wird selbst bei Verwendung einer Freisprecheinrichtung die Konzentration während des Fahrens erheblich beeinträchtigt, was zu einem höheren Unfallrisiko führen kann (Schüz & Michaelis 2001).

6.3 Wirkungen auf medizinisch relevante elektronische Geräte

Bestimmte elektronische Geräte reagieren auf hochfrequente Felder sehr viel empfindlicher als der Mensch. So muss auf indirekte Gefahren und Beeinträchtigungen hingewiesen werden, die mit der elektromagnetischen Beeinflussung von elektronischen oder elektromedizinischen Geräten bezie-

ungsweise von elektrisch betriebenen Körperhilfen zusammenhängen. Dabei handelt es sich zum Beispiel um die Funktionsbeeinflussung von empfindlichen Diagnose-/Therapiegeräten. Die Störfeldstärken medizinisch-technischer Geräte können bereits von Leistungsflussdichten erreicht werden, die noch knapp unter den derzeitigen Personenschutzgrenzwerten liegen. Das heißt, dass Mobilfunkgeräte in unmittelbarer Nähe einen solchen Störeinfluss haben können, Sendeanlagen, die sich ja in einiger Entfernung befinden, jedoch nicht. Daher sollte die Verwendung von Mobilfunkgeräten in sensiblen Bereichen unterbleiben, solange die Störsicherheit der betreffenden Geräte ungeklärt ist.

Herzschrittmacher, Insulinpumpen, Nervenstimulatoren und andere elektrisch betriebene Implantate können durch Funktelefone und Handys beeinflusst werden. Personen mit solchen Implantaten sollten Mobilfunkgeräte nicht in die Nähe der Implantate bringen. Trägern von Herzschrittmachern wird, um das Risiko einer Störbeeinflussung möglichst gering zu halten, empfohlen, das Handy nicht näher als 25 cm und portable Geräte mindestens 50 cm vom Schrittmacher entfernt zu betreiben. Weitere Fragen sind mit dem behandelnden Arzt abzuklären.

Bei **Hörgeräteträgern** können Belästigungen durch Brummgeräusche auftreten. Stichproben ergaben eine Störbeeinflussung vieler, insbesondere älterer Hörgeräte bei Benutzung von schnurlosen Telefonen bis zu einem Abstand von 30 cm und durch Handys bis 70 cm. Zum Telefonieren sollte das Hörgerät dann gegebenenfalls abgeschaltet werden.

Zusammenfassung: Die größte akute Gefahr für die menschliche Gesundheit durch Mobilfunk geht von einer Nutzung des Handys während des Autofahrens aus. Die Verwendung von Mobilfunkgeräten in medizinisch sensiblen Bereichen sollte aufgrund der elektromagnetischen Störwirkung unterbleiben. Trägern von Herzschrittmachern wird empfohlen, das Handy nicht näher als 25 cm und portable Geräte mindestens 50 cm vom Schrittmacher entfernt zu betreiben.

6.4 Epidemiologische Studien zum allgemeinen Gesundheitsrisiko

6.4.1 Problematik epidemiologischer Studien

Die Durchführung aussagekräftiger Studien zur Frage gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Mobilfunktechnologie in der Allgemeinbevölkerung ist problematisch.

Eine wesentliche Schwierigkeit stellt dabei die **Expositionserfassung** dar. Derzeit ist es nicht möglich, die Exposition durch **Basisstationen** in epidemiologischen Studien ausreichend zu berücksichtigen. Es gibt (noch) keine tragbaren Personendosimeter, welche die Exposition von Studienteilnehmern genau erfassen könnten. Messungen zeigten sehr deutlich, dass die Entfernung zu einer Basisstation allein kein Maß für die Stärke der Exposition ist. Die lokalen geographischen Verhältnisse, zum Beispiel Abschattung durch Gebäude, Dämpfung der Wellen durch Baumaterialien spielen bei den insgesamt geringen Feldern eine sehr große Rolle. Man fand

zudem nur eine äußerst geringe Korrelation zwischen Messungen in Innenräumen und im Freien. Ein weiteres Problem stellt die fehlende nicht exponierte Kontrollgruppe dar, da eine Exposition durch Basisstationen in Deutschland ubiquitär gegeben ist. Derzeit gibt es deshalb keine epidemiologischen Studien zur Frage nach zu gesundheitsschädigenden Wirkungen durch von Mobilfunk-Basisstationen emittierte hochfrequente elektromagnetische Wellen (Schüz & Michaelis 2001).

Auch bei **Handy-Benutzern** ist die individuelle Expositionserfassung problematisch. Expositionsschätzungen auf der Basis von Telefonrechnungen, wie sie in einigen Studien verwendet wurden, können zu systematischen Fehlern führen. Wird zum Beispiel nur die Häufigkeit der ausgehenden Rufe anhand von Telefonrechnungen ermittelt, werden einerseits nicht alle Nutzer erkannt und andererseits einzelnen Nutzern zu hohe Expositionen zugeordnet. Die Wahrscheinlichkeit, in einer solchen Studie einen kleinen Effekt oder eine Dosis-Wirkungsbeziehung zuverlässig zu entdecken, ist gering.

Ein weiteres Problem liegt in der **niedrigen Prävalenz der chronischen Erkrankungen**, die hypothetisch im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern diskutiert werden, sowie in der **Erfassung der unspezifischen und nicht monokausalen akuten Symptome** wie Kopfschmerzen und andere Befindlichkeitsstörungen. Die beobachtete Studienpopulation muss in diesem Fall entsprechend groß sein, um möglicherweise bestehende Assoziationen aufzuzeigen. Andere Einflussfaktoren müssen berücksichtigt und in die Auswertung einbezogen werden. Da eine gewisse Latenzzeit bis zum Auftreten von z.B. Tumorerkrankungen zu erwarten ist, muss auch die Studiendauer relativ lang sein. Retrospektive Studiendesigns sind zum einen auf Grund der ungenügenden Expositionserfassung, zum anderen wegen der erst seit relativ kurzer Zeit bestehenden exzessiven Handynutzung schwierig.

6.4.2 Tumorrisiko

6.4.2.1 Allgemeines Krebsrisiko

Johansen *et al.* (2001) untersuchten in einer bevölkerungsbasierten retrospektiven Kohortenstudie von Mobiltelefon-Nutzern in ganz Dänemark das Risiko für Krebs. Hierbei wurden 420 095 Mobiltelefonnutzer der Jahre 1982-1995 anhand der zwei dänischen Netzbetreiber identifiziert. Die Nachverfolgung dieser Kohorte begann mit dem Tag des Vertragsabschlusses für das Mobiltelefon und endete am 31.12.1996. Neuauftretende Krebserkrankungen wurden mit dem Krebsregister Dänemarks ermittelt. Etwa 42% der Nutzer hatten ein Mobiltelefon mit analoger Technik. Die verbleibenden Nutzer hatten digitale Mobiltelefone.

Insgesamt ließ sich bei Mobiltelefon-Nutzern kein erhöhtes Krebsrisiko nachweisen.

6.4.2.2 Hirntumore

Wegen der Energieabgabe der Handys beim Telefonieren gilt dem Risiko von Störungen im Kopfbereich bei Benutzern von Mobilfunkgeräten ein besonderes Augenmerk. Die Aussagekraft der vorliegenden Studien zur Frage eines erhöhten Hirntumorrisikos ist eingeschränkt, weil die Fallzahlen zum Nachweis kleiner Risiken nicht ausreichend groß waren, die Latenzzeiten zwischen dem Beginn einer Handy-Nutzung und der Tumordiagnose relativ kurz waren und die Studien vor allem Rückschlüsse auf die ältere analoge Technik erlauben (Schüz & Michaelis 2001).

In einer schwedischen Studie befragten Hardell *et al.* (1999) 209 Hirntumorpatienten sowie 425 Kontrollpersonen zum Gebrauch von Mobiltelefonen. Es zeigte sich unabhängig von verschiedenen Latenzzeitannahmen kein Zusammenhang zwischen Mobiltelefongebrauch und Hirntumorrisiko. Die Auswertungen ergaben zwar bei Benutzern von Analogtelefonen (die Latenzzeiten für GSM-Telefone sind noch zu kurz) eine (nicht signifikante) Assoziation der Tumorklassifikation mit der Kopfseite, an der überwiegend telefoniert wurde. Da das Tumorrisiko insgesamt nicht erhöht war, würde dies jedoch ein erniedrigtes Tumorrisiko für die gegenüberliegende Kopfseite bedeuten. Diese Ergebnisse konnten in anderen Studien (s.u.) nicht bestätigt werden. Die schwedische Studie steht in Kritik, eine große Anzahl von Patienten im Studiengebiet nicht eingeschlossen zu haben (Schüz & Michaelis 2001).

In zwei amerikanischen Fall-Kontroll-Studien (Muscat *et al.* 2000; Inskip *et al.* 2001) zeigten sich keine erhöhten Risiken für Hirntumore bei Handy-Nutzern bei den verschiedenen Analysen der Daten, die die Anzahl der Jahre des Gebrauchs, die Anzahl der Stunden pro Woche, und die kumulierte Stundenzahl pro Woche berücksichtigten. Die Studien sind jedoch nur dazu geeignet, ein erhöhtes Hirntumorrisiko nach wenigen Jahren moderater Handy-Nutzung auszuschließen (Schüz & Michaelis 2001).

Die dänische Kohortenstudie von Johansen *et al.* (2001) (alle Handy-Nutzer des Landes von 1982 bis 1995, s.a. Abschnitt 6.4.2.1) bestätigt die Ergebnisse der amerikanischen Studien. In der Kohorte traten auch unter den besonders im Blickpunkt stehenden Tumordiagnosen (Hirntumoren, Parotistumoren und Leukämien) nicht mehr Krebsfälle auf, als man erwarten musste.

6.4.2.3 Augentumore

In einer jüngeren deutschen krankenhauses- und bevölkerungsbasierten Fall-Kontroll-Studie ermittelten Stang *et al.* (2001) bei Nutzern von Mobiltelefonen und anderen Funkkommunikationseinrichtungen ein drei- bis vierfach erhöhtes Risiko, an einem Aderhautmelanom zu erkranken. Insgesamt waren in der Studie 118 erkrankte Patienten und 475 Kontrollen eingeschlossen. Die Exposition durch Nutzung von Funkgeräten wurde in dieser Studie, die nicht primär darauf ausgelegt war, einen Zusammenhang zwischen Augentumoren und Mobilfunkexposition zu untersuchen, über die Berufshistorie nur grob geschätzt. Andere Quellen elektromagnetischer Felder (z.B. Computermotoren), die in Interviews abgefragt wurden, zeigten keinen Zusammenhang zum Aderhautmelanomrisiko. Die Anzahl der Probanden in den einzelnen Expositionsgruppen war allerdings sehr

gering und die genaue Exposition unklar. Die Forschergruppe erachtet daher selbst weiteren Forschungsbedarf als erforderlich.

6.4.2.4 Internationale Fall-Kontrollstudie

Die WHO koordiniert zur Zeit eine multizentrische internationale Fall-Kontroll-Studie zu Mobilfunk-Nutzung und Tumoren des Kopf- und Halsbereiches, die im Jahre 2000 begann und bis mindestens Ende 2003 laufen wird. An der Studie werden insgesamt 13 Länder mit mehr als 6000 Patienten mit Hirntumor und Akustikus-Neurinom sowie 6000 Kontrollen teilnehmen. In die Studie eingeschlossen sind 30- bis 59-jährige Männer und Frauen. In Deutschland sind die neurochirurgischen Kliniken in Bielefeld, Heidelberg und Mainz beteiligt. Informationen über die Handy-Nutzung werden mit Fragebögen erfasst und mit Geräteinformationen verknüpft.

Ein Kritikpunkt an der Studie besteht darin, dass die Expositionszeit für die Handynutzung bisher eher kurz ist. Den Beginn der Studie um einige Jahre zu verzögern, ist aber keine sinnvolle Alternative, da sich daraus Probleme bei der Expositionserfassung ergeben.

6.4.3 Andere Gesundheitsstörungen

Um andere, eher kurzfristig auftretende unerwünschte Effekte im Zusammenhang mit der Nutzung von Handys zu identifizieren, veröffentlichte Hocking (1998) ein Inserat in einer medizinischen Zeitschrift in Australien. Auf die Bekanntmachung hin fanden sich 40 Personen mit Symptomen, die sie selbst mit der Benutzung eines Handys in Zusammenhang brachten. Die Betroffenen in dieser nicht-kontrollierten Studie berichteten v.a. über unspezifische Beschwerden im Kopf-Hals-Bereich (u.a. ausstrahlende Schmerzen, unangenehme Erwärmung, Schwindelgefühl) bei sehr unterschiedlichen Latenzzeiten und zeitlichen Verläufen.

In einer schwedisch-norwegischen Gemeinschaftsstudie an mehr als 10000 Mobilfunknutzern (sowohl analoge als auch digitale Telephonie) fand sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Gesprächszeit bzw. der Zahl der Gespräche pro Tag und der Prävalenz bestimmter Symptome wie Wärmegefühl hinter dem und um das Ohr, Kopfschmerz und Müdigkeit. GSM-Telefone zeigten einen schwächeren Zusammenhang als analoge Telefone (Mild *et al.* 1998). Nicht erklärbar ist der hierbei gefundene deutliche Unterschied der schwedischen und der norwegischen Daten. Wie auch in der australischen Studie lässt sich aus den Daten ein Zusammenhang mit der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern nicht herstellen.

6.5 „Elektrosensibilität“

Unter „Elektrosensibilität“ wird eine Reaktion auf elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder oder deren Quellen mit unspezifischen Befindlichkeitsstörungen verstanden. Symptome, die dem Erscheinungsbild der "Multiple Chemical Sensitivity" (MCS) vergleichbar sind, wie Schlafstörungen, Nervosität, innere Unruhe, Reizbarkeit, Konzentrations-

und Gedächtnisschwäche, Antriebslosigkeit, Kopfschmerzen, Tinnitus, Atembeschwerden und Stress werden beschrieben. Eine objektive Überprüfung dieser Beschwerden ist naturgemäß sehr schwierig. Eine EU-Studie von 1997 schätzte als „worst case“ ab, dass sich in einigen EU Ländern bis zu 1-2% der Bevölkerung als betroffen betrachten. Ein kausaler Zusammenhang zwischen der Exposition durch schwache elektromagnetische Felder und den genannten Symptomen konnte nicht nachgewiesen werden.

Radon & Maschke (1998) führten einen Doppelblindprovokationsversuch zum Zusammenhang von Elektrosensibilität und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (D-Netz-Handys) durch. Ein Zusammenhang, der in einer früheren Studie von Sandstrom *et al.* (1997) gesehen worden war, konnte nicht bestätigt werden. Allerdings war die Fallzahl in beiden Studien (11 bzw. 10 sich selbst als elektrosensibel einstufoende Probanden) so klein, dass eine zuverlässige Aussage nicht möglich ist.

Zusammenfassung: Aufgrund der momentanen epidemiologischen Datenlage kann nicht entschieden werden, ob hochfrequente elektromagnetische Felder von Mobilfunktelefonen für gesundheitliche Beeinträchtigungen in der Allgemeinbevölkerung Bedeutung haben. Hierfür müssten, neben der biologischen Plausibilität, reproduzierbare und valide Ergebnisse aus Probandenuntersuchungen und epidemiologischen Studien vorliegen. Die Durchführung aussagekräftiger Studien ist jedoch auf Grund der schwierigen Expositionserfassung, der langen Latenzzeit chronischer – insbesondere maligner Erkrankungen – und der geringen Spezifität akuter Beschwerden problematisch. Derzeit wird der Frage nach der Möglichkeit eines Tumorrisikos durch Mobilfunknutzung in einer groß angelegten WHO-Studie nachgegangen. Der Beweis des oft geforderten „Nullrisikos“ ist aus rein wissenschaftstheoretischer Sicht nicht möglich.

7 Gesundheitsschutz: Empfehlungen, Grenzwerte und Überwachung

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf den Schutz der Allgemeinbevölkerung und nicht auf den Arbeitsschutz, für den eigene Regelungen bestehen.

7.1 Internationale Empfehlungen

Unter internationalen Experten ist man sich einig, dass die Energieabsorption begrenzt werden muss, um den Menschen vor der Einwirkung von Hochfrequenzfeldern zu schützen.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) und die Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP) haben gemeinsam eine Bewertung der wissenschaftlichen Befunde über mögliche gesundheitliche Auswirkungen von Mobilfunkwellen vorgenommen. Auf der Grundlage dieser Bewertung hat die Internationale Strahlenschutzkommission ICNIRP (International Commission on

Non-Ionizing Radiation Protection) Grenzwertempfehlungen erarbeitet. Dabei wurden **alle** vorliegenden Forschungsergebnisse miteinbezogen.

Die Grenzwertempfehlungen für den Mobilfunkbereich beruhen auf der Dominanz der thermischen Effekte, d.h. der Begrenzung der vom Körper aufgenommenen Energie. Als Maß hierfür dient die spezifische Absorptionsrate (SAR, s.a. Abschnitt 4.1). Das Expertengremium kam zu dem Schluss, dass gesicherte biologische und gesundheitliche Wirkungen im Frequenzbereich der Mobilfunkwellen mit Reaktionen auf einen Anstieg der Körpertemperatur um mehr als 1°C übereinstimmen. Dieser Temperaturanstieg ergibt sich bei einer 30-minütigen Exposition des Menschen durch eine Ganzkörper-SAR von ca. 4 W/kg Körpergewicht. Sowohl die Labordaten als auch die begrenzten Versuche am Menschen haben gezeigt, dass erhebliche inter- und intraindividuelle Schwankungen sowie Speziesunterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern bestehen können. Auch Faktoren wie extreme Umgebungsbedingungen (z.B. hohe Temperaturen), hohes Aktivitätsniveau (z.B. körperliche Arbeit), Körpergröße und Orientierung zum Feld, Lebensalter, Gesundheitszustand und Medikamenteneinnahme können Einfluss auf die Auswirkungen der Exposition haben. Um diesen Einflussfaktoren Rechnung zu tragen wurde ein Sicherheitsfaktor von 50 für die Exposition der Normalbevölkerung (unter Einschluss besonders empfindlicher Gruppen) eingeführt, was einer durchschnittlichen Ganzkörper-SAR von 0,08 W/kg entspricht. Dieser Wert wird als sog. „Ganzkörper-Basisgrenzwert“ bezeichnet (ICNIRP-Richtlinie 1998, SSK 1999). Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, für Teilbereiche des Körpers zusätzlich einen „Teilkörper-Basisgrenzwert“ festzusetzen. Damit ist berücksichtigt, dass einzelne Körperteile (beim mobilen Telefonieren beispielsweise die Kopffregion) stärker den elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind und Körperteile unterschiedlich empfindlich sind.

Die sog. „**Basisgrenzwerte**“ (Tabelle 3) sind also Vorsorgewerte unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren, die so festgelegt wurden, dass eine zusätzliche Erwärmung von Körperbereichen um mehr als 1°C mit Sicherheit ausgeschlossen wird. Die mögliche Temperaturerhöhung bleibt damit auch unter ungünstigen Expositionsbedingungen (volle Antennenleistung, kleiner Abstand Antenne-Auge, langes Telefonieren) und unter Berücksichtigung der individuellen Einflussfaktoren zuverlässig innerhalb weniger zehntel Grad und damit im physiologischen Schwankungsbereich. Dies wird als grundlegende Voraussetzung dafür angesehen, dass gesundheitliche Risiken bei Verwendung von Mobilfunkgeräten ausgeschlossen sind. Ab Herbst 2001 geben die Handy-Hersteller freiwillig die SAR-Werte ihrer Geräte an.

Tabelle 3 Grenzwert-Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (ICNIRP)

| Basisgrenzwerte (SAR-Grenzwerte) | | |
|--|-----------|------------------------------------|
| Ganzkörpergrenzwert (für Basisstationen) | 0,08 W/kg | gemittelt über den gesamten Körper |
| Teilkörpergrenzwert (für Handys) | 2 W/kg | gemittelt über 10 g Körpergewebe |

Da die spezifische Absorptionsrate SAR in Körpern im allgemeinen schwierig zu bestimmen ist, wurden für die Praxis abgeleitete Grenzwerte für die leichter zu messenden elektrischen und magnetischen Feldstärken festgesetzt, bei deren Einhaltung die zulässigen SAR-Werte nicht überschritten werden (Tabelle 4).

Tabelle 4 Aus den Basisgrenzwerten abgeleitete Grenzwerte für den Frequenzbereich 400-2000 MHz (entsprechen Grenzwerten der 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen)

| | |
|-------------------|--|
| elektrisches Feld | 27,5 V/m bis 61,0 V/m (abhängig von der Frequenz) |
| magnetisches Feld | 0,073 A/m bis 0,16 A/m (abhängig von der Frequenz) |

Aus der Tatsache, dass die Grenzwertempfehlungen der ICNIRP aus der Kenntnis über thermische Wirkungen abgeleitet sind, darf nicht gefolgert werden, dass andere Effekte oder Wechselwirkungen bei der Festlegung nicht geprüft wurden. Die thermischen Wirkungen wurden von den Experten der WHO, IRPA und ICNIRP als die empfindlichsten gesundheitlich relevanten Wirkungen gewertet. Derzeit ergeben die Studien zu athermischen Effekten nach den Kriterien der Expertenkommissionen keinen Grund zur Änderung dieser Personenschutzwerte.

Zur Absicherung der seit April 1998 gültigen ICNIRP-Empfehlungen wurden inzwischen noch etliche weitere Gutachten von in der Verantwortung stehenden Expertenkommissionen erstellt, z.B. von der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) im Jahr 1999, von der „Royal Society of Canada“ ebenfalls 1999, von der britischen „Independent Expert Group on Mobile Phones“ im Jahr 2000 oder von der Expertengruppe des französischen Gesundheitsministeriums im Jahr 2001. Die Untersuchungen bestätigen die von der ICNIRP empfohlenen Grenzwerte für den Gesundheitsschutz.

7.2 Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV

Mit der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16.12.1996 wurde in Deutschland erstmals eine spezielle Regelung zum Schutz vor nicht-ionisierenden Strahlen getroffen (http://www.regtp.de/tech_reg_tele/00459/01). Die Verordnung gilt für die Errichtung und den Betrieb von Hoch- und Niederfrequenzanlagen, die gewerblichen Zwecken dienen oder die im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden und nicht einer Genehmigung nach § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) bedürfen. Im Sinn der Verordnung sind beispielsweise ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit einer allseitig gleichförmigen Sendeleistung von 10 Watt oder mehr, die elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300.000 MHz erzeugen. Somit fallen darunter auch Mobilfunk-Basisstationen.

Eine Novellierung der 26. BImSchV, in der die in Deutschland geltenden Grenzwerte geregelt sind, steht an, da EU-Empfehlungen vom 05.07.1999 nachzukommen ist (Regelungen zum breiteren Frequenzspektrum). Zugleich sollen Vorsorgeaspekte für den Hochfrequenzbereich in die Novelle einfließen. Sollten neuere wissenschaftliche Erkenntnisse zu dem Schluss führen, dass die Sicherheitsbestimmungen revidiert und die Grenzwerte abgesenkt werden müssen, so ist es Pflicht, der zuständigen Bundesregierung, dies in den einschlägigen Regelwerken umzusetzen. Federführend sind hier vor allem das Bundesumweltministerium, insbesondere für die Novellierung der 26. BImSchV, sowie das Bundeswirtschaftsministerium für die Einhaltung der Grenzwerte und für das Standortbescheinigungsverfahren der ihm nachgeordneten Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP).

Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft erfüllen die geltenden Grenzwerte, die den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICNIRP) bzw. der IRPA entsprechen (Tabelle 4) die Anforderungen des Gesundheitsschutzes vor konkreter Gesundheitsgefahr. Bei Einhaltung dieser Grenzwerte ist nach derzeit gesichertem wissenschaftlichen Kenntnisstand keine Gefahr für die Gesundheit des Menschen gegeben.

7.3 Regelungen zur Errichtung von Basisstationen

Mobilfunk-Basisstationen sind bauliche Anlagen, deren Errichtung nur unter bestimmten Voraussetzungen nach der **Bayerischen Bauordnung** genehmigungspflichtig ist. Entscheidend für die Frage der Genehmigungspflicht sind Lage und Größe der Anlage. Antennenanlagen sind bis zu einer Höhe von zehn Metern und zugehörige Versorgungseinheiten in bebautem Gebiet bis zu 10 m³ Volumen genehmigungsfrei (<http://www2.stmi.bayern.de/infothek/baueninb.htm>).

Im Baugenehmigungsverfahren findet keine Öffentlichkeitsbeteiligung, sondern lediglich eine Nachbarbeteiligung statt. Eine Prüfung von Standortalternativen oder andere Steuerungsmöglichkeiten für die Gemeinden (wie technische Varianten) sind im Baurecht nicht vorgesehen. Eine Ausweitung der Baugenehmigungsverfahren auf Antennen unter 10 m würde aus diesen Gründen keine weiteren Einflussmöglichkeiten für die Kommunen erschließen. Die Standortwahl ist Sache des Bauherrn. Zur Entscheidung liegt der Gemeinde das konkrete Bauvorhaben in der beantragten Form und am beantragten Standort vor. Die Gemeinde kann das Einvernehmen zum Bauvorhaben nur aus städtebaulichen Gesichtspunkten verweigern. Unabhängig davon, ob der Betreiber die Antenne auf privatem oder öffentlichem Eigentum errichtet, muss die Anlage spätestens 2 Wochen vor Inbetriebnahme bei der Kreisverwaltungsbehörde angezeigt werden.

Selbst wenn keine **bauliche Genehmigungspflicht** besteht, müssen Betreiber für den Neubau von Basisstationen mit einer Leistung von mehr als 10 Watt bei der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) eine **Standortbescheinigung** einholen (http://www.regtp.de/tech_reg_tele/start/fs_06.html). Die Betreiber melden vor Inbetriebnahme die maximale Sendeleistung und Richtcharakteristik der Basisstation an die RegTP, welche unter

Einbeziehen aller bereits bestehender Sendefunkanlagen im Umfeld (z.B. auch Radio- und Fernsehsender) in einem "worst-case"-Ansatz die Sicherheitsabstände nach den Grenzwerten der 26. BImSchV berechnet. Die Größenordnung dieser Sicherheitsabstände beläuft sich bei Mobilfunkanlagen meist auf wenige Meter. In einer Entfernung von 50 Metern beträgt die Leistungsflussdichte im allgemeinen nur wenige Promille der zulässigen Exposition. Bei Einhaltung der Grenzwerte ist nach derzeit gesichertem wissenschaftlichen Kenntnisstand keine Gefahr für die Gesundheit des Menschen gegeben. Die Einhaltung der in der Standortbescheinigung festgelegten Sicherheitsabstände wird von der RegTP stichprobenartig und auf Verdachtsmeldung hin überprüft. Dabei haben sich bisher nicht nur keine Grenzwertüberschreitungen ergeben; meist senden die Anlagen vielmehr mit Leistungen, welche weit unter den angegebenen und für die Berechnung herangezogenen Maximalwerte liegen.

7.4 Grenzwerte im europäischen Vergleich

In den meisten europäischen Ländern bestehen gesetzliche Regulierungen zur Begrenzung der Exposition der Öffentlichkeit gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Die Regulierungen beziehen sich fast alle auf die Vermeidung schädlicher Wärmewirkungen. Dabei werden im wesentlichen die von der ICNIRP gegebenen Empfehlungen für den Basisgrenzwert und die abgeleiteten Referenzwerte übernommen (Abbildung 6).

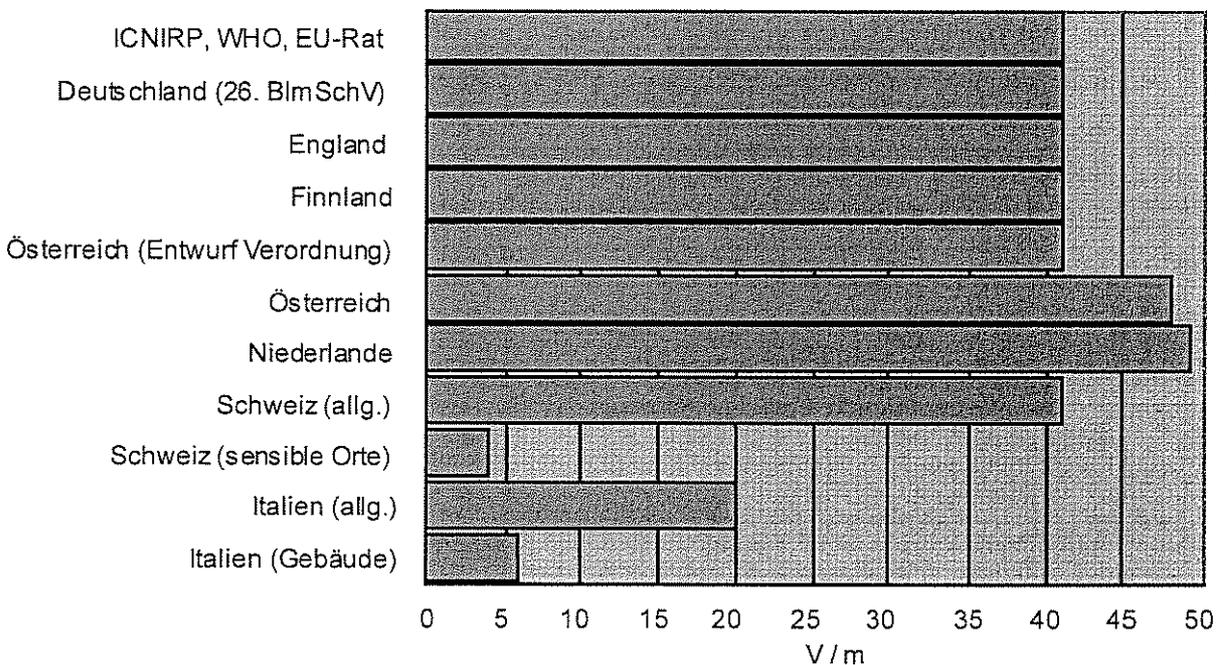


Abbildung 6 Übersicht über Grenzwertregelungen in Europa für hochfrequente elektromagnetische Felder (900 MHz) (aus: Wiedemann *et al.* 2001)

Eine Sonderstellung nehmen Italien und die Schweiz ein. Hier sind teilweise niedrigere Vorsorgewerte verankert, z.B. für Orte mit sensibler Nutzung, die deutlich unter den ICNIRP-Empfehlungen liegen. Die Grenzwertsetzung in Italien und der Schweiz orientiert sich nicht nur an

möglichen Gesundheitsschäden durch thermische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder, sondern an weiteren Abwägungen und der Einschätzung der in diesen Ländern verantwortlichen Institutionen, dass bei dem derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand auch Schädigungen durch nicht-thermische Effekte bei Feldstärken unterhalb der ICNIRP-Werte nicht mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können. Das vorgeschlagene Schutzniveau ist nicht wissenschaftlich begründet, sondern das Ergebnis einer Abwägung von Schutz- und Nutzinteressen (Wiedemann *et al.* 2001).

7.5 Empfehlungen sogenannter „kritischer Institutionen“

Die ICNIRP prüft in regelmäßigen Abständen den aktuellen Stand der Forschung und entscheidet darüber, ob eine Aktualisierung der Grenzwerte erforderlich ist. Sie veröffentlicht mit ihren Empfehlungen auch die Begründungen und die zugrunde gelegten wissenschaftlichen Prüfkriterien wie z.B.: Genügt eine Studie wissenschaftlichen Qualitätsansprüchen? Besteht ein Ursache-Wirkungszusammenhang? Liegt Relevanz für die Gesundheit des Menschen vor? Sie beurteilt Wissen/Nichtwissen und Unsicherheiten.

Die von diesem internationalen Expertengremium abgeleiteten Empfehlungen werden von einigen Institutionen nicht geteilt. Diese haben eigene Werte unter Verwendung zusätzlicher Sicherheitsfaktoren aus den bestehenden ICNIRP-Werten abgeleitet oder beziehen sich auf bestimmte nicht-gesicherte Effekte (z.B. nicht-thermische Wirkungen) (Tabelle 5).

Tabelle 5 Empfehlungen sog. „kritischer Institutionen“ für 900 MHz
(zum Vergleich 26. BImSchV: 4,5 W/m²)

| Institution | Leistungsflussdichte S |
|--|--|
| ECOLOG - Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung GmbH, Hannover (2001) | 0,01 W/m ² |
| BUND - Bund für Umwelt und Naturschutz (2001) | 0,0007 W/m ² |
| Bundesverband gegen Elektrosmog (1999) | 0,0001 W/m ² (ungepulst) 0,000001 W/m ² (gepulst) |
| Baubiologie | 0,001 – 0,00001 W/m ² |

Das sogenannte **Salzburger Modell** (Landessanitätsdirektion Salzburg 1998), das in der Praxis nur eine sehr lokale Bedeutung hat, geht in seiner Ableitung von einem gesundheitlichen Vorsorgeanspruch aus, welcher auch nicht-gesicherte Wirkmodelle und nicht-gesicherte athermische Effekte einbezieht. In schematischer analoger Anwendung eines Modells der Richtwertableitung nach den NOAEL/LOAEL-Schema wurde mit Sicherheitsfaktoren ein Richtwert für die Exposition der Allgemeinbevölkerung abgeleitet. Dieser **rechtlich unverbindliche**

Beurteilungswert/Vorsorgewert beträgt $0,001 \text{ W/m}^2$ für die Summe der GSM-Immissionen von Mobilfunkanlagen.

7.6 Überwachung der Exposition der Bevölkerung

Im technisierten Alltag bewegen sich die Menschen heute inmitten einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen von elektromagnetischen Feldern. Diese sind in der Umgebung technischer Geräte und Anlagen verhältnismäßig einfach zu bestimmen und im allgemeinen bekannt. Über die individuelle Exposition des Menschen liegen jedoch nur begrenzt Erkenntnisse vor. Im Rahmen bundesweiter Messaktionen wurden seit 1992 an über 3600 Messorten (Schulen, Kindergärten etc.) die vorhandenen elektromagnetischen Feldstärken aufgenommen. Dabei konnte eine Überschreitung der Grenzwerte zum Schutz von Personen an keinem Ort festgestellt werden. Wegen der Zeit- und Ortsabhängigkeit von Feldstärken können diese Messergebnisse nicht auf die Umgebung der Messorte übertragen werden (http://www.regtp.de/service/start/fs_02.html).

Messergebnisse zur Exposition gegenüber Mobilfunkfeldern stehen derzeit nur für konkrete Einzelfälle zur Verfügung. Dabei hat sich gezeigt, dass die deutschen Grenzwerte in der Regel deutlich unterschritten werden. Im Rahmen eines Monitoring-Projektes sind in Bayern ab dem Jahr 2002 flächendeckende Messungen geplant (<http://www.bayern.de/stmlu>). Ziel ist, die mittel- und langfristige Entwicklung der Immissionen durch elektromagnetische Felder zu dokumentieren. Auch in Baden-Württemberg ist eine ähnliche Erhebung vorgesehen.

Zusammenfassung: Unter internationalen Experten ist man sich einig, dass die Energieabsorption begrenzt werden muss, um den Menschen vor einer schädlichen Einwirkung von Hochfrequenzfeldern zu schützen. Die Grenzwertempfehlungen basieren auf der Vermeidung schädlicher Wärmewirkungen. Die Einhaltung des Ganzkörper-SAR-Wertes von $0,08 \text{ W/kg}$ Körpergewicht (für Basisstationen) und eines Teilkörper-SAR-Wertes von 2 W/kg (für Handys) wird als grundlegende Voraussetzung dafür angesehen, dass gesundheitliche Risiken bei Verwendung der Mobilfunktechnik ausgeschlossen sind. Entsprechende Grenzwerte sind in Deutschland in der 26. BImSchV festgelegt.

Eine Sonderstellung im europäischen Vergleich nehmen Italien und die Schweiz ein. Hier sind niedrigere Grenzwerte allgemein bzw. für Gebiete mit sensibler Nutzung verankert. Das vorgeschlagene Schutzniveau ist nicht wissenschaftlich begründet, sondern das Ergebnis einer Abwägung von Schutz- und Nutzinteressen.

7.7 Individuelle Minderung der Exposition

Jeder empfindet ein nicht klar quantifizierbares (Rest)-Risiko anders. Wer über die gesetzlich geregelten Schutzvorschriften hinaus nach individuellen Einflussmöglichkeiten sucht, dem können u.a. folgende Fragen zur Minderung der persönlichen Exposition dienen: Fragen Sie sich...

- Muss Ihr Handy immer eingeschaltet sein?
... in U-Bahn, S-Bahn, Zug, im Auto?
....in Schule, Büro, zu Hause, im Kino?
- Haben Sie im Auto eine Freisprechanlage mit Außenantenne?
- Wie können Sie den Empfang optimieren? (im Freien oder am Fenster besser als im Keller)
- Muss das Handy schon beim Anwählen am Ohr sein? (höchste Sendeleistung zu Beginn)
- Muss es für längere Gespräche das Handy sein? (Schnurtelefon, Headset, „Fasse Dich kurz“ – gerade auch für Kinder)
- Muss das Handy direkt am Körper getragen werden? (besser in Jacken- oder Schultasche)
- Was müssen Träger von z.B. Schrittmachern, Hörgeräten und Insulinpumpen beachten? (Abstand)
- Was sind wichtige Kriterien beim Handy-Kauf? (z.B. niedriger SAR-Wert, hohe effektive Sendeleistung, Optik, Preis)
- Brauchen Sie die Basisstation des ein schnurloses Telefon / die DECT-Basisstation im Schlafzimmer?

8 Zusammenfassung, Fazit

Nach den heutigen, durch eine große Vielzahl an Studien wissenschaftlich hinreichend gesicherten Erkenntnisstand beeinflussen hochfrequente elektromagnetische Felder den menschlichen Organismus primär über thermische Wirkung. Nicht thermische Effekte werden beschrieben, ihre Relevanz für das biologische System und die menschliche Gesundheit ist jedoch unklar.

Zur Frage nach eventuellen Langzeitfolgen im nicht-thermischen Bereich liegen wenige Studien an Versuchstieren vor, deren Ergebnisse insgesamt inkonsistent sind. Zudem ist – hier noch weit mehr als bei Toxizitätsuntersuchungen von Chemikalien – die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen unsicher. Zu Dosis-Wirkungsbeziehungen oder zu Kombinationseffekten mit anderen Faktoren fehlen aussagekräftige experimentelle Studien.

Das Wissen über elektromagnetische Felder ist aufgrund der Forschung groß. Dennoch ist aus den bestehenden Unsicherheiten die Forderung nach intensiver Fortführung insbesondere der biophysikalischen Forschung zu möglichen Wirkmechanismen auf zellulärer und subzellulärer Ebene abzuleiten.

Ergebnisse der WHO-Studie zur Assoziation zwischen Mobilfunknutzung und Tumor-Erkrankungen sind bis zum Jahr 2005 zu erwarten. Die derzeit vorliegenden Studien, insbesondere die Studie von Johansen *et al.* (2001), geben keine Hinweise auf eine erhöhte Tumorrates.

Andere gesundheitliche Effekte und Befindlichkeitsstörungen im Zusammenhang mit der Mobilfunktechnik können nur durch entsprechend umfangreiche und zeitaufwändige Studien untersucht werden.

Hinsichtlich der Basisstationen bestehen erhebliche Schwierigkeiten, die resultierende individuelle (vergleichsweise niedrige) Exposition auch nur annähernd genau zu erfassen (Personendosimetrie); valide Studien werden daher derzeit nicht für realisierbar gehalten. Zu bedenken ist, dass in aller Regel, der Gebrauch eines Mobiltelefons selbst zu ungleich höherer Exposition führt.

Für eine Untersuchung einer Assoziation zwischen Befindlichkeitsstörungen oder anderen gesundheitlichen Beeinträchtigungen (outcome) und der Handy-Nutzung ist neben der Quantifizierung der individuellen Exposition auch erforderlich, die zahllosen möglichen Ursachen (confounder, Risikofaktoren) solcher Störungen zu erfassen.

Das subjektiv empfundene und mehrfach beschriebene Phänomen einer Elektrosensibilität bedarf weiterer Klärung.

Die Grenzwerte der 26. BImSchV gewährleisten nach derzeit gesichertem Kenntnisstand den Gesundheitsschutz. Sie basieren auf der Dominanz thermischer Wirkung elektromagnetischer Felder. Die dargestellten Unsicherheiten machen es erforderlich, auch unterhalb der genannten Grenzwerte aus Gründen der **Gesundheitsvorsorge** nach Möglichkeiten einer Expositionsminderung oder -minimierung zu suchen.

Die mittlere Immissionsbelastung sollte umso niedriger ausfallen, je geringer der jeweilige mittlere Abstand zwischen Basisstation und Handy-Nutzer ist. Daraus ließe sich mit dem Ziel der Minimierung der Immissionsbelastung eine möglichst kleinräumige Versorgungsstruktur ableiten.

Dabei handelt es sich freilich um Fragen der technischen Realisierung optimalen Immissionsschutzes, wobei auch Aspekte der Akzeptanz der Zahl der Standorte eine Rolle spielen. Mögliche Vorsorgeszenarien haben Wiedemann *et al.* (2001) in einer Studie im Auftrag des Bayerischen Umweltministeriums dargelegt. Das dort dargestellte Szenario „Prudent Avoidance“ entspricht in seiner Zielsetzung weitestgehend dem **Beschluss der 74. GMK** (Gesundheitsministerkonferenz), dem ein Antrag Bayerns und Baden-Württembergs zugrunde lag.

Der zuständige Bundesumweltminister ist gefordert, einen Entwurf zur Novellierung der 26. BImSchV vorzulegen. Er wurde von der GMK gebeten, dabei

- geeignete Vorsorgeprinzipien aufzunehmen mit dem Ziel der Minimierung der Exposition und der Vermeidung unnötiger Immission

- insbesondere die biophysikalische Forschung intensiv fortzuführen und den weiteren Ausbau der Mobilfunktechnik durch Forschungsvorhaben im Sinne der Technikfolgenabschätzung zu begleiten
- für eine inhaltlich und zeitlich optimierte Information der Verbraucher durch die Mobilfunkbetreiber Sorge zu tragen.

Ziel aller Bemühungen ist eine auch unter Vorsorgegesichtspunkten langfristig gesundheitsverträgliche Mobilfunktechnik. Gefordert sind damit vor allem die Aufgabenbereiche der Risikoanalyse und der Risikobewertung. Wegen der letztlich aber entscheidenden individuellen und subjektiven Risikoakzeptanz oder -aversion stellen sich ebenso Aufgaben der **Risikokommunikation**, denn Risikovorsorge bedeutet Umgehen mit Unsicherheit und Ungewissheit; beides kann Ängste verursachen.

Die Frage, weshalb Mobilfunktechnik vielfach als Risiko für die Gesundheit gesehen wird, berührt vielfältige Aspekte, wie z.B.:

- Elektromagnetische Felder sind für den Menschen nicht wahrnehmbar.
- Die individuelle Risiko-Nutzen-Abwägung ist mit Blick auf Mobiltelefon (freiwillig eingegangene Exposition) und Basisstation unterschiedlich, obgleich das Eine ohne die Andere nicht auskommt.
- Unsicherheiten in der Bewertung führen zu Ungewissheit und zu Ängsten wegen befürchteter Schädigung.
- Mangelnde oder unverständliche Information bestärkt das Gefühl der Hilf- oder Machtlosigkeit.

Der Akzeptanz der Mobilfunktechnik dienen auch **Vereinbarungen im Rahmen des Umweltpaktes** der Bayerischen Staatsregierung, vertreten durch das Bayerische Umweltministerium, mit den Mobilfunkbetreibern, der fortgeschrieben wird. Ziel ist z.B. die Minimierung der Immission für sensible Nutzungen. Vereinbart wurden u.a. auch

- Planungen unter der Maßgabe der Erhaltung der Orts- und Landschaftsbilder
- laufende Verbesserung der technischen Standards
- Mehrfachnutzung der Sendestandorte
- frühere Information der Kommunen über geplante Standorte, damit diese ggf. Alternativstandorte vorschlagen können.
- Pilotprojekte zu mehr Mitwirkung der Gemeinden in einer Zusatzvereinbarung vom Juli 2001

Mobilfunktechnik beinhaltet wegen (noch) bestehender Lücken der wissenschaftlichen Kenntnis ein derzeit nicht quantifizierbares, insgesamt aber eher kleines Risiko. Der oft geforderte Nachweis

der Unschädlichkeit ist schon erkenntnistheoretisch unmöglich. Das vorhandene Wissen muss aber durch weitere intensive Forschung gemehrt werden.

Kinder gelten beispielsweise u.a. wegen der noch dünneren Schädelkalotte als Risikogruppe. In diesem Zusammenhang geht es nicht um die Frage nach der Sendeantenne auf dem Schuldach, da diese nach unten unbedeutend Energie abgeben, sondern um möglicherweise übermäßige Handy-Nutzung (vgl. IEGMP 2000, DISU 2001).

Auch bei der Mobilfunktechnik und elektromagnetischen Feldern generell kann wer will selbst etwas zur Minimierung seiner Exposition beitragen (s.a. Tipps in Abschnitt 7.7).

Bezieht man in einem ganzheitlichen Ansatz der Beurteilung gesundheitlicher Risiken andere Gefährdungen mit ein, so gilt für das mögliche Risiko durch elektromagnetische Felder freilich auch (Sandmann 1987):

"The risks that kill you are not necessarily
the risks that anger and frighten you."

9 Quellen, Internetadressen

Hauptsächlich verwendete Literatur (zum Teil wörtlich übernommen)

- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg). Stichwort Mobilfunk. Fachinformation Umwelt und Entwicklung 2/1998; Neuauflage im Druck
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg). Elektromagnetische Felder. Fachinformation Umwelt und Entwicklung 1/2000
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg) Mobilfunk in Bayern, Daten, Fakten, Ziele 2001.
- Bürgerforum Elektromog (<http://www.elektromog99.de>) Dokumentation
- Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg). Schutz vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission. Bonn 1991
- Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg): Strahlung und Strahlenschutz. Nichtionisierende Strahlung. 1999.
- Bundesverband gegen Elektromog e.V. Dipl. Ing. Joachim Gertenbach. Risiken und Wirkungen von Elektromog
c't 14/2000 S. 218 Elektromog (<http://www.heise.de/ct/00/14/218>)
- ECOLOG Mobilfunk und Gesundheit (<http://www.ecolog-institut.de/grenzwer.htm>)
- Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie (Hrsg). Elektromagnetische Felder (50 Hz) im Alltag – Fragen und Antworten. 1997
- Forschungsgemeinschaft Funk (Hrsg). Mobilfunk und Herzschrittmacher. Newsletter 3.Jg. Nr. 4. 1995.
- Forschungsgemeinschaft Funk (Hrsg). Störbeeinflussung von Herzschrittmachern. Editorial Wissenschaft Nr. 7. 1996.
- Forschungsgemeinschaft Funk (Hrsg). Verordnung über elektromagnetische Felder. Stellungnahmen. Newsletter 4.Jg. Nr. 3. 1996.
- Freie Hansestadt Bremen, Vorsorge im umweltbezogenen Gesundheitsschutz, Schriftenreihe Umweltbezogener Gesundheitsschutz, Band 12, 1999.
- GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Hrsg). "Elektromog". Seminar der Zentralen Informationsstelle Umweltberatung Bayern, Band 1. GSF-Bericht 20/93
- GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Hrsg). Strahlung im Alltag. Magazin Mensch und Umwelt 7.1991.
- GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Hrsg). Krank durch die Umwelt- Worüber streiten die Experten? Magazin Mensch und Umwelt 12.1998.
- GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Hrsg). Strahlen, Felder und Wellen GSF-Bericht 12/99.
- IEGMP (Independent Expert Group on Mobile Phones). sog. "Stewart-Report": Mobile phones and health. 2000; <http://www.iegmp.org.uk>
- Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e.V. (Hrsg). Elektrische und magnetische Felder – Strom im Alltag. Frankfurt 1994.
- Leitgeb N. Strahlen, Wellen, Felder. Ursachen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit. dtv Wissen und Praxis.
- Mobilfunk & Gesundheit Informationssammlung <http://www.land-sbg.gv.at/celltower>

- Strahlenschutzkommission (SSK), Berichte der. Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch elektromagnetische Felder (bis 300 GHz). Heft 23 (1999).
- Schüz J., Michaelis J. Nichtionisierende elektromagnetische Felder- Epidemiologie. In: Wichmann, Schlipkötter, Füllgraff: Handbuch der Umweltmedizin- 21.Erg.Lfg.3/01
- SSK (Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch elektromagnetische Felder (bis 300 GHz). Empfehlung der Strahlenschutzkommission und wissenschaftliche Begründung. Berichte der SSK, Heft 23. 1999.
- Umweltberatung Bayern Mobilfunk (7.1.1), Zentrale Informationsquelle GSF und Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (089/31872526)
- Umweltforum Bayern Arbeitskreis „Umwelt und Gesundheit“ Empfehlung Nr. 9 zur nichtionisierenden Strahlung (Elektrosmog); verabschiedet am 27.07.1999.
- Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (Fachbereich VIII Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung, Forschung) Wirkung elektromagnetischer Strahlung (WF VIII G-18/2001)
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. (ZVEI) Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder. Zusammenfassende wissenschaftlich-technische Darstellung, 4. Auflage, 1998.

Sonstige Literatur

- Adey WR, Byus CV, Cain DD, Haggren W, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, Kuster N, MacMurray Phillips JL, Stagg RB, Zimmerman G. Brain tumor incidence in rats chronically exposed to digital cellular telephone fields in an initiation-promotion model. Abstract A-7-3, p 27. 18 th Annual Bioelectromagnetics Society Meeting, Victoria Canada. 1996.
- Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, Kuster N, MacMurray A, Stagg R B, Zimmerman G, Phillips JL, Haggren W. Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumours in Fischer 344 rats chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves. *Radiat Res.* 1999;15 2:293.
- Asanami S, Shimono K. High body temperature induces micronuclei in mouse bone marrow. *Mutat Res.* 1999;390:79.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV. BGB. 1997;II:1966.
- Borbeley AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P. Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neuroscience Letters.* 1999;275:207-210
- Chou CK, Guy AW, Kunz LL, Johnson RB, Crowley JJ, Krupp JH. Long-term low-level microwave radiation of rats. *Bioelectromagnetics.* 1992;13:469-496.
- Dasdag S, Ketani MA, Akdag Z, Ersay AR, Sari I, Demirtas OC, Celik MS. Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Urol Res.* 1999;27:219-223.
- DISU (Dokumentations- und Informationsstelle für Umweltfragen/Osnabrück) Experten warnen vor Risiken durch Handys - „Eltern sollten ihre Kinder von der Technologie fernhalten“. Pressemitteilung (AFP). 31. Juli 2001. <http://www.uminfo.de>
- Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ. Cause-Specific Mortality in Cellular Telephon Users. *JAMA,* 1999;282:1814-1816.

- Dutta SK, Ghosh B, Blackman CF. Radiofrequency radiation-induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics*. 1989;10:197-202.
- Elekes E, Thruoczy G, Szabo LD. Effect on the immune system of mice chronically exposed to 50 Hz amplitude-modulated 2,45 GHz microwaves. *Bioelectromagnetics*. 1996;17:246-248.
- Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *NeuroReport*. 1998;9:3229.
- Fesenko EE, Makar VR, Novoselova EG, Sadovnikov VB. Microwaves and cellular immunity. I Effect of whole body microwave irradiation on tumor necrosis factor production in mouse cells. *Bioelectrochem Bioenerg*. 1999;49:29-35.
- Frei MR, Berger RE, Dusch SJ, Guel V, Jauchem JR, Merritt JH, Stedham MA. Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectromagnetics*. 1998;19:20.
- Frei MR, Jauchem JR, Dusch SJ, Merritt JH, Berger RE, Stedham MA. Chronic, low-level (1.0 W/kg) exposure of mice prone to mammary cancer to 2450 MHz microwaves. *Radiat Res*. 1998;150:568.
- Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I. Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics*. 1998;19:384.
- Frey AH, Feld SR, Frey B. Neural function and behaviour: defining the relationship. *Ann NY Acad Sci*. 1975;247:433.
- Fritze K, Sommer C, Schmitz B, Mies G, Hossman KA, Kiessling M, Wiessner C. Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain permeability in rat. *Acta Neuropathol*. 1997;94:465.
- Garaj-Vrhovac V. Micronucleus assay and lymphocyte mitotic activity in risk assessment of occupational exposure to microwave radiation. *Chemosphere*. 1999;39:2301-2312.
- Guy AW, Chou CK, Kunz LL, Crowley J, Krupp J. Effects of long-term low-level radiofrequency radiation exposure on rats. US Air Force School of Aerospace Medicine Brooks Air Force Base, Texas TR-85-64 Final Report August 1985, Approved for public release: distribution is unlimited.
- Hardell L, Nasman A, Pahison A, Hallquist A, Mild KH. Use of cellular telephones and the risk for brain tumors: a case-control study. *Internat J Oncology*. 1999.
- Herzog A, Unsheim J, Wuschek M et al. Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkanlagen auf Gesundheit, Leistung und Verhalten von Rindern. 2001. <http://www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/mobilf/mobilf.htm>
- Hocking B. Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use. *Occupational Medicine*. 1998;48:357-360.
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)(ed). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*. 1998;74:494-522.
- Inskip PD, Hatch EE, Stewart PA, Heineman EF, Ziegler RG, Dosemeci M, Parry D, Rothman N, Boice JD Jr, Wilcosky TC, Watson DJ, Shapiro WR, Selker RG, Fine HA, Black PMcL, Loeffler JS, Linet MS. Study design for a case-control investigation of cellular telephones and other risk factors for brain tumours in adults. *Radiat Prot Dosim*. 1999;86:45.
- Johansen C, Boice JD, McLaughlin JK, Olsen JH. Cellular telephones and cancer - a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst*. 2001;93:952-953.
- Karbownik M, Reiter RJ, Qi W, Garcia JJ, Tan DX, Manchester LC, Vijayalaxmi. Protective effects of melatonin against oxidation of guanine bases in DNA and decreased microsomal membrane fluidity in rat liver induced by whole body ionizing radiation. *Mol Cell Biochem*. 2000; 211:137-44.

- Koivisto M, Revonsuo A, Krause CM, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M, Hamalainen H. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology in NeuroReport*. 2000;11:No 2.
- Krafczyk S, Bötzel K, Schulze s, Haberhauer PE, Mai N. Messung des Einflusses gepulster Mikrowellen auf die Hirnstromaktivität des Menschen. 1999.
<http://www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/mobilf/studie.htm>
- Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Sarrela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. Effects of electromagnetic field emitted by a cellular phone on the EEG during a memory task. *Cognitive Neuroscience in NeuroReport*. 2000;11:No 2.
- Kues HA, Monahan JC, D'Anna D, McLeod DS, Luty GA, Loslov S. Increased sensitivity of the non-human primate eye to microwave radiation following ophthalmic drug pretreatment. *Bioelectromagnetics*. 1992;3:379-393.
- Lai H, Carino MA, Horita A, Guy AW. Acute low-level microwave exposure and central cholinergic activity: a dose-response study. *Bioelectromagnetics*. 1989;10:203-209.
- Lai H, Horita A, Chou CK, Guy AW. A review of microwave irradiation and actions of psychoactive drugs. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*. March 1987:31-36.
- Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. *Bioelectromagnetics*. 1994;5:95-104.
- Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. *Bioelectromagnetics*. 1994;15:95-104.
- Lai H, Singh NP. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*. 1995;16:207-210.
- Lai H, Singh NP. Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to low-level radiofrequency electromagnetic radiation. *Int J Radiat Biol*. 1996;69:513-521.
- Lai H. Acute exposure to noise affects sodium-dependent high-affinity choline uptake in the central nervous system of the rat. *Pharmacol. Biochem. Behav*. 1987;28:147-151.
- Lai H. Effects of repeated exposure to white noise on central cholinergic activity in the rat. *Brain Res*. 1988;442:403-406.
- Lai H. Neurological effects of radiofrequency electromagnetic radiation, *Proceedings of the International Workshop on possible biological and Health Effects of RF Electromagnetic Fields*, October 25-28 1998. 1999;University Vienna.
- Litovitz TA, Krause D, Mullins JM. The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:395-403.
- Löscher W, Mevissen M, Haussler B. Seasonal influence on 7,12-dimethyl-benz(a)anthracene-induced mammary carcinogenesis in Sprague-Dawley rats under controlled laboratory conditions. *Pharmacol Toxicol*. 1997;81:265-270.
- Lyle DB, Schechter P, Adey WR, Lundak RL. Suppression of T-lymphocyte cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude-modulated fields. *Bioelectromagnetics*. 1983;4:281-292.
- Maes A, Collier M, Slaets D, Verschaeve L. Cytogenetic effects of microwaves from mobile communication frequencies (954 MHz). *Electro Magnetobiology*. 1995;4:91-8.
- Maes A, Verschaeve L, Arroyo A, De Wagter D, Vercruyssen L. In vitro cytogenetic effects of 2450 MHz waves on human peripheral blood lymphocytes. *Bioelectromagnetics*. 1993;14:495-501.
- Malyapa RS, Ahern EW, Straube WL, Moros EG, Pickard WF, Roti Roti JL. Measurement of DNA damage following exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiat Res*. 1997;148:608.
- Malyapa RS, Ahern EW, Straube WL, Moros EG, Pickard WF, Roti Roti JL. Measurement of DNA damage following exposure to electromagnetic radiation in the cellular communications frequency band (835.62 and 847.74 MHz). *Radiat Res*. 1997;148:618.

- Malyapa RS, Ahern EW, Bi C, Straube WL, LaRegina M, Pickard WF, Roti Roti JL. DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. *Radiat Res.* 1998;149:637.
- Mann K, Röschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology.* 1996;33:41-47.
- Mild KH, Oftedal G, Sandstrom M, Wilen J, Tynes T, Haugsdal B, Hauger E. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. A Swedish-Norwegian epidemiological study. *National Institute for Working Life* 1998:23. Umea, Sweden. 1998.
- Mild KH, Oftedal G, Sandström M, Wilen J, Tynes T, Haugsdal B, Hauger E. Comparison of analogue and digital mobile phone users and symptoms. A Swedish-Norwegian epidemiological Study. *Proceedings of the International Workshop on possible biological and Health Effects of RF Electromagnetic Fields, October 25-28 1998; University Vienna.*
- Miura K, Morimoto K, Koizumi A. Effects of temperature on chemically induced sister-chromatid exchange in human lymphocytes. *Mutat Res.* 1986;174:15.
- Moulder JE, Erdreich LS, Malyapa RS, Merritt J, Pickard WF, Vijayalaxmi. Cell phones and cancer: what is the evidence for a connection? *Radiat Res.* 1999;151:513-31. *Radiat Res.* 2000;153:479-86.
- Muscat JE, Malkin MG, Thompson S. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA.* 2000;284:3001-3007
- Nagawa H, Tsurita G, Ueno S. Effects of 1.439 MHz microwave exposure on the brain in Sprague-Dawley rats. IN *Health Effects of Mobile Telephones, Proceedings URSI General Assembly, Toronto, August 1999.*
- Neubauer C, Phelan AM, Kues H, Lange DG. Microwave irradiation of rats at 2.45 GHz activates pinocytotic-like uptake of tacers by capillary endothelial cells of cerebral cortex. *Bioelectromagnetics.* 1990;11:261.
- Novoselova EG, Fesenko EE, Makar VR, Sadovnikov VB. Microwaves and cellular immunity. II. Immunostimulating effects of microwaves and naturally occurring antioxidant nutrients. *Bioelectrochem Bioenerg.* 1999;49:37.
- Oscar KJ, Hawkins TD. Microwave alteration of the blood-brain barrier system of rats. *Brain Res.* 1977;126:281.
- Penafiel ML, Litovitz TA, Krause D, Desta A, Mullins JM. Role of modulation on the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity in L929 cells. *Bioelectromagnetics.* 1997;18:132-41.
- Preece AW. Mobile phones and human heads. *NeuroReport.* 2000;11:No 2.
- Preece AW, Wesnes KA, Iwis GR. The effect of 50 Hz magnetic field on cognitive function in humans. *International Journal of Radiation Biology.* 1998;74:463-470.
- Radon K, Maschke C. Gibt es Elektrosensibilität im D-Netzbereich. *Umweltmed Forsch Prax.* 1998; 3:125-129.
- Reid SWJ, Gettinby G. Radio-frequency electromagnetic field from mobile phones. *Lancet.* 1998;352:576.
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. Lymphomas in E μ -Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res.* 1997;147: 631-640.
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. Lymphomas in Em-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900-MHz electromagnetic fields. *Radiat Res.* 1997;47:631-40.
- Repacholi MH. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 1998;19:1-19.

- Roschke J, Mann K. No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics*. 1997;18:172.
- Salford LG, Brun A, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR. Electromagnetic field-induced permeability of the blood-brain barrier shown by immunohistochemical methods. in *Resonance Phenomena in Biology*, ed. B. Norden, C Ramel. Oxford University press. 1992; pp 87-91.
- Salford LG, Brun A, Stureson K, Eberhardt JL, Persson BR. Permeability of the blood-brain barrier by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, and 200 Hz. *Microsc Res Tech*. 1994;27:535-542.
- Sandmann P. Risk communication: Facing public outrage. *EPA-Journal*. 1987;November:21.
- Sandstrom M, Lyskov E, Berglund A, Medvedev S, Mild KH. Neurophysiological effects of flickering light in patients with perceived electrical hypersensitivity. *J Occup Environ Med*. 1997;39:15-22.
- Sarkar S, Ali S, Behari J. Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis. *Mutat Res*. 1994;320:141.
- Schüz J, Michaelis J. Epidemiologie nichtionisierender elektromagnetischer Felder- eine Übersicht. *Umweltmed Forsch Prax* 2001;6:67-76.
- Sienkiewicz ZJ, Blackwell RP, Haylock RGE, Saunders RD, Cobb BL. Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial memory task in mice. *Bioelectromagnetics*. 2000;21:151.
- Silny J, Forschungszentrum für elektromagnetische Umweltverträglichkeit, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen. Persönliche Mitteilung. 2001.
- Smialowicz RJ, Rogers RR, Garner RJ, Riddle MM, Luebke RW, Towe DG. Microwaves (2,450 MHz) suppress murine natural killer cell activity. *Bioelectromagnetics*. 1983;4:371.
- Stang A, Anastassiou G, Ahrens W, Bromen K, Bornfeld N, Jöckel KH. The possible Role of Radiofrequency Radiation in the Development of Uveal Melanoma. *Epidemiology* 2001;12:7-12.
- Toler JC, Shelton WW, Frei MR, Merritt JH, Stedham MA. Long-term, low-level exposure of mice prone to mammary tumours to 435 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res*. 1997;148:227.
- UNEP/WHO/IRPA. *Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz)*. Geneva, World Health Organization, Environmental Health Criteria 137. 1993.
- Urban P, Lukas E, Roth Z. Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilot study. *Centr Eur J Public Health*. 1998;6: 288.
- Vijayalaxmi, Leal BZ, Meltz ML, Pickard WF, Roti JL, Straube WL, Moros EG. Cytogenetic Studies in Human Blood Lymphocytes Exposed In Vitro to Radiofrequency Radiation at a Cellular Telephone Frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiat Res*. 2001;155:113-121.
- Vijayalaxmi, Leal BZ, Szilagy M, Prihoda TJ, Meltz ML. Primary DNA damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res*. 2000; 153:479-86.
- Vijayalaxmi, Meltz ML, Reiter RJ, Herman TS, Kumar KS. Melatonin and protection from whole-body irradiation: survival studies in mice. *Mutat Res*. 1999;425:21-7.
- Vijayalaxmi, Reiter RJ, Meltz ML, Herman TS. Melatonin: possible mechanisms involved in its 'radioprotective' effect. *Mutat Res*. 1998;404:187-9.
- Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C. Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics*. 1998;19:199-202.
- Wang B, Lai H. Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats. *Bioelectromagnetics*. 2000;21:52.

- Wiedemann PM, Mertens J, Schütz H, Hennings W, Kallfass M. Risikopotenziale elektromagnetischer Felder: Bewertungsansätze und Vorsorgeoptionen. Band 1. Endbericht für das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. 2001.
- Yang HK, Cain CA, Lockwood J, Tompkins WAF. Effects of microwave exposure on the hamster immune system. I. Natural killer cell activity. Bioelectromagnetics. 1983;4:123.

Internetadressen

- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen:
<http://www.umweltministerium.bayern.de> ;
- Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz:
<http://www.stmgev.bayern.de>
sowie Portalseite des Arbeitskreises „Umwelt und Mobilfunk in Bayern“
<http://www.mobilfunk.bayern.de>
- Bayerisches Staatsministerium des Innern: <http://www2.stmi.bayern.de/infothek/baueninb.htm>
- Belastungsdaten gängiger Handys (SAR-Werte): Stiftung Better Electromagnetic Environment:
<http://www.bemi.se/fonder/clips/cellularSAR.htm>
- Beratungs- und Messstelle Elektromog, Wissenschaftsladen Bonn e.V.:
<http://www.wilabonn.de/esmog.htm>
- Berufsverband Deutscher Baubiologen in Lauf: <http://www.baubiologie.net>
- Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND): <http://www.bund.net>
- Bundesamt für Strahlenschutz: <http://www.bfs.de>
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: <http://www.bmu.de>
- Bürgerforum Elektromog beim Bundesumweltministerium: <http://www.elektromog99.de>
- Dachverband der Bürgerinitiative zum Schutz vor Elektromog: <http://www.buergerwelle.de>
- Deutscher Akkreditierungsrat, Messlabore: www.dar.bam.de
- Ecolog-Institut in Hannover: <http://www.ecolog-institut.de>
- Elektromog-Report: <http://www.strahlentelex.de>
- ETH Zürich: <http://www.emf-info.ch>
- Forschungsgemeinschaft Funk: <http://www.fgf.de>
- Forschungszentrum für elektromagnetische Umweltverträglichkeit an der RWTH Aachen:
<http://www.femu.rwth-aachen.de>
- Infodienst SAR Data: <http://www.sardata.com/sardata.htm>
- Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft/VDEW: <http://www.strom.de>
- Nova-Institut, Institut für politische und ökologische Innovation GmbH: <http://www.nova-institut.de>
- Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP: akkreditierte Prüflabore, 26. BImSchV, Überwachungsmessungen, Standortbescheinigung): <http://www.regtp.de>
- SAR-Werte von Handys: www.HandyWerte.de
- Sekretariat der ICNIRP: <http://www.icnirp.de>
- Strahlenschutzkommission (SSK): <http://www.ssk.de>
- Umweltinstitut München: <http://www.umweltinstitut.org>
- WHO-Health Communications: <http://www.who.int>
- <http://www.heise.de/ct/00/14/218>
- <http://www.promobilfunk.de>

**Gesundheit und Umwelt
Materialien zur Umweltmedizin**

Herausgeber:

**Bayerisches Staatsministerium für
Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz**

**Referat Umweltbezogene Gesundheitsvorsorge
Umweltmedizin, Gesundheitsverträglichkeit**

1 – 08/2001