

Bayerisches Staatsministerium für
Landesentwicklung und Umweltfragen



FACHINFORMATION

Umwelt & Entwicklung Bayern

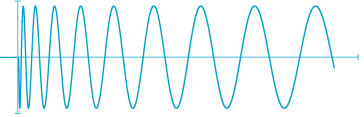
Elektromagnetische Felder

Einwirkungen auf den Menschen

1/2002

Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für
Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München
Telefon: (0 89) 92 14-00
Fax: (0 89) 92 14-22 66
Internet: <http://www.bayern.de/stmlu>
E-Mail: poststelle@stmlu.bayern.de
- 6. geänderte Auflage, September 2002 -
© StMLU, alle Rechte vorbehalten

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier
Umschlag aus Recyclingkarton



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
1 Grundbegriffe	5
Elektromagnetische Umwelt - was ist das?	
Was ist ein elektrisches Feld?	
Was ist ein magnetisches Feld?	
Wann spricht man von elektromagnetischen Feldern?	
Weitere wichtige elektrische Größen	
2 Das elektromagnetische Spektrum	8
Niederfrequente Felder	
Beispiele für Quellen und Feldstärken in Freizeit und Beruf	
Hochfrequente Felder	
Beispiele für Quellen und Feldstärken in Freizeit und Beruf	
3 Elektromagnetische Umwelt und Gesundheit	14
Welche bekannten Wirkungen haben elektromagnetische Felder auf den menschlichen Körper?	
Welche Gesundheitseinwirkungen werden noch diskutiert?	
Krebs, Gehirnströme, Elektrosensibilität, Melatoninhypothese	
4 Gesundheitsschutz und Grenzwerte	20
Von der Wirkung über die Bewertung zum Grenzwert	
Verordnung über elektromagnetische Felder	
Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten	
Empfehlung des Rates der Europäischen Union	
Empfehlung der Strahlenschutzkommission	
5 Was kann der Einzelne zur Risikominderung tun?	25
6 Ich will mehr wissen - Literaturtips und Infoadressen	26
7 Glossar	28

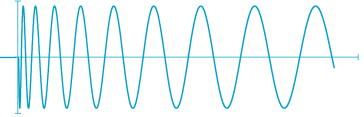
Einleitung

Über die möglichen Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder auf den menschlichen Organismus wird zunehmend kontrovers und emotional diskutiert. Der Begriff “Elektrosmog” wurde in Analogie zum “Stadtsmog” geprägt, bei dem sich Auto- und Industrieabgase, Schornsteinrauch und andere chemische Schadstoffe zu gefährlichen Konzentrationen akkumulieren können. Bezüglich unserer elektromagnetischen Umwelt soll mit dem Schlagwort “Elektrosmog” eine ähnliche Situation gekennzeichnet werden, in der sich Felder unterschiedlicher Frequenz und Intensität überlagern.

Die vielfältige Nutzung der modernen Technik ist ohne elektrischen Strom nicht möglich. Das unsichtbare elektromagnetische Umfeld dieser Technik, verursacht z.B. durch Hochspannungsleitungen, Rundfunk- und Richtfunksender, Mobil- und Funktelefone, elektrische Haushaltsgeräte und elektrische Installationen, lässt sich von Mensch und Tier nicht fernhalten. Der Mensch hat für diese in seiner Entwicklungsgeschichte neuen Einwirkungen oder Belastungen kein Wahrnehmungsorgan, womöglich können aber diese Einwirkungen seine Gesundheit beeinträchtigen. Diese Kombination mag wohl dazu führen, dass viele Menschen der “elektromagnetischen Umwelt” kritisch gegenüberstehen. Ganz anders hingegen die Situation bei der altvertrauten elektrischen Hausinstallation. Diese wird weitestgehend akzeptiert, obwohl ihre Anwendung jährlich zu zahlreichen Stromunfällen mit Todesfolge (ca. 150) in Deutschland führt. Durch elektromagnetische Wellen oder Felder bedingte Todesfälle konnten in der Allgemeinbevölkerung dagegen bisher nicht nachgewiesen werden.

Eines jedoch sollte sich jeder immer wieder vor Augen halten: Ein Leben ohne Risiko und Gefahren gibt es nicht; im Laufe der Menschheitsgeschichte ist das Leben in vieler Hinsicht sicherer und angenehmer geworden, ein Leben mit Null-Risiko ist jedoch nicht erreichbar. Was anzustreben ist, ist ein Leben mit möglichst geringen unfreiwillig eingegangenen Risiken. Für die freiwillig einzugehenden Risiken hilft nur ein Abwägen der Vor- und Nachteile der jeweiligen Tätigkeiten. Diese Entscheidung hat jeder für sich selber zu treffen.

Im Folgenden soll das Umweltrisiko “Elektrosmog” auf der Grundlage von Fachwissen und Aussagen verantwortlicher Expertengremien dargestellt werden.



1 Grundbegriffe

Alle elektrischen Einrichtungen, Apparate oder Leitungen sind von elektrischen und magnetischen Feldern umgeben und/oder senden elektromagnetische Wellen aus. Unter elektromagnetischer Umwelt versteht man die Gesamtheit aller elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder (z.B. aus Haushaltsgeräten, Hochspannungsleitungen, Rundfunk- und TV-Sendern), aber auch aus den natürlichen elektrischen und magnetischen Feldern in der Atmosphäre, die auf den einzelnen Menschen einwirken.

Elektromagnetische Umwelt - was ist das?

Ein statisches elektrisches Feld ist ein Kraftfeld um eine ruhende elektrische Ladung. Es bewirkt, dass gleichnamige Ladungen abgestoßen, ungleichnamige Ladungen angezogen werden.

Was ist ein elektrisches Feld?

Das Feld einer elektrischen Punktladung nimmt mit dem Quadrat des Abstandes ab. Punktladungen sind in unserer täglichen Umgebung jedoch selten. Das Feld eines elektrisch geladenen Drahtes (z.B. Fahrdrabt der Bahn) nimmt linear mit dem Abstand ab.

Die Stärke des elektrischen Feldes wird in V/m oder kV/m (Volt pro Meter bzw. 1000 V/m) angegeben. Das natürliche elektrische Feld zwischen Erdoberfläche und Ionosphäre hat je nach Wetterlage eine Stärke von 0,1 kV/m bis 0,5 kV/m; bei Gewitter kann die Feldstärke erheblich höher sein.

Elektrische Felder können bereits durch dünne Metallfolien oder -netze praktisch vollständig abgeschirmt werden (Faraday'scher Käfig).

Magnetfelder werden durch bewegte elektrische Ladungen (elektrische Ströme) erzeugt. Überall, wo Strom fließt, ist neben dem elektrischen Feld auch ein magnetisches Feld vorhanden. Permanentmagnete sind jedem aus dem täglichen Leben bekannt. In diesen werden die Magnetfelder durch atomare Ströme erzeugt. Das magnetische Feld nimmt je nach Leiterkonstellation mindestens linear mit dem Abstand zum erzeugenden Strom ab.

Was ist ein magnetisches Feld?

Die übliche Einheit für die magnetische Feldstärke ist A/m (Ampere pro Meter). Häufig wird statt dessen auch die sogenannte magnetische Flussdichte oder Induktion angegeben, die in Tesla (T) gemessen wird. Da 1 Tesla ein sehr starkes magnetisches Feld darstellt, sind die gebräuchlichsten Einheiten

1 mT (Milli-Tesla): 1 Tausendstel Tesla oder
 1 μ T (Mikro-Tesla): 1 Millionstel Tesla.

Es gilt für Luft der Zusammenhang: 1 A/m entspricht etwa 1,25 μ T.

Das natürliche magnetische Feld der Erde hat in unseren Breitengraden etwa eine Stärke von 40 bis 50 μ T. Es ist statisch. Sehr starke statische künstliche Magnetfelder treten z.B. in der Medizin beim Kernspintomographen auf und betragen bis zu mehreren Tesla.

Niedrigfrequente oder statische Magnetfelder lassen sich nur unvollständig, z.B. mit Platten aus speziellen Legierungen (" μ -Metall") abschirmen.

Wann spricht man von elektromagnetischen Feldern?

Zwischen elektrischen und magnetischen Feldern besteht ein enger, physikalischer Zusammenhang:

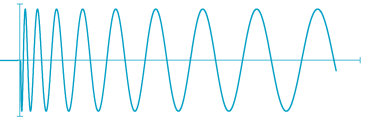
- Ruhende (statische) elektrische Ladungen besitzen nur ein elektrisches Feld, bewegte elektrische Ladungen erzeugen darüber hinaus ein magnetisches Feld.
- Ein zeitlich veränderliches magnetisches Feld verursacht ("induziert") wiederum ein zeitlich veränderliches elektrisches Feld

Zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder bedingen sich also gegenseitig. Bei hohen Frequenzen lösen sich diese Felder von der verursachenden Quelle und breiten sich im Raum aus, dann spricht man von elektromagnetischen Feldern (oder Wellen).

Die zeitliche Veränderung (Frequenz) von elektromagnetischen Feldern wird in Schwingungen pro Sekunde ausgedrückt. Die Einheit ist hier

1 Hertz (Hz)	= 1 Schwingung pro Sekunde
1 kHz (Kilo-Hertz)	= 10^3 Hz = 1 Tausend Hertz
1 MHz (Mega-Hertz)	= 10^6 Hz = 1 Million Hertz
1 GHz (Giga-Hertz)	= 10^9 Hz = 1 Milliarde Hertz

Felder im Niederfrequenzbereich (d.i. der Bereich bis ca. 30 kHz) sind objektgebunden bzw. leitungsgeführt, d.h. die elektrischen und magnetischen Felder befinden sich in der Nähe des Gerätes oder einer Leitung und nehmen mit der Entfernung schnell ab.



Im Hochfrequenzbereich sind die elektromagnetischen Felder nicht mehr leitungsgeführt, sondern werden in die Umgebung abgestrahlt. Im Gegensatz zu anderen Wellen (z.B. Schallwellen in Luft) benötigen elektromagnetische Felder kein Träger- oder Ausbreitungsmedium. Elektromagnetische Felder können sich auch im leeren Raum (Vakuum) ausbreiten. Diese Ausbreitung erfolgt mit Lichtgeschwindigkeit. Die elektromagnetischen Wellen wurden 1864 von James Clerk Maxwell theoretisch vorausgesagt, 1888 gelang es Heinrich Hertz, diese Wellen nachzuweisen.

Hochfrequente elektromagnetische Felder können durch Metallfolienumhüllung praktisch vollständig abgeschirmt werden.

Die Grundgrößen der Elektrizitätslehre sind die elektrische Ladung und die Spannung. Die Spannung wird stets zwischen zwei Punkten gemessen und ist deshalb die Differenz des elektrischen Potentials zwischen diesen beiden Punkten (z.B. zwischen der Oberfläche des Pluspoles und der Oberfläche des Minuspoles einer Batterie). Die Spannung (in Volt V) gibt an, welche Energie umgesetzt wird, wenn eine Ladung diese Potentialdifferenz durchläuft.

Weitere wichtige elektrische Größen

Im Alltag treten verschieden hohe Spannungen auf, Kleinspannungen sind zu finden bei batteriegetriebenen Geräten (z.B. 1,5 - 9 V). Niederspannung nennt man Spannungen unterhalb von 1000 V. Die Haushaltsinstallationen arbeiten mit 220 V Wechselspannung (Phase gegen Nulleiter gemessen).

Im Haushalt kann sich der menschliche Körper elektrostatisch aufladen (z.B. durch Gehen mit Kunststoffsohlen auf synthetischen Teppichen). Dabei kann der Mensch Potentialdifferenzen gegen Erde von mehr als 20.000 V (20 kV) annehmen. Eine Entladung des statisch aufgeladenen Menschen ist jedoch ungefährlich, da die gesamte übertragene Ladung gering ist. Wenn ein Mensch beispielsweise eine Potentialdifferenz von 20 kV gegen Erde hat, entspricht das einer elektrischen Aufladung von 0,000 003 Amperesekunden (As). In einer 25 Watt-Glühbirne (bei einer Spannung von 220 V) fließt zum Vergleich während einer Sekunde eine elektrische Ladung von 0,114 As.

Eine so geringe elektrostatische Entladung kann der Mensch nur deshalb spüren, weil der Entladungsblitz einen sehr kleinen Durchmesser hat. An der Eintrittsstelle ist die Stromdichte so groß, dass die Nervenzellen durch den Strom angeregt werden. Die Stromdichte ist die Ladungsmenge, die pro Sekunde durch eine bestimmte Fläche fließt.

Innerhalb des menschlichen Körpers fließen von Zelle zu Zelle infolge natürlicher Vorgänge (Stoffaustausch, Informationsaustausch) sehr kleine Ströme. Wissenschaftler konnten feststellen, dass im Ruhezustand Stromstärken von 1 Pikoampere (1 pA = 0,000 000 000 001 A) von Zelle zu Zelle übertragen werden. Typische Zellen

sind etwa 10 Mikrometer stark. Wenn über den Zellquerschnitt (der Einfachheit halber quadratisch angenommen) 1 pA fließt, tritt an der Zelloberfläche eine Stromdichte von 1 Mikroampere pro Quadratcentimeter auf ($1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). In aktiven Nervenzellen fließen Stromdichten von mehr als $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

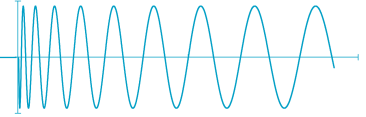
Hochfrequenzfelder haben je nach Frequenz eine bestimmte Eindringtiefe in biologisches Gewebe. Die absorbierte Strahlungsenergie wird hauptsächlich in Wärme umgewandelt. Die spezifische Absorptionsrate SAR beschreibt die Energie, die pro Kilogramm Körpergewicht in einer bestimmten Zeit aufgenommen wird. Auch der Energieumsatz des Menschen wird in Watt pro Kilogramm (W/kg) gemessen. Der Grundumsatz eines Menschen beträgt etwa 1 W/kg, bei Leistungssport können über 20 W/kg erreicht werden.

2 Das elektromagnetische Spektrum

Die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellen wird als elektromagnetisches Spektrum bezeichnet (siehe Abb.1). Es überdeckt die niederfrequenten Felder (<30 kHz), die hochfrequenten Felder (>30 kHz), die infrarote Strahlung ($<3 \times 10^{14}$ Hz), das Licht ($<8 \times 10^{14}$ Hz), die ultraviolette Strahlung ($<3 \times 10^{16}$ Hz) bis hin zur ionisierenden Strahlung (Röntgen- und Gammastrahlung).

Ionisierende Strahlung hat genügend Energie, um Atome oder Moleküle zu “zerbrechen”, d.h. zu ionisieren. Im Gegensatz dazu ist die nichtionisierende Strahlung energieärmer und kann daher Atome oder Moleküle der Materie oder des Gewebes nicht ionisieren. D.h. dass auch keine direkten chemischen Vorgänge, wie Radikalbildungen usw. auslöst werden können.

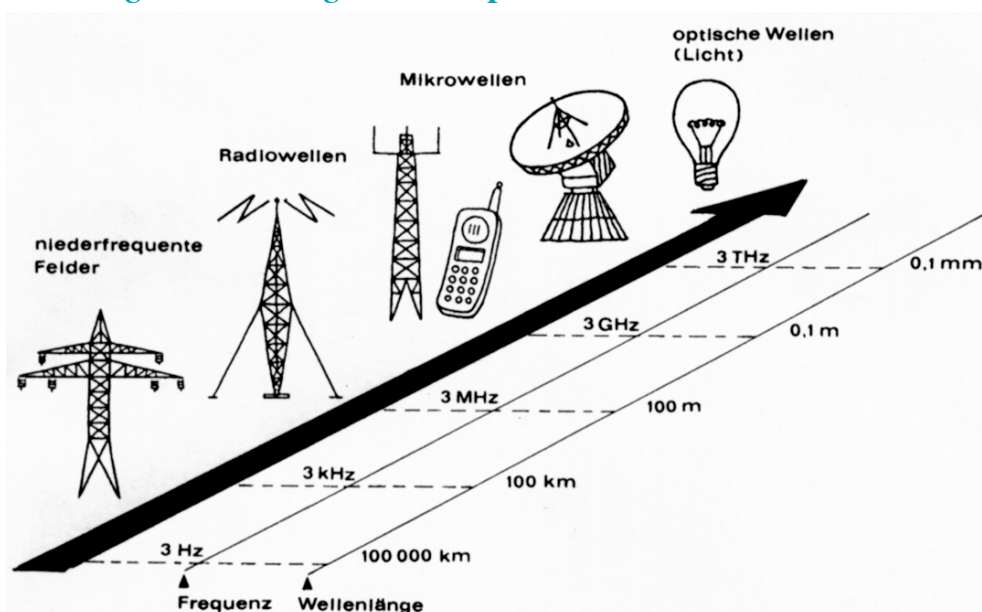
Hochfrequente nichtionisierende Strahlung kann auf atomarer Ebene wirken, indem sie Atome in Schwingungen versetzt oder Raumladungen (Elektronenbahnen in den Atomen) verschiebt. Niederfrequente Strahlung induziert vorwiegend schwache elektrische Ströme im menschlichen Körper. Einflüsse dieser Wirkungen auf Zellfunktionen wurden in Zellkulturen festgestellt, nicht jedoch am lebenden Menschen.



Physikalische Begriffe:

A	Ampere	Maßeinheit für den Strom
As	Amperesekunde	Maßeinheit für die Ladung
A/m	Ampere pro Meter Feldstärke	Maßeinheit für die magnetische Feldstärke
A/m ²	Ampere pro Quadratmeter	Maßeinheit für die Stromdichte
Hz	Hertz	Maßeinheit für die Frequenz
SAR	Watt pro Kilogramm	Maßeinheit für spezifische Absorptionsrate
T	Tesla	Maßeinheit für die magnetische Induktion (= Flussdichte)
V	Volt	Maßeinheit für die Spannung
V/m	Volt pro Meter	Maßeinheit für die elektrische Feldstärke
W	Watt	Maßeinheit für die Leistung

Abbildung 1: Elektromagnetisches Spektrum



Niederfrequente Felder

Niederfrequente Felder treten vor allem in der Nähe von Hochspannungsleitungen, Bahnstromleitungen, Umschaltstationen ("Trafohäuschen") sowie in unmittelbarer Nähe von Niederspannungsverteilern und elektrischen Haushaltsgeräten (z.B. Elektroherd, Fernsehgerät, Rasierapparat, Fön, Lötkolben, Bohrmaschine, Heizlüfter, Heizdecke usw.) auf.

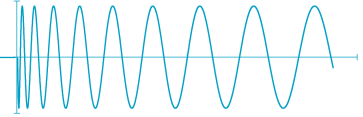
Elektrische Feldstärke in V/m, (gemessen in 30 cm Abstand zum Gerät)

El. Küchenherd	8	Kühlschrank	120
Toaster	80	Kaffeemaschine	60
Bügeleisen	120	Stereoempfänger	180
el. Uhr	30	Staubsauger	50
Boiler	260	Haarfön	80
Glühbirne	5	Handmixer	100

Magnetische Flußdichten in μT (gemessen in verschiedenen Abständen)

Gerät:	3 - 5 cm	30 cm	1 m
El. Küchenherd	1 - 50	0,15 - 0,5	0,01 - 0,04
Toaster	7 - 18	0,06 - 0,7	< 0,01
Bügeleisen	8 - 30	0,12 - 0,3	0,01 - 0,025
el. Uhr	300	2,25	< 0,01
Leuchtstoffröhre	40 - 400	0,5 - 2	0,02 - 0,25
Kühlschrank	0,5 - 1,7	0,01 - 0,25	< 0,01
Staubsauger	200 - 800	2 - 20	0,13 - 2
Haarfön	6 - 000	0,01 - 7	0,01 - 0,3
Trockenrasierer	15 - 1500	0,08 - 9	0,01 - 0,3
Fernseher	2,5 - 50	0,04 - 2	0,01 - 0,15
Geschirrpüler	3,5 - 20	0,6 - 3	0,07 - 0,3

Elektrische Züge werden mit einer Frequenz von 16 2/3 Hz und einer Betriebsspannung von 15 kV betrieben. Während direkt an den Oberleitungen maximale Feldstärken von 2-3 kV/m auftreten können, resultiert in Kopfhöhe eine elektrische Feldstärke von ca. 800 V/m. Auch hier werden die magnetischen Wechselfelder durch den Strom induziert. Kurzzeitige Stromspitzen treten beim Anfahren und Beschleunigen auf, die im Wageninneren ein magnetisches Feld von 30 bis 300 μT , an Bahnsteigen Werte in der Größenordnung von 100 μT induzieren können.



Typische Werte der elektrischen und magnetischen Feldstärke sind in den beiden folgenden Tabellen angegeben:

Felder von Hochspannungsleitungen mit Leiterstrom von 1 kA ca. 1m über dem Boden

Spannung (kV)	elektrisches Feld (kV/m)	magnetisches Feld (μT)
110	1 - 2	5 - 20
220	1 - 6	5 - 16
380	2 - 7	5 - 13

Bei Hochspannungsleitungen werden, um den Energieverlust bei der Stromführung gering zu halten, sehr hohe Übertragungsspannungen verwendet. In der Mehrzahl sind 110 kV und 220 kV üblich, in Europa kommen neben 380 kV auch 1 MV vor. Die unter Hochspannungsfreileitungen auftretenden elektrischen Feldstärken hängen von verschiedenen Faktoren ab, wie von der Höhe der Spannung, der Auslastung, der Bauweise der Masten sowie der Anzahl und Anordnung der Leiterseile, der Höhe der Meßstelle über dem Erdboden als auch dem Bewuchs der Umgebung. Die höchsten elektrischen Feldstärken unter Hochspannungsfreileitungen treten an den Stellen des größten Durchhanges auf. Die Feldstärken nehmen mit dem Abstand von der Trasse stark ab. Die Höhe des Magnetfeldes hängt von der Größe des Stromes ab. Das Gesamtfeld bildet sich aus der Überlagerung der einzelnen gewichteten Feldanteile aller Leiterseile.

In bestimmten Industriebereichen werden Nennspannungen von mehreren kV und Frequenzen bis zu einigen kHz verwendet. Induktionsöfen haben z.B. Betriebsspannungen bis 20 kV und Stromstärken bis 80 kA bei Frequenzen zwischen 50 Hz und 10 kHz. Maschinen und Geräte mit einem hohen Strombedarf erzeugen auch große Magnetfelder: in der Nähe von Induktionsöfen können 70 mT auftreten, bei Induktionsschweißmaschinen bis zu 13 mT. An Bildschirmarbeitsplätzen beträgt die magnetische Induktion in einem Abstand von 30 cm ca. $3\mu\text{T}$ (vgl. Veröffentlichung des Landesamtes für Arbeitsschutz, München 1998).

Typische Anwendungsgebiete:

bis 3 MHz	Rundfunk, Radionavigation
3 - 30 MHz	Rundfunk, Industrie (Schweißen, Polimerisierung), Medizin
30 - 300 MHz	Rundfunk, Fernsehen, Radar
300 - 3 000 MHz	Fernsehen, Radar, Richtfunk, Mikrowellenherd, Mobilfunk
3 - 30 GHz	Radar, Richtfunk, Satelliten
30 - 300 GHz	Radioastronomie, Radiometeorologie

Hochfrequente Felder (elektromagnetische Wellen)

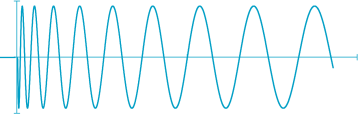
Die leistungsstärksten Hochfrequenzquellen sind zivile und militärische Sendeanlagen, wie z. B. Radaranlagen, sowie Rundfunk- und Fernsehsender. Sender haben eine Leistung von einigen 1000 kW. Typische Strahlungsintensitäten betragen 1 mW/cm² in 100 m Entfernung.

- Die Radartechnik wird im Impulsbetrieb verwendet, der dadurch charakterisiert ist, daß in den Spitzenwerten hohe Strahlungsintensitäten auftreten, im zeitlichen Mittel aber die Intensitäten gering sind. Die typischen Frequenzen des Radars sind 5,4 und 9,4 GHz. In 10 m Entfernung betragen die Spitzenintensitäten bis zu 10 W/cm², während die gemittelten Intensitäten bei 10 µW/cm² liegen.
- Induktionsöfen werden auch im Hochfrequenzbereich bis 100 MHz industriell eingesetzt. Ihre Leistung reicht bis zu 10 Megawatt.
- Hochfrequenzschweißgeräte werden in der Kunststoffverarbeitung genutzt, man nutzt Frequenzen von 27 MHz und typische Leistungen von 10 Kilowatt. An unzureichend gekapselten Geräten können die Arbeitsplatzgrenzwerte erheblich überschritten werden.
- Weit verbreitet sind die Mikrowellenherde zur Erwärmung von Speisen. Sie arbeiten bei einer Frequenz von 2,45 GHz, die Leistung dieser Geräte liegt zwischen 300 und 1300 Watt. Trotz Abschirmung kann Leckstrahlung gemessen werden, im Mittel liegen sie mindestens um den Faktor 10 unter dem Grenzwert von 50 W/m².

Stichwort Mobilfunk

Zum mobilen Telefonieren wurde in der Bundesrepublik Deutschland nach den Vorgänger-Netzen A (1958) und B (1972) das technisch verbesserte C-Netz eingeführt. Dessen maximale Kapazität von 800.000 Teilnehmern war jedoch ab etwa 1992 ausgeschöpft. Mit Einführung des GSM-Standards (Global System for Mobile Communications) ist über die D1-, D2- und E-Netze weltweit eine etwa 150 Länder umfassende Kommunikation möglich. In den Jahren ab 2002 wird mit Einführung des UMTS-Dienstes (Universal Mobile Telephone Services) die weltweit flächendeckende Mobilfunknutzung auch für Fotos, Musik und Drucktexte erheblich erleichtert.

Mit Mobilfunk werden Sprache und/oder Daten zwischen mehreren Teilnehmern übertragen. Dabei ist mindestens ein Teilnehmer mobil, das heißt, er kann sich frei und ohne Kabelverbindung mit seinem Mobilfunkgerät (Handy) innerhalb des verwendeten Mobilfunknetzes bewegen. Das Mobilfunknetz wird von fest installierten Sendern, den Basisstationen gebildet. Eine Basisstation versorgt je nach verwendeter Frequenz und Nutzerdichte ein Gebiet mit bis zu etwa 30 km Ausdehnung. Die drahtlose Informationsübertragung geschieht mit Hochfrequenzfeldern, die von den Sendeantennen abgestrahlt werden. Die sehr leistungsstarken (bis 20 Watt) im Auto eingebauten sowie die älteren "portablen" (bis 8 Watt) Telefone werden zunehmend durch sehr kleine Handys mit bis zu 2 Watt Sendeleistung ersetzt. Ist eine Telefon-



Verbindung erst einmal hergestellt, regelt sich die Maximalleistung meist herunter; bei den Handys beispielsweise auf Werte um 0,8 Watt.

Obwohl es Anfang 2001 bereits über 50 Millionen Mobilfunkteilnehmer in Deutschland gab, wird in den nächsten Jahren mit einem weiteren Anwachsen der Mobilfunkkommunikation gerechnet.

Um die Anzahl der Mobilfunkstandorte auf ein Mindestmaß zu beschränken, hat der Bayerische Umweltminister am 15.7.99 mit den in Bayern tätigen Mobilfunkbetreibern im Rahmen des Umweltpaktes Bayern eine Vereinbarung getroffen. Danach sollen die Antennenträger möglichst gemeinsam genutzt werden, mit bestimmten zu erreichenden Quoten je nach Art des Standortes. Außerdem wurden

Daten einiger Mobilfunksysteme	
D1- und D2-Netz (digital):	
Frequenzbereich:	890 - 960 MHz
Zeitrahmen:	4,6 ms
Funkzellenanzahl:	ca. 3500 pro Netz
Zellengröße	0,5 km bis 35 km
Sendeleistung einer Basisstation:	typisch: 50 W
mittlere Sendeleistung einer Mobilstation:	2 W *
E1 und E2-Netz (digital):	
Frequenzbereich:	1760 - 1865 MHz
Zeitrahmen:	4,6 ms
Funkzellenanzahl:	ca. 6000
Zellengröße	0,2 km bis 15 km
Sendeleistung einer Basisstation:	typisch: 10 W
max. Pulsleistung einer Mobilstation:	1 W *
UMTS	
Frequenzbereich:	1900 - 2170 MHz
Zeitrahmen:	10 ms
Funkzellenanzahl:	4000 (Ende 2003, alle Netzbetreiber zusammen bundesweit)
Reichweite:	200 m - 1500 m im Freien
Sendeleistung einer Basisstation:	typisch: 30 W
mittlere Sendeleistung einer Mobilstation:	0,25
CT-1 (schnurloses Telefon, analog):	
Frequenzbereich:	885 - 932 MHz
Reichweite:	200 m im Freien
mittlere Sendeleistung:	0,01 W
CT-2 (schnurloses Telefon, digital):	
Frequenzbereich:	864 - 868 MHz
Zeitrahmen:	2 ms
Reichweite:	200 m im Freien
mittlere Sendeleistung:	0,01 W
DECT (schnurloses Telefon, digital):	
Frequenzbereich:	1880 - 1900 MHz
Zeitrahmen:	10 ms
Reichweite:	200 m im Freien
mittlere Sendeleistung:	0,01 W
max. Pulsleistung	0,25 W
IRIDIUM	
Frequenzbereich:	ca. 1600 MHz
Zahl der Satelliten im Endausbau:	66 in 780 km Höhe
Zeitrahmen:	60 ms
Funkzellenanzahl (weltweit)	ca. 2000 m
maximale/mittlere Sendeleistung (Puls):	7 W/ 0,7 W

* Eine maximale Pulsleistung von 2 W bzw. 1 W entspricht einer mittleren Leistung von 0,250 W bzw. 0,125 W

akzeptanzverbessernde Maßnahmen von beiden Seiten zugesagt. Diese Vereinbarung wurde zusammen mit dem Umweltpakt im Oktober 2000 verlängert. Sie war 2001 Grundlage für eine Vereinbarung zu mehr Mitwirkung der Kommunen bei der Standortwahl.

(Siehe: www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/mobilf/mobilf.htm unter: Vereinbarungen). Speziell zu Mobilfunk wurde vom StMLU die Fachinformation "Stichwort Mobilfunk" herausgegeben.

3 Elektromagnetische Umwelt und Gesundheit

Welche bekannten Wirkungen haben elektromagnetische Felder auf den menschlichen Körper?

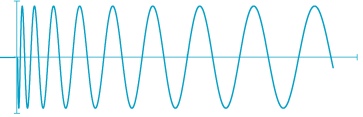
Unmittelbare Wirkungen

Die unmittelbare Wirkung der elektromagnetischen Felder auf den menschlichen Körper hängt von der Frequenz ab und unterscheidet sich wesentlich für niederfrequente und hochfrequente Felder.

Dreht man in einem zeitlich konstanten Magnetfeld, wie z.B. dem Erdmagnetfeld, eine geschlossene Leiterschleife (z.B. aus Kupferdraht), so wird in ihr ein elektrischer Strom induziert. Gleiches passiert, wenn der Mensch, der ja auch ein elektrischer Leiter ist - wenn auch kein besonders guter - sich in diesem Feld so bewegt, dass es ihn in zeitlich veränderlicher Stärke durchdringt, zum Beispiel durch Drehung. Genauso dringen *niederfrequente Felder* in den Körper ein und erzeugen dort kleine Ströme. Die dem Menschen möglichen Drehbewegungen sind allerdings langsam, verglichen mit dem magnetischen Wechselfeld des Haushaltsstroms von 50 Hz und die hierdurch erzeugten Körperströme so gering, dass sie weit unterhalb der Reizschwelle unserer Nerven liegen und auch geringer sind, als die durch technische Magnetfelder induzierten Körperströme. Nichtsdestoweniger sind diese Ströme als natürliche physikalische Wirkung im Körper vorhanden. Es gibt starke Hinweise, dass manche Tierarten diesen Effekt zur Orientierung nutzen.

Überschreiten diese Ströme einen gewissen Schwellenwert, können Nerven und Muskelzellen erregt werden. Die Bewertung der niederfrequenten Felder richtet sich hauptsächlich danach, wieviel eines solchen Körperstroms durch eine bestimmte Querschnittfläche fließt, d.h. wie groß die Körperstromdichte ist. Ausgehend von dem Wissen um die natürlichen Körperstromdichten, die im Gehirn und im Herzen über 10 mA/m² sein können, und basierend auf umfangreichem experimentellen Wissen wurde der Grenzwert für niederfrequente Felder auf 2 mA/m² festgelegt.

Während bei niederfrequenten Feldern elektrische Ströme im Körperinneren fließen, wird bei den *hochfrequenten Feldern* die in das Körperinnere eingestrahlte Energie vorwiegend in Wärme umgewandelt. Ein Maß dafür ist die spezifische Absorptionsrate SAR, die in Watt pro Kilogramm angegeben wird. Die Temperaturerhö-



hungen im Körper oder in Teilbereichen des Körpers können zu Schädigungen führen, besonders gefährdet sind schlecht durchblutete Organe wie das Auge oder die Hoden.

Auch Wärmewirkungen sind gut untersucht und unumstritten. Um schädliche Wärmewirkungen zu verhindern, darf z.B. die Wärmeabsorption im Körper über 6 Minuten gemittelt den Wert von 80 Milliwatt pro Kilogramm für die Allgemeinbevölkerung nicht überschreiten. Der Grundumsatz eines ruhenden Menschen beträgt im Vergleich dazu etwa 1 Watt pro Kilogramm.

Mittelbare Wirkungen

Die mittelbare Wirkung auf den Menschen bedarf eines Mittlers. Dabei versteht man unter mittelbarer Einwirkung das Auftreten von Körperströmen und Berührungsströmen, wenn von elektrisch leitfähigen Teilen Funken überspringen, oder bei Berührung solcher Teile Ströme über den Körper abfließen. Aber auch die Beeinflussung von Implantaten wie z.B. Herzschrittmachern, ist eine mittelbare Wirkung. Sind solche Mittler vorhanden, kann eine wesentlich größere Wirkung auf den Körper eintreten, als durch unmittelbare Wirkung des selben Feldes.

Folgende Beispiele sollen verdeutlichen, welche Gefahren durch mittelbare Wirkungen im gesamten Frequenzbereich bestehen:

- Elektronische Einrichtungen können bereits bei Feldstärken versagen, die keinen erkennbaren Einfluß auf den Menschen haben, deren Versagen aber zu einem Unfall führen kann: z.B. ABS-Systeme, Airbag, Flugzeugelektronik.
- Passive metallische Implantate, z.B. Knochenschienen, künstliche Hüftgelenke können in starken elektromagnetischen Feldern durch induzierte Wirbelströme aufgeheizt werden und so zu indirekten Schäden führen.
- An schlecht geerdeten Empfangsgebilden (z.B. Regenrinnen) können hohe Berührungsspannungen auftreten, selbst wenn es nur zu Schreckreaktionen kommt, kann das die Ursache für Unfälle sein.
- Bei isolierten metallischen Gebilden im elektrischen Feld können Funkenentladungen oder bei Berührung Körperströme (Entladeströme) auftreten. Bei sehr hohen Entladeströmen ist sogar Herzkammerflimmern möglich. Berührungsfunken können auch explosive Gemische zünden.
- Elektrische und elektronische Geräte und Anlagen, wie z.B. medizinische Geräte, Haushaltsgeräte, Computer, Radio- und Fernsehsender oder -empfänger können durch ihre elektromagnetische Abstrahlung Störungen bei anderen elektrischen oder elektronischen Geräten hervorrufen. Gerade bei lebensnotwendigen Geräten, wie z.B. Herzschrittmachern, Geräten auf Intensivstationen oder in der Flugzeugelektronik können unvorhersehbare Reaktionen ausgelöst werden, die lebensgefährdend sein können.

Es wird vermutet, dass auch schwache Felder in unserer Umwelt einen Einfluß auf unsere Gesundheit haben. Diskutiert werden besonders die sogenannten

Welche gesundheitlichen Wirkungen werden noch diskutiert?

athermischen Wirkungen, wie etwa ein Einfluss auf die Entstehung von Krebs, auf die embryonale Entwicklung oder auf das neuronale oder endokrine System.

In Experimenten mit Tieren und Zellkulturen versucht man die Mechanismen aufzuklären, wie solche schwachen Felder wirken können. Um einen biologischen Effekt zu erhalten, sind bei entsprechenden Versuchen z.T. Feldstärken, Frequenzen und Frequenzkombinationen verwendet worden, die im normalen Leben nicht auftreten. Zur Auslösung eines bestimmten biologischen Effektes für eine begrenzte Zeit ist immer eine bestimmte Kombination aus Frequenz, Intensität, Dauer und auch Zelltyp notwendig. Man spricht deshalb auch oft von Fenstereffekten. Wichtigste Frage bei der Bewertung der Forschungsergebnisse ist, ob und wie biologische Effekte aus Zellkultur- oder Tierversuchen auf den Menschen übertragbar sind und ob aus den biologischen Effekten, die durch Modulation zelleigener Reaktionen entstanden sind, tatsächlich eine gesundheitliche Gefährdung abzuleiten ist.

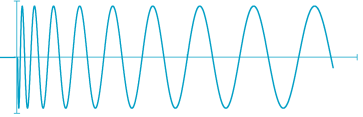
Leukämie und Krebs durch elektromagnetische Felder?

Die nichtionisierende Strahlung hat im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung zu geringe Energie, um die DNA zu verändern. Es gibt weder einen Hinweis noch ein Wirkungsmodell dafür, dass die Exposition eine direkte Veränderung an der Erbsubstanz auslösen kann. Nach bisheriger Bewertung durch internationale Organisationen scheidet damit eine Krebsinitialisierung aus.

Ausschlaggebend für die vielen Untersuchungen über einen möglichen sonstigen Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und Krebs war die Veröffentlichung einer amerikanischen Studie im Jahr 1979, nach der Kinder die in der Nähe von Hochspannungsleitungen wohnten, ein erhöhtes Leukämierisiko hatten. Dies war Ausgangspunkt von mittlerweile über 120 epidemiologischen Untersuchungen weltweit, die den Zusammenhang des Risikos für verschiedene Krebsarten mit den *niederfrequenten* elektrischen und magnetischen Feldern der Stromversorgung untersucht haben. Immer wieder wurde die Gesamtheit der vorliegenden Arbeiten bewertet. Bisher wurde geschlussfolgert, dass sich kein Einfluss niederfrequenter Felder auf das allgemeine Krebsrisiko zeigt. Allerdings ist die Frage, ob im speziellen das kindliche Leukämierisiko durch eine Exposition mit niederfrequenten Feldern beeinflusst werden kann, durch die bisher vorliegenden Studien nicht abschließend zu beantworten.

Für den *Hochfrequenzbereich* liegen noch weniger verlässliche epidemiologische Studien vor als für den Niederfrequenzbereich. Aufgrund ähnlicher Mängel wie oben genannt, waren die Aussagen daraus ebenfalls sehr widersprüchlich.

Zur Zeit wird vor allem das mögliche Krebsrisiko durch Mobilfunk diskutiert. Eine von der EU beauftragte Expertengruppe berichtete 1996, dass aus den bis dahin vorliegenden Studienergebnissen kein Krebsrisiko durch Mobilfunk abgeleitet werden



konnte. Verschiedene unterdessen veröffentlichte Studien zur Häufigkeit über Gehirntumoren bei Nutzern von Handys brachten noch keine Klärung. Die IARC (International Agency for Research on Cancer) startete 1998 eine weltweite epidemiologische Studie zum möglichen Krebsrisiko durch Mobilfunknutzung, die Ergebnisse sollen nach 6 Jahren vorliegen.

Melatoninhypothese

Auf der Suche nach einem möglichen Wirkungsmechanismus elektromagnetischer Felder im Zusammenhang mit Krebs wird schon seit mehr als 10 Jahren geprüft, ob die Melatoninproduktion durch sie beeinflusst werden kann. Melatonin ist ein von der Epiphyse (Zirbeldrüse) produziertes Hormon, das z.B. den Tag/Nachtrhythmus oder die Konzentration von Geschlechtshormonen beeinflusst und von dem angenommen wird, dass es eine krebshemmende Funktion hat.

Ursprünglich wurde nur ein Zusammenwirken von niederfrequenten Feldern mit Melatonin untersucht; in neueren Arbeiten wird auch mit niederfrequent gepulsten Hochfrequenzfeldern gearbeitet.

Bisher wurden zahlreiche Studien veröffentlicht, sowohl mit Probanden, als auch Tierexperimente und Experimente an Zellkulturen. Aus den vorliegenden Ergebnissen konnte keine gesundheitliche Relevanz für den Menschen abgeleitet werden.

Was bedeutet "Elektrosensibilität"?

In der Öffentlichkeit wird über "Elektrosensibilität", auch "elektromagnetische Hypersensibilität" genannt, kontrovers diskutiert. Unter "elektrosensiblen" Menschen versteht man Personen, die gesundheitliche Probleme der Verwendung oder der Nähe von Quellen elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder zuschreiben. Eine Expertengruppe hat im Auftrag der Europäischen Kommission diese Thematik untersucht und bis Mai 1997 einen zusammenfassenden Bericht erstellt. Die wichtigsten Ergebnisse waren:

- Bisher gibt es keine diagnostischen Kriterien, die Symptome sind nicht eindeutig.
- Bisher sind keine Wirkungsmechanismen gefunden worden, die den Einfluss von Feldern auf die genannten Symptome erklären könnten.
- In einigen europäischen Ländern tritt dieses Phänomen häufiger auf, wie etwa in Deutschland oder Schweden, in einigen sehr selten, z.B. in Frankreich, praktisch nicht zu finden ist es in Griechenland, Portugal und Spanien. Die Zuweisung der Symptome zu bestimmten Quellen elektromagnetischer Felder variiert zwischen den Ländern.
- Als Ursache kommt vermutlich das Zusammenwirken verschiedener Umweltbedingungen mit psychischen Faktoren in Frage. Der Name "elektrosensibel" ist also an sich keine treffende Beschreibung des beobachteten Phänomens.
- Maximal liegt die Verbreitung in einigen EU Ländern bei noch unter 1%, wobei

schwer Betroffene davon einen Bruchteil von unter 10% ausmachen. Nach der Erfahrung sind auftretende Probleme weniger ausgeprägt, wenn frühzeitiges Eingreifen möglich ist, die EU-Arbeitsgruppe gab daher auch Empfehlungen für weitergehende Forschungsarbeiten, Behandlungsmöglichkeiten und Informationsmaterialien für Betroffene.

Elektrosensibilität

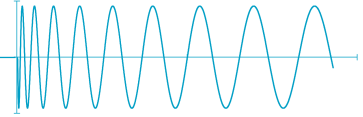
Zur Elektrosensibilität, auch als Elektrosensitivität bezeichnet, schreibt der Selbsthilfverein für Elektrosensible e.V. (Sitz: Dachauerstr. 90, 80335 München) folgendes (Stand Sept. 2002):

Die Reaktion auf elektromagnetische Felder ist individuell verschieden. Mit Elektrosensitivität wird heute die Fühligkeit von EMF bezeichnet. Bei diesen Menschen liegt in der Regel eine neurologische bzw. neurotoxische Vorerkrankung zu Grunde. Elektrosensibilität ist eine Art Frühwarnsystem, mit welchem sich der Körper vor Elektroschädigungen schützen will. Sie sollte auf jeden Fall ernst genommen werden, um dem Entstehen von Zivilisationskrankheiten vorzubeugen. Die Möglichkeit einer Elektroallergie wird zur Zeit labormedizinisch untersucht.

Alle diese Personen berichten u.a. von folgenden Symptomen: Schlafstörungen (verzögertes Einschlafen, unruhiger Schlaf, verfrühtes und abruptes Aufwachen), einhergehend mit Nervosität, innerer Unruhe, Reizbarkeit, Konzentrations- und Konzentrations- und Gedächtnisschwäche, Antriebslosigkeit, Verkrampfungen, Kopfschmerzen, Bluthochdruck, Herzrhythmusstörungen, Atembeschwerden, Ohrgeräusche, Sehstörungen, Depressionen sowie andere Stresserscheinungen, die sich verstärken können, bis hin zu epileptischen Anfällen und Herzinfarkt.

Wie kann geprüft werden, ob die elektromagnetischen Felder die Ursache derartiger Symptome sind? Durch Standortwechsel oder, falls möglich, durch Abschalten der Feldquellen. Im Anfangsstadium der erhöhten Sensitivität verschwinden die Symptome oft sofort oder innerhalb weniger Stunden.

Im Großraum München haben sich seit einigen Jahren etwa 250 Personen zum „Selbsthilfverein für Elektrosensible e.V.“ zusammengeschlossen. Die Ursache der erhöhten Reaktionen ist ihrer Meinung nach eine starke Dauerbelastung durch elektromagnetische Felder, wobei die Belastung an Schlaf- und Arbeitsplatz besonders von Bedeutung ist. Es zeigt die Erfahrung, dass besonders dann eine erhöhte Empfindlichkeit auftritt, wenn der Organismus gleichzeitig anderen Belastungen ausgesetzt ist. (Vielfachbelastung, Synergismus): Hierbei werden in erster Linie Allergien/Schwermetall-, chemisch-toxische Belastungen und die natürlichen Reiz-zonen genannt.



Für diese Personengruppe bieten die Grenzwerte der Verordnung keinen Schutz. Die Symptome stellen sich bei 1/1000- bis 1/10.000-stel der dort verzeichneten Grenzwerte ein. Der Grund liegt in der noch nicht erfolgten Anerkennung nicht-thermischer Wirkungen.

Der Anteil elektroempfindlicher Personen in der BRD wird auf 1 bis 2 % geschätzt. Nach der starken Elektrifizierung von Wohnungen und Arbeitsplätzen bringen die neuen, digital arbeitenden Systeme des Mobilfunks und der schnurlosen Handtelefone einen weiteren Schub.

Laut einer Umfrage des Bundesamtes für Strahlenschutz von 2002 fühlen sich 6 % der Bevölkerung durch Mobilfunk gesundheitlich beeinflusst. Die Dunkelziffer ist allerdings sehr hoch, da nur wenige den Kausalzusammenhang und somit die Ursache ihrer Erkrankung / ihres Unwohlseins erkennen.

Gehirnströme

Seit Mitte der 90er Jahre wird über Untersuchungen von Dr. v. Klitzing diskutiert, bei denen Veränderungen des menschlichen Elektroenzephalogramms (EEG, sogenannte "Gehirnströme") durch hochfrequente elektromagnetische Felder beschrieben wurden.

Die Nervenzellen im Großhirn sind über elektrische Schaltstellen verbunden. Während diese Schaltstellen arbeiten, entstehen Spannungsdifferenzen, die über Elek-

Abbildung 2: Von der Forschung zum Grenzwert

Internationale Forschungsergebnisse:

z.B. aus: in-vitro Experimenten, Tierexperimenten, Probandenstudien, epidemiologischen Studien



Verantwortliche Expertengremien:

Bewertung mit wissenschaftlichen Kriterien und Empfehlungen



Gesetzgeber:

Entwurf, Beratung und Verabschiedung von Grenzwerten

troden abgeleitet werden können. Eine solche Ableitung heißt Elektroenzephalogramm und ist Bild eines äußerst komplexen Geschehens.

Von verschiedenen Forschungsgruppen wurden bisher unterschiedliche Fragestellungen zu einer möglichen Beeinflussung des EEGs durch elektromagnetische Felder untersucht. Die verantwortlichen Expertenkommissionen gehen jedoch davon aus, dass die bisherigen Ergebnisse nicht auf mögliche Gesundheitsbeeinträchtigungen schließen lassen.

Fazit:

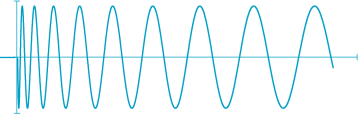
Das bedeutet, besonders bei athermischen Wirkungen besteht weiterer Forschungsbedarf. Von der Seite der Wissenschaft aus gesehen gehört so eine Aussage zum Alltag, denn es ist falsch, von bestehendem Forschungsbedarf auf totales Unwissen zu schließen. Im Bereich athermischer Wirkungen gibt es über 2000 Arbeiten. Die Bewertung solcher Arbeiten durch Expertengremien findet laufend statt. Bisher hat diese Bewertung jedoch nicht zu einer Änderung der Empfehlungen für Grenzwerte geführt.

4 Gesundheitsschutz und Grenzwerte

Von der Wirkung über die Bewertung zum Grenzwert

Mittlerweile gibt es über 25.000 wissenschaftliche Arbeiten zur Wirkung nicht-ionisierender Strahlung. Alle diese Arbeiten, sei es in vitro-Untersuchungen von Zellkulturen, Tierexperimente, Experimente an Probanden oder epidemiologische Studien, bilden die Basis für die Bewertung, ob und welche gesundheitlichen Risiken bestehen. Diese Bewertung wird von unabhängigen wissenschaftlichen Gremien vorgenommen, z.B. der internationalen Kommission für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung ICNIRP, der Weltgesundheitsorganisation (WHO) oder von national eingesetzten Expertengruppen. Diese in der Verantwortung stehenden Gremien bewerten die Originalarbeiten nach bestimmten festgelegten Kriterien für die Qualität und Aussagekraft. Die Empfehlungen werden laufend überprüft und überarbeitet, sobald sich Änderungen ergeben.

Nur gesicherte Ergebnisse werden von diesen Gremien als Grundlage für Empfehlungen akzeptiert. Daher scheint ihre Bewertung oft im Widerspruch zu der Berichterstattung in den Medien zu stehen: Verunsicherungen und Ängste werden in der Bevölkerung durch Berichte über Einzelergebnisse hervorgerufen, die aus dem Gesamtzusammenhang herausgenommen wurden. Hinzu kommt, dass gerade an die Forschung im Umweltbereich im Gegensatz zur sonstigen naturwissenschaftlichen Forschung hohe Erwartungen seitens der Bevölkerung und auch seitens der Politik gestellt werden: Fragen sollen mit ja oder nein beantwortet werden und keine Zweifel an den Ergebnissen bestehen. Das ist für die Wissenschaft ein aus der Natur der



Sache heraus unmögliches Unterfangen und ein weiterer Grund dafür, dass Verunsicherungen entstehen.

Daher ist es besonders wichtig, dass zwischen Grundlagenforschung und Grenzwerten die Bewertung und Empfehlung der oben genannten in die Verantwortung genommenen Expertengremien stehen. Deren Empfehlungen durchlaufen dann den üblichen politischen Prozess, bis sie in Gesetze und Verordnungen umgesetzt werden. Bei dieser Umsetzung können dann Überlegungen zur Vorsorge oder zur technischen Machbarkeit eine Rolle spielen, Faktoren also, die bei der Bewertung durch die wissenschaftlichen Arbeitsgruppen oder Fachgremien nicht berücksichtigt werden.

Mit der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetischer Felder - 26.BImSchV) vom 16. Dezember 1996, BGBl I S. 1966, hat die Bundesregierung mit Zustimmung des Bundesrates erstmals unmittelbar verbindliche Regelungen zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen getroffen und damit sowohl dem Gesundheitsschutz als auch der Rechtssicherheit Rechnung getragen.

Verordnung über elektromagnetische Felder

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 bedürfen. Die Grenzwerte orientieren sich an den Richtlinien der ICNIRP, wobei eine ständige Exposition zugrunde liegt. Das bedeutet, dass als maßgebliche Einwirkungsorte solche Orte gelten, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen. Die 26. BImSchV gilt nicht für den Arbeitsschutz.

ICNIRP

ICNIRP steht für "International Commission on Non-Ionising Radiation Protection", die Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung. In der jetzigen Form besteht diese Kommission seit 1992. Ihre Mitglieder sind international anerkannte, unabhängige Experten für Fragestellungen aus dem Bereich der nichtionisierenden Strahlung. Die Hauptaufgaben der ICNIRP besteht in der kontinuierlichen Analyse und gesundheitlichen Bewertung des Kenntnisstandes auf allen Gebieten, die für den Strahlenschutz relevant sind, einschließlich der Analyse der jeweils aktuellen Forschungsergebnisse. Diese Analysen, verbunden mit Empfehlungen, werden regelmäßig veröffentlicht. Ziel ist eine weltweite Harmonisierung der Verfahren und Vorgehensweisen zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung.

Im niederfrequenten Bereich, nämlich für die allgemeine Stromversorgung mit 50 Hz und für die Bahnstromversorgung mit $16\frac{2}{3}$ Hz, gibt die 26. BImSchV vonein-

ander unabhängige Grenzwerte für das elektrische und das magnetische Feld an, da beide Felder hier nicht miteinander verkoppelt sind. Entscheidend für die physiologische Reizwirkung ist in diesem Frequenzbereich (und darüber hinaus bis etwa 30 kHz) die im Körperinnern induzierte Stromdichte. Thermische Effekte spielen nur eine untergeordnete Rolle. Die äußeren elektrischen und magnetischen Felder dürfen nur so stark sein, daß Schädigungen bzw. eine Nerven- oder Muskelanregung durch innere Körperströme nicht möglich sind. Wie Experimente gezeigt haben, fällt die Reizwirkung zu niedrigen Frequenzen hin ab. Aus dem Körperstrom-Grenzwert der WHO von 2 mA/m^2 leitet die ICNIRP Grenzwerte für die Feldstärken außerhalb des Körpers ab. Die 26. BImSchV basiert auf diesen Empfehlungen.

Grenzwerte der Feldstärken nach der 26. BImSchV *

Frequenz	Elektrische Feldstärke E	Magn. Induktion BMagn.	Feldstärke H*
50 Hz	5 kV/m	100 μT	80 A/m
$16^{2/3}$ Hz	10 kV/m	300 μT	240 A/m

* Der Übersichtlichkeit halber wurden die magnetischen Feldstärken H, die sich durch Umrechnung aus der magnetischen Flußdichte B ergeben, ergänzt.

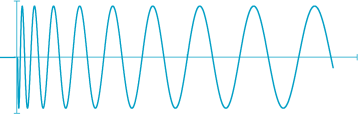
Die Werte sind bei maximaler Umweltbelastung (in Verbraucher-“Spitzenzeiten”) zu messen, was insbesondere für die Werte des Magnetfeldes von Bedeutung ist, da diese mit dem Verbrauch schwanken. Es handelt sich stets um Effektivwerte, die kurzzeitig (maximal 5 % am Tage) oder kleinräumig außerhalb von Gebäuden um bis zu 100 % überschritten werden dürfen.

Jedoch sind in “Vorsorgebereichen”, dies sind z. B. Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze, die oben erwähnten kurzzeitigen oder kleinräumigen Feldüberschreitungen nicht zulässig.

Im hochfrequenten Bereich besteht eine feste Verknüpfung zwischen elektrischem und magnetischem Feld: der Quotient E/H ist eine Konstante. Im Körpergewebe und in Zellen tritt Energieabsorption auf. Maßgebend hierfür ist neben der Frequenz die sog. Leistungsflußdichte S, das Produkt aus der elektrischen und der magnetischen Feldstärke:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{H}$$

Wird E in V/m und H in A/m eingesetzt, so ergibt sich S in W/m^2 . In der 26. BImSchV sind höchstzulässige Grenzwerte für das E- und das H-Feld gegeben. Sie sind in der folgenden Tabelle um den sich hieraus ergebenden Grenzwert der Leistungsflußdichte S und der magnetischen Flußdichte B ergänzt:



Grenzwerte der Feldstärken nach 26. BImSchV im Hochfrequenzbereich

Frequenz f in MHz	Leistungs- flußdichte S in W/m ²	Elektrische Feldstärke E in V/m	Magnetische Feldstärke H in A/m	Magnetische Flußdichte B in µT
10 - 400	2	27,5	0,073	0,092
400 - 2 000	0,005 · f/MHz	1,375 · √f/MHz	0,0037 · √f/MHz	0,00465 · √f/MHz
2 000 - 300 000	10	61	0,16	0,2

Die tabellierten Grenzwerte verstehen sich als Effektivwerte, gemittelt über ein 6-Minuten-Intervall. Bei gepulsten elektromagnetischen Feldern, wie z.B. Radar, dürfen die Spitzenwerte höchstens den 32-fachen Wert erreichen.

Wie man sieht, steigt im Intervall zwischen 400 und 2000 MHz die höchstzulässige Leistungsflußdichte linear mit der Frequenz an. Ursache dafür ist, daß die Eindringtiefe des elektromagnetischen Feldes mit wachsender Frequenz abnimmt und empfindlichere Bereiche im Körperinnern dadurch nicht erreicht werden.

Beispielsweise hat ein elektromagnetisches Feld von etwa 1000 MHz (entsprechend dem D-Netz des Mobilfunks) im Kopfbereich eine Eindringtiefe von einigen Zentimetern. Die höchstzulässige Leistungsflußdichte beträgt:

$$S(\max) = 0,005 \cdot 1000 \text{ W/m}^2 = 5 \text{ W/m}^2$$

Für 2000 MHz (etwa entsprechend dem E-Netz) betrüge sie 10 W/m².

Besonders im Bereich um 1000 MHz kann es im Körperinnern durch Reflexionen oder Fokussierung an Grenzflächen unterschiedlicher elektromagnetischer Leitfähigkeit zu lokalen Absorptionsspitzen (sog. hot spots) kommen. Dies ist in den Grenzwerten berücksichtigt.

Bei Frequenzen über 10.000 MHz wird praktisch die gesamte elektromagnetische Leistung oberflächen- bzw. hautnah absorbiert. Hierdurch kann die Augenlinse gefährdet sein, da sie schlecht durchblutet, also schlecht gekühlt ist.

Exposition der Bevölkerung:

Im Auftrag des Bayerischen Umweltministeriums wurde eine Untersuchung an 2000 statistisch ausgewählten Bürgern Bayerns zur Niederfrequenzexposition im Alltag durchgeführt und 1998 veröffentlicht. Jeder Teilnehmer hatte 24 Stunden lang ein Dosimeter getragen und Tagesprotokoll geführt. Es zeigte sich, dass die gemessenen niederfrequenten Magnetfelder im Mittel etwa nur ein Promille des Grenzwertes er-

reichten. Selbst Menschen, an deren Wohnung direkt eine Hochspannungsleitung vorbeiführt, sind daheim nur ungefähr mit einem Hundertstel des Grenzwerts belastet.

Im Hochfrequenzbereich wurden in den letzten Jahren viele Messungen zur Exposition durch Mobilfunksender durchgeführt. Selbst in direkter Nachbarschaft zu solchen Sendern mit Sendeleistungen von etwa 50 Watt wird typischerweise kaum ein Promille des Grenzwertes erreicht. Auch dort, wo der Sendekegel den Boden erreicht, hat man meist ähnlich niedrige Werte.

Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten

Elektrische und elektronische Geräte und Einrichtungen können durch ihre elektromagnetische Abstrahlung Störungen bei anderen Geräten hervorrufen. Umgekehrt darf ein Gerät nicht durch Streustrahlung anderer Geräte oder elektrischer Installationen beeinträchtigt werden. Diese Störfestigkeit und Störsicherheit ist EU-weit geregelt durch die Richtlinie des Rates vom 03.05.1989 (89/336/EWG). Sie wurde in Deutschland umgesetzt mit dem Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG vom 30.08.1995, voll anzuwenden ab 01.01.1996, Neufassung vom 18.09.1998, BGBl I Nr 64, S. 2882 ff). Die Einhaltung dieses Gesetzes wurde in Deutschland vom Bundesamt für Post und Telekommunikation (BAPT) und wird nun in dessen Nachfolge von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) überwacht. Alle im Handel erhältlichen Geräte müssen seither mit dem CE-Zeichen versehen sein, das besagt, dass die von den Geräten ausgehende Strahlung die bestehenden Grenzwerte einhält und das Gerät selbst vor elektromagnetischer Fremdstrahlung ausreichend abgeschirmt ist.

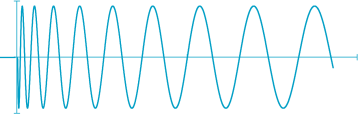
Medizinische Geräte müssen insbesondere auch dem Medizinproduktegesetz vom 02.08.1994 in der Fassung von 1998 und der Medizinprodukteverordnung vom 17.12.1997 (BGBl I 1997, S. 3146 ff) entsprechen, die ebenfalls die elektromagnetische Verträglichkeit regeln. Europäische Grundlage sind die "Einzelrichtlinien" 93/42 EWG (Medizinprodukte) und 90/385 EWG (aktive medizinische Implantate).

Die Empfehlung des Rates der Europäischen Union

Der Rat der Europäischen Union hat im Juli 1999 auf Vorschlag der Kommission und nach Stellungnahme des Europäischen Parlaments eine Empfehlung zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0-300 GHz) ausgesprochen. Als Grundlage dazu diente die Empfehlung der ICNIRP von 1998. Die Ratsempfehlung enthält außerdem nicht nur die Aufforderung, weiterhin aufklärende Forschung zu betreiben, sondern auch eine Aufforderung an die Kommission, sich für das Zustandekommen eines internationalen Konsenses im Hinblick auf Leitlinien und Empfehlungen für Schutz und Vorsorgemaßnahmen einzusetzen.

Die Empfehlung der Strahlenschutz- kommission

Im Auftrag des Bundes-Umweltministeriums hat die Strahlenschutzkommission (SSK) alle neueren Studien zu nichtionisierender Strahlung geprüft und bewertet.



Diese Bewertung wurde Mitte September 2001 veröffentlicht (Gesamtbericht unter: www.bmu.de/download/dateien/elektroma_felder.pdf).

Die SSK kommt zu dem Schluss, “dass auch nach Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur keine neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse im Hinblick auf nachgewiesene Gesundheitsbeeinträchtigungen vorliegen, die Zweifel an der wissenschaftlichen Bewertung aufkommen lassen, die den Schutzkonzepten der ICNIRP bzw. der EU-Ratsempfehlung zu Grunde liegen...”

Die seit 1999 angekündigte Novelle der 26.BImSchV wurde daraufhin nicht vorgenommen.

Forschungsbedarf

Die Grenzwerte entsprechen dem aktuellen Stand gesicherter und anerkannter Forschungsergebnisse. Weiterentwicklungen in der biophysikalischen Analytik ebenso wie neu aufkommende Anwendungen in der Technik bedingen eine ständige Überprüfung des Wissensstandes und gegebenenfalls eine Änderung der Grenzwertempfehlungen.

Internationale Expertengremien wie die ICNIRP müssen immer wieder neue Forschungsarbeiten bewerten und nach Relevanz für den Gesundheitsschutz einordnen. Zur Formulierung von weiterem Forschungsbedarf ist eine internationale Zusammenarbeit und Koordination besonders wichtig. Das seit 1996 von der Weltgesundheitsorganisation ins Leben gerufene internationale EMF (electromagnetic fields) Projekt wird dieser Forderung gerecht und übernimmt voraussichtlich bis 2005 entsprechende Aufgaben.

5 Was kann der Einzelne zur Risikominderung tun?

Ein Leben mit Null-Risiko ist nicht erreichbar; bestehende Risiken sollten jedoch minimiert werden. Durch Gesetze, Verordnungen, Regeln und Richtlinien wird von Seiten des Staates für entsprechende Schutzvorschriften gesorgt.

Als einfache Regeln zur Risikominimierung für den Einzelnen mögen folgende Tipps gelten:

- Beachtung des CE-Zeichens beim Kauf von elektrotechnischen Geräten
- Geräte kaufen, die als strahlungsarm ausgewiesen sind, bzw. einen niedrigen Stromverbrauch haben
- als Herzschrittmacherträger die Empfehlungen des Arztes und die Herstellerhinweise beachten; weitere nützliche Verhaltenshinweise werden z.B. vom Bundesamt für Strahlenschutz und vom Herzschrittmacher institut / Kochel am See herausgegeben.

- Grundsätzlich gilt: Vermeiden Sie, sich mehr als nötig elektromagnetischen Feldern auszusetzen. Die Feldstärken nehmen mit zunehmendem Abstand von der Quelle stark ab. Mehr Abstand ist die einfachste Maßnahme!

Für die freiwillig einzugehenden Risiken hilft nur ein Abwägen aller Vor- und Nachteile, die mit der Nutzung elektrischer / elektronischer Technologie verbunden sind.

Hier sollte jeder einzelne verantwortungsbewusst entscheiden - das heißt, dass man sich die echten Risiken im Leben bewusst macht genauso wie die freiwillig eingegangenen Risiken. Die Statistiken der Versicherungen sprechen hier eine eindeutige Sprache: Die freiwilligen Risiken - insbesondere im Sport- und Freizeitbereich - liegen oft deutlich über den unfreiwillig einzugehenden Risiken.

Verantwortungsbewusst entscheiden heißt auch, sich nicht durch tendenziöse medienwirksame Berichte verunsichern lassen, sondern seine Meinung auf umfassende und möglichst objektive Information zu stützen. Diese Broschüre möchte ein Beitrag dazu sein.

6 Ich will mehr wissen - Literaturtips und Info-Adressen

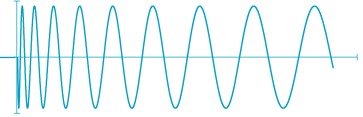
GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH:
Mensch und Umwelt, 12. Ausgabe, 1998.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg:
Bericht 20, Elektrische und magnetische Felder im Alltag, 1998

Bayerisches Landesamt für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik,
München: Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz;
LAS-064/3/98/Dr. Eder

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP):
Richtlinien für die Begrenzung der Exposition durch zeitlich veränderliche elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (bis 300 GHz), Health Physics 74(4), S. 494 - 522, 1998
Deutsche Übersetzung erhältlich bei Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, RS II, Postfach 12 06 29, 53048 Bonn

Empfehlung des Rates der Europäischen Union vom 12.07.99:
Zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen



Feldern (0 Hz bis 300 GHz), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften v. 30.07.99, L 199/59 - L 199/70

EMV-Gesetz v. 13.11.1992: Bundesgesetzblatt Teil 1, 1992, S. 1864

Verordnung über elektromagnetischer Felder - 26.BlmSchV - vom 16. Dezember 1996, BGBl I S. 1966

Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten - EMVG - vom 30.08.1995, voll anzuwenden ab 01.01.1996, Neufassung vom 18.09.1998, BGBl I Nr 64, S. 2882 ff

Medizinprodukteverordnung vom 17.12.1997, BGBl L1 1997, S. 3146 ff

Bundesamt für Strahlenschutz
Referat für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 100149, 38201 Salzgitter
Tel. (0 53 41) 88 51 30

**Informationsmaterial
zu nichtionisierender
Strahlung**

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Pressestelle
Nöldnerstr. 40-42, 10317 Berlin
Tel. (0 30) 51 54 81 90

Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
Postfach 8001, 53105 Bonn
Tel. (08 21) 2 57 70

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen
Referat für Bürgeranliegen
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München
Tel. (0 89) 92 14-31 66 : Bürgertelefon
Tel. (0 89) 92 14-35 18 : Hotline Elektrosmog

Der vom Bayerischen Umweltministerium initiierte "Arbeitskreis Mobilfunk" hat eine Portalseite im Internet erstellt, die Links zu staatlichen, internationalen, wissenschaftlichen und privaten Institutionen enthält, die primär Information zum Bereich Mobilfunk anbieten, in vielen Fällen aber auch zu anderen Bereichen nichtionisierender Strahlung.

Die Netzadresse ist: www.mobilfunk.bayern.de

7 Glossar

BAPT	Bundesamt für Post und Telekommunikation > RegTP
26. BImSchV	26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder
BEMS	BioElectroMagnetic Society, Bioelektromagnetische Gesellschaft; internationale wissenschaftliche Gesellschaft zur biologischen Wirkungsforschung im Bereich der elektromagnetischen Felder
EEG	Elektroenzephalogramm; Aufzeichnung der Gehirnströme
EMF	elektromagnetische Felder
EMVG	Gesetz über elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten
IARC	International Agency for Research on Cancer, internationale Vereinigung zur Erforschung von Krebs
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung; unabhängige internationale wissenschaftliche Organisation, die Grenzwertempfehlungen im Bereich der elektromagnetischen Felder erstellt und offizielle Beziehungen u.a. zu IRPA, UNEP und WHO unterhält
IRPA	International Radiation Protection Association, Internationale internationale Dachorganisation nationaler oder regionaler Fachgesellschaften, die im wissenschaftlichen oder regulativen Strahlenschutz tätig sind
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, Rechtsnachfolger des > BAPT seit 1. Januar 1998
SSK	Deutsche Strahlenschutzkommission, Beratungsgremium der Deutschen Bundesregierung
UNEP	United Nations Environmental Programme, Umweltprogramm der Vereinten Nationen als Resultat der Umweltkonferenz 1972 in Stockholm
WHO	World Health Organisation, Weltgesundheitsorganisation der Vereinten Nationen