

3.2.2.3 Elektromagnetische Felder

622. Die Besorgnis über mögliche Gesundheitsgefahren durch "elektromagnetische Strahlen" in der Bevölkerung nimmt zu. Diese Problematik wurde vom Umweltrat bereits 1994 und 1996 im Zusammenhang mit der damals in Vorbereitung befindlichen Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) diskutiert (vgl. SRU, 1994, Tz. 554; SRU, 1996, Tz. 543 ff.). In dieser Verordnung werden Grenzwerte für Frequenz und Feldstärke von Hoch- und Niederfrequenzanlagen festgelegt. Die Grenzwertsetzung für Hochfrequenzfelder wurde an der vom menschlichen Körper absorbierten Wärmeenergie, dem so genannten thermischen Effekt, orientiert. Für die Niederfrequenzfelder war die im menschlichen Körper induzierte Stromdichte, die natürlicherweise 10 mA/m^2 nicht überschreitet, grenzwertbestimmendes Kriterium. Die Grenzwerte für die elektrische Feldstärke verhindern darüber hinaus die Aufladung nicht geerdeter Gegenstände (z. B. Autotüren, Metallzäune etc.), so dass es nicht zu Kontaktströmen oder vorübergehenden Entladungen beim Berühren kommt. Das in diesem Zusammenhang häufig verwendete Wort "Elektrosmog" ist griffig, aber missverständlich, da "Smog" (zusammengesetzt aus engl. *smoke* und *fog*) eigentlich die besonders ausgeprägten, mit Dunst- oder Nebelbildung verbundenen Luftverunreinigungen bezeichnet, die in emissionsintensiven Gebieten vor allem bei Inversionswetterlagen entstehen. Bei dem so genannten Elektrosmog handelt es sich dagegen um Einflüsse von unterschiedlichen Feldern, Wellen und Strahlen, die unabhängig voneinander auftreten können, verschiedene Quellen haben und sehr unterschiedliche Wirkungsmechanismen besitzen. Dabei ist zwischen ionisierender Strahlung, hochfrequenten elektromagnetischen Feldern sowie niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern zu unterscheiden (vgl. Tab. 3.2.2-7).

Tabelle 3.2.2-7

**Frequenzen und Richtwerte der Emittenten
elektromagnetischer Felder**

Quelle	Frequenz	Messabstand Bemerkungen	Typ. Messwerte der Exposition	Strahlenschutz Richtwerte*
Rundfunksender Mittelwelle	1,4 MHz	Leistg. 1,8 MW 50 m 300 m	450 V/m 90V/m	73,5 V/m*
		Grenzwerte ab ca. 350 m eingehalten		
Kurzwelle	16 – 10 MHz	Leistg. 750 kW 50 m 220 m	121,5 V/m 27,5 V/m	27,5 – 36 V/m*
		Grenzwerte ab ca. 220 m eingehalten		
UKW	88 – 108 MHz	Leistg. = 100 kW ca. 1,5 km	< 0,05 W/m ²	2 W/m ²
		Grenzwerte ab ca. 250 m eingehalten		
CB-Funk, Walkie-Talkies	27 MHz	Leistung wenige Watt; 5 cm	bis 1 000 V/m und 0,2 A/m	SAR < 2 W/kg Geräten
		Der SAR-Grenzwert für Sendeleistung	wird bei diesen bis 4 W eingehalten	
Fernsehsender VHF	174 – 216 MHz	Leistg. ≤ 300 kW ca. 1,5 km	< 0,02 W/m ²	2 W/m ²
		Grenzwerte ab ca. 150 m eingehalten		
UHF	470 – 890 MHz	Leistg. ≤ 5 MW ca. 1,5 km	< 0,005 W/m ²	2 – 4 W/m ²
		Grenzwerte ab ca. 75 m eingehalten		
Mobilfunk Basisstation D- Netz	890 – 960 MHz	Leistung max. 50 W je Kanal; ca. 50 m	< 0,001 W/m ²	4 W/m ²
		3 cm	< 2 W/m	
Antenne am mo- bilien Sender (Telefonhörer)		Der SAR-Grenzwert mit Sendeleistung	im D-Netz für Geräte bis 2 W eingehalten	
Mikrowellen- kochgeräte	2,45 GHz	Mittelwerte aus 130 Messungen 5 cm 30 cm	0,62 W/m ² < 0,06 W/m ²	Geräteabstand: 5 cm Abstand von der Oberfläche: < 50 W/m ²
Diebstahl- sicherungs- systeme	0,9 – 10 GHz	zugänglicher Be- reich, im Nutzstrahl	< 0,002 W/m ²	5 – 10 W/m ²
Radargeräte Flugüberwachung und Militär	1 – 10 GHz	Leistg. 0,2 – 20 kW 100 m 1 km	10 W/m ² < 0,02 W/m ²	10 W/m ²
		Verkehrsradar	Leistg. 0,5 – 100 MW 3 m 10 m	
HF-Belastung in Ballungsräumen	Rundfunk- und Fernsehsender	Höchstwerte an wenigen Orten Deutschlands	0,1 – 0,4 W/m ²	2 – 4 W/m ²

* Grenzwerte nach 26. BImSchV

Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, 1999

Um die Wirkung magnetischer Felder auf Organismen beurteilen zu können, müssen die unterschiedlichen Feldcharakteristika wie Zeitverlauf, Frequenz, Feldstärke bzw. Flussdichte, Energie, räumliche Verteilung sowie Dauer der Einwirkung berücksichtigt werden. Zudem ist zu beachten, dass die Erde ein eigenes magnetisches Feld aufweist und dass auch natürliche elektrische Felder existieren.

3.2.2.3.1 Effekte der elektromagnetischen Felder auf den Menschen

623. Das Risiko des Menschen, durch Einwirkungen elektromagnetischer Felder zu erkranken, ist von vielen Faktoren abhängig. Im Folgenden werden die Einflüsse verschiedener Strahlungsarten und elektromagnetischer Felder betrachtet. Aufgrund der Vielfalt weiterer Störfaktoren, denen Menschen täglich ausgesetzt sind (wie z. B. Luftschadstoffen, Lärm, Stress und möglichen Synergieeffekten), ist das tatsächliche Risiko schwer zu ermitteln. Zusätzlich erschwert die starke Emotionalisierung dieses Themas die Erhebung objektiver Befunde.

3.2.2.3.1.1 Ionisierende Strahlung

624. Die von der Einwirkung ionisierender Strahlung ausgehende Gefahr von Leukämieerkrankungen, direkten Fehlbildungen des Fetus (Teratogenese) oder irreparablen Schädigungen der chromosomalen DNA ist wissenschaftlich unumstritten. Über den auslösenden Mechanismus liegen bereits genaue Erkenntnisse vor. Die Art der ionisierenden Strahlung kann dabei verschieden sein. Ionisierend wirken die Röntgenstrahlung, die radioaktive Strahlung, die elektromagnetische Gammastrahlung und die Teilchenstrahlung (Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung). Um die biologische Wirkung beschreiben zu können, muss die Energiedosisleistung (gesamte absorbierte Energiedosis pro Zeit $[dD/dt]$) unter Berücksichtigung der Strahlenart (Äquivalenzdosis) bestimmt werden. Die somatisch schädigenden Effekte sind auf die radikalbildenden Eigenschaften der ionisierenden Strahlen zurückzuführen. Werden Bestandteile der DNA durch Radikale verändert, kann es zum Ausfall der Zellfunktion, also dem Absterben einzelner Zellen, oder zur Zellentartung (Tumorbildung) kommen. Besonders gefährdet sind sämtliche Zellen mit einer hohen Teilungsrates (für die Gewichtungsfaktoren, die dies zum Ausdruck bringen, s. Tab. 3.2.2-8). Von einer derartigen Schädigung sind daher meist zunächst das blutbildende (hämatopoetische) Organ und die Zellen der Keimbahn betroffen. Erbgutschäden in Keimzellen sind als besonders kritisch zu betrachten, da sie zu Fehlbildungen und angeborenen Erkrankungen auf die Nachkommen führen können.

Tabelle 3.2.2-8

**Gewichtungsfaktoren zur Umrechnung einer Teilkörperbestrahlung
in die gleichwertige effektive Ganzkörperdosis
der Internationalen Strahlenschutzkommission der WHO**

Körperteil	Gewichtungsfaktor
Keimdrüsen	0,20
Rotes Knochenmark, Dickdarm, Lunge, Magen	0,12
Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse	0,05
Übrige Körperbereiche (außer Haut und Knochenoberfläche)	0,05
Haut, Knochenoberfläche	0,01

Quelle: ICRP, 2000

625. Da im Bereich der ionisierenden Strahlung eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gut ermittelt werden kann, ist es möglich, insbesondere beruflich exponierte Personen vor ionisierenden Strahlen hinreichend zu schützen. Der Umweltrat sieht zur Zeit im Zusammenhang mit dem Einfluss ionisierender Strahlen auf die menschliche Gesundheit keinen akuten Handlungsbedarf.

**3.2.2.3.1.2 Hochfrequente elektromagnetische Felder
(1 MHz – 300 GHz)**

Störungen bei medizinischen Implantaten

626. Es ist seit langem bekannt, dass hochfrequente Felder einen Störeffekt auf medizinische Implantate (Herzschrittmacher), Hörgeräte, Insulinpumpen und Impulsgeber für Parkinsonkranke haben. So kann z. B. die Funktion von Herzschrittmachern sowohl durch hochfrequente als auch durch niederfrequente elektromagnetische Felder beeinträchtigt werden. Dies kann einen asynchronen Rhythmus oder eine ausbleibende Stimulation des Herzens zur Folge haben (HAUSER et al., 1985). Eine Störung von Herzschrittmachern bei Mobilfunknutzung ist bis zu einem Abstand von maximal 20 cm beobachtet worden, so dass Patienten in der Regel risikolos telefonieren können, wenn ein ausreichender Abstand zwischen Telefon und Schrittmacher eingehalten wird.

Emissionen elektromagnetischer Felder von anderen Geräten und Anlagen, z. B. Diebstahlsicherungen, können die besonders störanfälligen medizinischen Implantate und Körperhilfen ebenfalls in ihrer Funktion beeinträchtigen. Aus der Sicht des Umweltrates

ist es deshalb erforderlich, die Emissionen zu spezifizieren und an den Geräten auszuweisen sowie die Verträglichkeit dieser Geräte für Risikogruppen weiterhin zu verbessern.

Kanzerogene Wirkung

627. Bezüglich einer kanzerogenen Wirkung elektromagnetischer Felder liefern wissenschaftliche Fall-Kontroll-Studien keine belastbaren Daten. Es gibt bisher keine Hinweise darauf, dass Augen- oder Hirntumore unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder entstehen oder in ihrem Wachstum gefördert werden (INSKIP et al., 2001; JOHANSEN, 2000; MUSCAT et al., 2000; HARDELL et al., 1999). Nicht sicher geklärt ist bislang, ob eine Beziehung zwischen nicht-ionisierender Strahlung (hochfrequente und niederfrequente Felder) und dem Entstehen von Brustkrebs (Mammakarzinom) besteht.

Epidemiologische Studien, in denen an großen Gruppen (1 492 bzw. 20 000 Personen) die berufliche Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern untersucht wurde, zeigten keine Erhöhung der Mortalität und keinen Anstieg der Krebsrate (Zusammenfassung s. ROTHMAN, 2000). Die Höhe der Exposition lag zwischen zwei und zehn mW/cm^2 (ROBINETTE et al., 1990; HILL, 1988; MILLHAM, 1988). In zwei Studien wird ein leichter Anstieg lymphatischer und hämatopoetischer Tumore verzeichnet. Dies könnte ein Hinweis auf eine chronische Belastung durch elektromagnetische Felder (Radar) am Arbeitsplatz sein, jedoch sind die Häufigkeiten der aufgetretenen Tumorfälle zu gering, um eine Korrelation herstellen zu können (ROBINETTE et al., 1990; MILLHAM, 1998). Vergleichbar hohe Belastungen am Arbeitsplatz kommen in der Normalbevölkerung üblicherweise nicht vor.

Allerdings existieren auch epidemiologische und tierexperimentelle Studien, die im Widerspruch zu den dargestellten Untersuchungen stehen. Diese zeigen hinsichtlich ihrer Hinweise auf eine Kanzerogenität eine schwache Korrelation auf (COOGAN und ASCHENGRAU, 1998; VENA et al., 1996; WOLFF et al., 1996). Daher kann ein Effekt nicht völlig ausgeschlossen werden.

Im Hinblick auf ein mögliches Krebsrisiko durch hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks liegen ebenfalls einige epidemiologische Studien vor (Tz. 635 ff.).

628. Die Ermittlung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung bereitet Schwierigkeiten, da unter anderem bislang noch kein geeigneter Dosimeter zur Verfügung steht, der die Erfassung der individuellen Exposition zulässt. Aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Felder ist es nicht möglich, bei der dosimetrischen Erfassung das jeweils emittierende Gerät zu selektieren. Das Signal häuslicher Quellen (z B DECT-Telefone, Mikrowellen, Computer, Monitore) unterscheidet

sich zwar hinsichtlich der Frequenz und Intensität, es findet aber in der Regel eine Überlagerung der einzelnen Signale statt. Die gleiche Schwierigkeit besteht bei der individuellen Erfassung der Felder des Mobil- und Rundfunks (s. auch Tz. 635 ff.).

Thermische Wirkung

629. Hochfrequente Felder, insbesondere Mikrowellen, erzeugen Wärme, wenn sie von einem Organismus absorbiert werden. Wenn der Wärmeeffekt ausreichend hoch ist, kann er zu Verbrennungen, verstärkter Blutungsneigung (Hämorrhagien), Gewebnekrosen oder sogar zum Tod führen. Es ist wissenschaftlich gesichert, dass eine übermäßige Erwärmung des Körpers oder von Körperteilen durch eine Absorption elektromagnetischer Energie schädlich ist (HUTTER et al., 2001).

Damit Reaktionen in Form von Wärmeeffekten, Dipolwirkungen oder Veränderungen der Ionenpermeabilität von Zellmembranen auftreten, müssen jeweils Schwellen der Feldstärke überschritten werden. Die Eindringtiefe elektromagnetischer Felder in die Haut und tieferliegende Gewebe ist stark von der Frequenz, der Expositionsdauer und den dielektrischen, d. h. die Leitfähigkeit betreffenden Eigenschaften des Gewebes abhängig. Durch Untersuchungen, in denen Frequenzen hochfrequenter elektromagnetischer Felder eingesetzt wurden, die im Bereich des täglichen Lebens eine Rolle spielen, konnte die Bedeutung der auftretenden Temperaturerhöhung für die menschliche Gesundheit jedoch nicht geklärt werden.

630. Für die Exposition gegenüber Radarwellen am Arbeitsplatz wurden Grenzwerte zum Schutz der Beschäftigten festgelegt, die sich an medizinischen Kriterien orientieren und das Risiko einer Gefährdung minimieren. In epidemiologischen Studien wurde eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung errechnet. Aus präventivmedizinischen Gründen wird empfohlen, Expositionen im Bereich von 10 bis 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ zu vermeiden (RICHTER et al., 2000). Da die Exposition der Normalbevölkerung deutlich unterhalb dieser Werte liegt, erscheint es zur Zeit nicht erforderlich, weiterreichende Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Radarwellen einzuleiten.

631. Die thermische Wirkung hochfrequenter Felder auf Gewebe wurde größtenteils in *in vitro*-Studien oder in Tierexperimenten untersucht. Nach den vorliegenden Untersuchungen ist der thermische Effekt bei den für die Normalbevölkerung vorkommenden Expositionen auf experimentell erzeugte Zellmembranen zu gering, um Verhalten und Funktion dieser Membranen zu stören (EIBERT et al., 1999). Dagegen konnte bei genetisch veränderten niederen Organismen bei hoher Mikrowellenbestrahlung eine induzierte Stressantwort in Form einer vermehrten Produktion von Hitzeschockproteinen (hsp) beobachtet werden (DANIELLS et al., 1998). Ähnliche Ergebnisse wurden in Versuchen mit Ratten erzielt. Es ist allerdings eher unwahrscheinlich, dass ein leichter Anstieg der Konzentration von Hitzeschockproteinen unter Befeldung eine Auswirkung

auf die Gesundheit höherer Organismen hat. Eine Exposition gegenüber einer hohen Mikrowellenbestrahlung kommt zudem normalerweise nicht vor. Auch wenn die Übertragbarkeit der betreffenden Untersuchungsergebnisse auf den Menschen fraglich ist, muss die Energieabsorption der Gewebe kritisch betrachtet werden. Sie ist jedoch bei der Festlegung der Grenzwerte der 26. BImSchV bereits beachtet worden.

632. Für die Risikobewertung muss zusätzlich auf das Auge als kritisches Organ hingewiesen werden, da das Innere des Auges, insbesondere die Linse, temperaturisoliert ist und nur ein geringer Wärmeaustausch mit dem umgebenden Gewebe stattfindet. In der wissenschaftlichen Diskussion wurde die Bildung des Grauen Stars (Katarakt) durch die thermische Wirkung elektromagnetischer Felder der Mobilkommunikation als möglich erachtet. Es zeigte sich jedoch, dass dieses Krankheitsbild aufgrund der geringen Strahlungsintensität nicht durch die Nutzung von Mobiltelefonen hervorgerufen werden kann. Dagegen ist bekannt, dass Mikrowellen in hoher Intensität zur Erwärmung der Augenlinse führen und so die Bildung eines Katarakts auslösen können. Für beruflich exponierte Personen existieren daher besondere Schutzanweisungen (CUTZ, 1998).

Auswirkungen auf das Hörorgan sind bisher nicht bekannt. Die Möglichkeit des Absterbens der Sinneshärchen (Kinocilien) des Hörorgans konnte trotz intensiver Forschung nicht bestätigt werden, so dass nach derzeitigem Wissensstand eine Schädigung des Hörorgans ausgeschlossen zu sein scheint.

633. Die "Wärmewirkung" wird im Rahmen der Elektrotherapie auch medizinisch genutzt (Diathermie) und gilt hier aufgrund der relativ kurzen Anwendungszeit als unbedenklich. Die Feldintensitäten liegen dabei um Größenordnungen über den bei Mobiltelefonen und Mobilfunksendeanlagen eingesetzten Intensitätsbereichen. Jedoch wird diese Therapie über einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum eingesetzt (gewöhnlich zwischen 30 und 60 Minuten).

Athermische Effekte

634. Neben kanzerogenen und thermischen Wirkungen hochfrequenter Felder werden athermische Effekte verschiedener Art diskutiert. Ein wesentlicher Einfluss auf Zellmembranen konnte bislang nicht nachgewiesen werden. Untersuchungen *in vitro* zeigten jedoch, dass möglicherweise ein Einfluss auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke besteht. Diese verhindert den unkontrollierten Übertritt nicht fettlöslicher Substanzen in den Liquorraum des Gehirns und des Rückenmarks anhand von Zell-Zell-Kontakten (tight-junctions) zwischen Endothelzellen und einer dichten Gliazellschicht. Wirken hochfrequente Felder auf dieses System, könnte es auch für nicht fettlösliche Substanzen durchlässig werden. Hierzu existieren unterschiedliche wissenschaftliche Aussagen (SCHIRMACHER et al., 2000; SALFORD et al., 1994). Eine

gesundheitliche Gefährdung der Menschen und Tiere durch eine biologische Wirkung der elektromagnetischen Felder kann jedoch aufgrund der vorliegenden Daten ebenfalls als äußerst unwahrscheinlich eingestuft werden.

Mobilfunk

635. In den letzten Jahren ist der Markt der mobilen Kommunikation stark gewachsen. Dadurch bedingt hat sowohl die Anzahl der verschiedenen Mobilfunksendeanlagen als auch die der Mobiltelefone zugenommen. Die Betreiber streben an, dem Kunden ein mehr oder weniger flächendeckendes Netz anzubieten, weshalb an vielen Standorten sichtbare oder nicht sichtbare Sendeanlagen (z. B. in Kirchtürmen oder im Dachgeschoss hoher Wohnhäuser) errichtet worden sind. Zur Zeit hält diese Entwicklung noch an, so dass weiterhin Sendeanlagen errichtet und in Betrieb genommen werden.

Aufgrund des starken Wachstums in diesem Technologiebereich ist in der Öffentlichkeit die Befürchtung verbreitet, dass die Zunahme der hochfrequenten Felder einen schädlichen Einfluss auf die Gesundheit haben könnte. Zahlreiche Bürgerinitiativen, die Interessen von Personen vertreten, die ihre Gesundheit gefährdet sehen und sich durch den Mobilfunk belästigt fühlen, befürchten insbesondere einen schädlichen Einfluss durch Emissionen der Mobilfunksendeanlagen. Den Mobiltelefonen werden dabei nicht zwangsläufig die gleichen Bedenken entgegen gebracht. Es wird befürchtet, dass wohnortnahe Sendeanlagen unter anderem Krebs, Konzentrations- und Leistungsstörungen sowie unterschiedliche unspezifische Krankheitssymptome auslösen können. Von den Bürgerinitiativen wird eine drastische Reduzierung der bestehenden Grenzwerte und eine Abschaltung bzw. die Nicht-Inbetriebnahme einzelner Sendeanlagen gefordert. Häufig wird als Grund für die Notwendigkeit einer Abschaltung eine Zunahme der Erkrankungshäufigkeit – meist bei Kindern – angeführt, die erst nach Inbetriebnahme der entsprechenden Sendeanlage aufgetreten sei. Diese Beschwerden werden im allgemeinen auf die emittierten "unsichtbaren" hochfrequenten Felder zurückgeführt. Häufig bessern sich die unspezifischen Beschwerden der Kinder bei Wechsel des Wohnortes oder der "belasteten" Schule. Ein gesundheitsschädlicher Einfluss der Sendeanlage kann jedoch nicht ohne ärztliche und sozialpsychologische Überprüfung als Begründung für das Entstehen von Krankheiten angesehen werden.

636. Gegen die Begründetheit der vorgebrachten Bedenken und Befürchtungen sprechen die Ergebnisse aus wissenschaftlichen Forschungsarbeiten über die gesundheitlichen Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern aus Mobilfunksendeanlagen und Mobiltelefonen (SSK, 2001). Ein grundsätzliches Problem bei der Beurteilung gesundheitlicher Auswirkungen besteht allerdings in der Erfassung der individuellen Exposition gegenüber einzelnen Emittenten. Bei der Erfassung der spezifischen Absorpti-

onsrate (SAR) kann keine Zuordnung der emittierten Felder zu den verschiedenen häuslichen und externen Quellen getroffen werden. Insbesondere Immissionen von Sendeanlagen können auf diese Weise nicht bestimmt werden, da die Intensität dieser Anlagen mit zunehmendem Abstand kontinuierlich geringer wird. Es kommt zu einer Überlagerung der Felder, deren spezifische Differenzierung zur Zeit technisch noch nicht möglich ist. Die Bestimmung der individuellen Exposition gegenüber Sendeanlagen wird voraussichtlich auch zukünftig problematisch bleiben (BLETTNER et al., 2000).

Hinsichtlich der Bewertung der Emissionsquellen muss berücksichtigt werden, dass die Exposition der Bevölkerung gegenüber den eingeschalteten und sendenden Mobiltelefonen, schon aufgrund des Abstandes zum Körper, wesentlich höher ist als die Exposition gegenüber Mobilfunksendeanlagen. Im Haushalt zählen zu den bedeutenderen Emissionsquellen insbesondere auch die schnurlosen Telefone (DECT), deren Basisstationen im Gegensatz zu einem Mobiltelefon ständig Signale senden.

637. Die im Bereich der kanzerogenen Wirkungen durchgeführten epidemiologischen Fall-Kontroll- und Kohortenstudien sind größtenteils inhomogen und inkonsistent. Vereinzelt Hinweise auf einen Zusammenhang sind entweder nicht reproduzierbar – etwa im Tierversuch – oder statistisch nicht korrelierbar. Darüber hinaus ist die Krebsinzidenz in diesen Studien zu gering, um eine verlässliche statistische Auswertung durchführen zu können (ROTHMAN, 2000).

Die derzeit verbreitete Mobilfunktechnik hat sich erst in den letzten fünf bis zehn Jahren etabliert. Für Tumorinduzierung und Tumorbildung muss wahrscheinlich ein längerer Zeitraum angenommen werden. Eine erhöhte Tumorfrequenz wäre daher gegenwärtig noch nicht feststellbar. Anhaltspunkte für einen entsprechenden Wirkmechanismus existieren bislang nicht. Eine abschließende Aussage kann jedoch aufgrund des zu kurzen Beobachtungszeitraums noch nicht getroffen werden.

638. Thermische Effekte sind bei Mobilfunksendeanlagen eher unerheblich und haben lediglich bei Mobiltelefonen eine Bedeutung. Die Eindringtiefe in Gewebe beträgt bei Mobiltelefonen nur wenige Zentimeter (BERNHARDT, 1999). Bei einem längeren Telefonat beträgt die Temperaturerhöhung des in unmittelbarem Kontakt zum Mobiltelefon stehenden Gewebes maximal 1 °C. Weitere relevante Ergebnisse aus Studien zu thermischen Effekten werden an anderer Stelle beschrieben (Tz. 631).

639. Athermische Effekte, wie etwa ein Einfluss auf Zellmembranen durch im Mobilfunk eingesetzte Frequenzen, konnten nicht nachgewiesen werden. In einigen *in vitro*-Untersuchungen wurde ein geringer Effekt auf Organsysteme, wie z. B. auf die Blut-Hirn-Schranke, ermittelt (s. auch Tz. 634). Die Relevanz dieser Beobachtung für die Auswirkung auf den Menschen ist weitgehend ungeklärt.

Eine in Bayern an Rindern durchgeführte epidemiologische Studie zur Frage von athermischen Effekten erwies sich als nicht geeignet, einen Einfluss elektromagnetischer Felder auf die Gesundheit von Rindern zu belegen oder zu widerlegen. Nachträglich stellte sich heraus, dass bei der Auswahl der untersuchten Betriebe verschiedene Einflussgrößen, wie die verschiedenen Rinderrassen, die Rinderviruserkrankung BVD (*bovine virus disease*) und die geographische Lage, zu wenig berücksichtigt worden waren. Diese Faktoren haben, wie auch die nicht ausreichend kontrollierten Parameter der Leistung (z. B. Milchproduktion) und des Verhaltens (z. B. Liegezeit während des Wiederkäuens), die Ergebnisse stark beeinflusst. Eine Beeinträchtigung dieser Parameter durch die Nähe zu Rundfunk- bzw. Mobilfunksendeanlagen lässt sich dennoch nicht völlig ausschließen (Bayrisches Umweltministerium, 2000).

Das ECOLOG-Institut hat im Auftrag von zwei Mobilfunkbetreibern eine Zusammenfassung und Bewertung der Forschungsarbeiten bezüglich elektromagnetischer Felder vorgenommen und kommt zu dem Schluss, dass vorsorgliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung erforderlich sind (HENNIES et al., 2000). In dieser Bewertung wird aufgrund nach wie vor offener Forschungsfragen die Empfehlung für eine drastische Absenkung der Grenzwerte ausgesprochen. Das ECOLOG-Institut kritisiert die angewendeten Methoden vorliegender Forschungsarbeiten dahingehend, dass insbesondere statistische Methoden inkorrekt angewendet und deshalb falsche Schlussfolgerungen gezogen worden seien. Diese Kritik richtet sich vornehmlich gegen solche Studien, die keinen Hinweis auf eine gesundheitliche Schädigung aufzeigen. In einer Stellungnahme zum Gutachten des ECOLOG-Instituts werden formale Mängel und analytische Fehler dieser Arbeit angeführt (VOLLRATH, 2001). In dem Gutachten seien Forschungsergebnisse in einen falschen Kontext gestellt und in unzulässiger Art und Weise extrapoliert. Es werden überwiegend Forschungsarbeiten berücksichtigt, in denen mit elektromagnetischen Feldern gearbeitet wird, die im Mobilfunk nicht zur Anwendung kommen, z. B. Mikrowellen oder Radarstrahlen. Größtenteils wurden tierexperimentelle Studien betrachtet, ohne dass dies explizit erwähnt wird. Deren Ergebnisse werden für humantoxikologische Betrachtungen herangezogen, obwohl eine Übertragbarkeit dieser tierexperimentellen Studien auf Menschen nicht gegeben ist.

Darüber hinaus werden kausale Zusammenhänge zwischen elektromagnetischen Feldern und Gesundheitsbeeinträchtigungen beim Menschen postuliert. Hierfür wurden in der abschließenden Bewertung in der Regel nur Studien berücksichtigt, die einen Effekt zeigen. Die zahlreichen Untersuchungen, in denen kein Effekt gefunden wurde, werden dagegen nur in der tabellarischen Darstellung aufgeführt, jedoch im Text nicht angemessen berücksichtigt und bewertet. In seiner Stellungnahme kommt VOLLRATH zu dem Schluss, dass das Gutachten des ECOLOG-Instituts die Fragestellung nach Auswirkungen des Mobilfunks auf die menschliche Gesundheit nicht ausreichend fokussiert (VOLLRATH, 2001). Dadurch wird eine Gefährdung der Bevölkerung durch

elektromagnetische Felder suggeriert, für die nach dem bisherigen Forschungsstand keine Anhaltspunkte bestehen.

640. In der Bevölkerung bestehen zusätzlich Bedenken, dass die extrem gepulsten Felder (vgl. Kasten unten) der UMTS, die in absehbarer Zeit von neu errichteten Sendeanlagen emittiert werden, einen gesundheitlichen Schaden hervorrufen können. Wie auch bei Feldern des derzeit aktiven Mobilfunks, werden hier Wirkungsmechanismen vermutet, die in Bio-Regulationssysteme des Körpers eingreifen. Diese Annahme gründet sich darauf, dass diese Regulationssysteme über elektrische Signale gesteuert werden. Die im Körper wirkenden und in kurzen Abständen aufeinanderfolgenden elektrischen Signale haben Ähnlichkeit mit gepulsten (getakteten) Feldern des Mobilfunks. Aufgrund dieser Analogie wird befürchtet, dass gepulste elektromagnetische Felder einen unkontrollierten steuernden Einfluss auf den körpereigenen Biorhythmus haben könnten. Über einen Einfluss des UMTS-Signals auf die menschliche Gesundheit kann zur Zeit keine Aussage getroffen werden, da noch keine Studien zu UMTS vorliegen. Ein so genanntes Standardsignal, das das UMTS-Signal repräsentieren soll, wurde in der Forschung erst kürzlich eingeführt. Forschungsarbeiten in dieser Richtung beginnen zur Zeit.

Pulsung

Eine Besonderheit der Wechselfelder sind gepulste (getaktete) Felder. Hier wird z. B. ein Gleichfeld kurzzeitig unterbrochen (getaktet), wobei dieses periodisch oder aperiodisch erfolgen kann (jede leitergebundene binäre Datenübertragung beruht auf diesem Verfahren). Dieses Prinzip wird auch in der drahtlosen Informationsübertragung eingesetzt: Hier wird ein sich in den Raum ausbreitendes Hochfrequenz-Signal (elektromagnetische Welle) im allgemeinen konstantperiodisch niederfrequent getaktet und in diesem Zeitschlitz die komprimierte digitalisierte Information übertragen. Auf dieser Technik beruht die Funktionsweise des GSM-Standards in der Telekommunikation (D- bzw. E-Netz); hier wird mit 217 Hz getaktet.

641. Die Schwierigkeiten bei der Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen des Mobilfunks gründen sich vor allem darauf, dass die Technologien für die mobile Kommunikation relativ neu sind. Bislang konnte weder ein Wirkmechanismus hochfrequenter Felder noch eine gesundheitliche Schädigung durch eine chronische Einwirkung beschrieben werden. Eine abschließende Aussage bezüglich der gesundheitlichen Relevanz für Mensch und Umwelt kann infolgedessen noch nicht getroffen werden. Die Hinweise aus bislang veröffentlichten Studien geben nach Ansicht des Umweltrats jedoch zur Zeit keinen Anlass zur Besorgnis. Eine gesundheitliche Schädigung der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder der Mobilkommunikation ist nach derzeitigem Wissensstand eher unwahrscheinlich. Da sich die bislang ermittelten wissen-

schaftlichen Ergebnisse als strittig erwiesen haben, ist es notwendig, die weiteren Entwicklungen in der Forschung zu beobachten.

3.2.2.3.1.3 Niederfrequente magnetische Felder (1 Hz – 100 Hz)

Eine thermische Wirkung wie bei hochfrequenten Feldern tritt bei niederfrequenten elektrischen und magnetischen Wechselfeldern nicht auf.

Kanzerogene Wirkung

642. Niederfrequente Wechselfelder gehen fast ausschließlich von der häuslichen Stromversorgung und den zuliefernden Hochspannungsleitungen aus. Auch für diese Felder wird eine kanzerogene Wirkung seit langem diskutiert, allerdings konnte bislang weder ein Wirkmechanismus aufgezeigt noch durch epidemiologische Studien ein Risiko ermittelt werden.

In der Öffentlichkeit besteht insbesondere die Befürchtung, dass durch die Magnetfelder der häuslichen Energieversorgung Leukämie bei Kindern ausgelöst werden könnte. Eine statistisch abgesicherte Korrelation zwischen niederfrequenten magnetischen Feldern und der Häufigkeit von Leukämie bei Kindern konnte jedoch bislang nicht nachgewiesen werden. Neuste Studien weisen eine schwache Korrelation zwischen Leukämien im Kindesalter und Magnetfeldern der häuslichen Energieversorgung ($> 0,4 \mu\text{T}$) auf. Eine Studie kommt zu dem Schluss, dass weniger als 1% der Fälle aller Leukämien bei Kindern in Deutschland (3 bis 4 Fälle von ca. 620 Fällen im Jahr) auf die Exposition durch magnetische Felder zurückzuführen wäre, sofern ein kausaler Zusammenhang vorläge (SCHÜZ und MICHAELIS, 2001; MICHAELIS et al., 1998). Bei der Auswertung dieser Aussage muss berücksichtigt werden, dass eine Korrelation von zwei Ereignissen keine Aussage über das Vorliegen einer Kausalbeziehung zulässt. Zudem ist kein Wirkmechanismus bekannt, der die von MICHAELIS et al. (1998) dargestellte Assoziation zwischen dem Entstehen von Leukämie bei Kindern und den Magnetfeldern der häuslichen Energieversorgung erklären könnte. Zusätzlich sind die Fallzahlen, die einen solchen Zusammenhang ausweisen, im Vergleich mit der Gesamtbevölkerung sehr gering.

643. Der Versuch, einen theoretischen Wirkmechanismus aufzuzeigen, ist mit der Melatonin-Hypothese gemacht worden und wurde vom Umweltrat bereits diskutiert (vgl. SRU, 1996, Tz. 543). Im Folgenden wird auf die physiologischen Zusammenhänge näher eingegangen: Melatonin ist das Hormon der Zirbeldrüse (Epiphyse, Pinealorgan), das tagsüber durch das sichtbare Licht in seiner Produktion und Ausschüttung gebremst wird. Nachts findet eine höhere und ungebremste Melatoninausschüttung statt, weshalb der Melatoninspiegel im Blut nachts höher ist als tagsüber. Es wird angenommen, dass elektromagnetische Felder unabhängig von ihrer

Frequenz auf die gleiche Weise wie der Spektralbereich des sichtbaren Lichts hemmend auf das Pinealorgan wirken können. Da es sich bei Melatonin um ein Hormon der eigenen Körperabwehr handelt, das eine wachstumshemmende Wirkung auf maligne Melanome hat, könnte durch eine Absenkung des Spiegels im Blut unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder hypothetisch eine Tumorbildung begünstigt werden. Eine Reduktion der Melatonin-Bildung konnte bereits mehrfach an isolierten Pinealorganen und Pinealocyten-Kulturen gezeigt werden (ROSEN et al., 1998; RICHARDSON et al., 1992; CREMER-BARTELS et al., 1984). Im Tiermodell (Ratten) wurde eine Reduzierung von Melatonin durch zirkulär polarisierte Wechselfelder von 50 und 60 Hz bei 100 μ T beschrieben. Dadurch wird das Wachstum vorhandener Karzinome nicht mehr gehemmt (indirekte kanzerogene Wirkung) (LOSCHER et al., 1998; KATO et al., 1994). Die Melatonin-Hypothese konnte am Menschen bislang nicht bestätigt werden; es werden jedoch zur Zeit zwei Studien zur Wirkung am Menschen in Witten-Herdecke und Kansas City/Missouri an freiwilligen Probanden durchgeführt (GRAHAM et al., 2000). In diesen Studien werden die Veränderungen der nächtlichen Melatoninspiegel unter dem Einfluss der gleichen experimentellen Bedingungen wie im Tierexperiment gemessen. Erste Ergebnisse der deutschen Studie zeigen jedoch bei einer Befeldung mit 60 Hz und 100 μ T keine entscheidenden Veränderungen der nächtlichen Melatoninspiegel beim Menschen.

Athermische Effekte

644. Im Niederfrequenzbereich werden Erregungen von Nerven- und Muskelgewebe als biologisch relevante Wirkungen angesehen. Der Schwellenwert für eine gesundheitliche Beeinflussung liegt bei 100 mA/m² im Frequenzbereich zwischen 1 Hz bis 1 kHz. Durch die bestehenden Grenzwerte, die um den 10-fachen (Arbeitsplatz) und 15-fachen Faktor (Bevölkerung) unterhalb des Schwellenwertes liegen, werden auch geringfügige Beeinflussungen des zentralen Nervensystems und Magnetophosphene (Lichterscheinung aufgrund nicht adäquater, d. h. magnetischer Reizung des Sehorgans) ausgeschlossen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass aus wissenschaftlicher Sicht bislang keine Indizien oder Anhaltspunkte für eine gesundheitliche Schädigung von Organismen durch hochfrequente Felder des Mobilfunks aufgezeigt werden konnten. Im Bereich der niederfrequenten elektromagnetischen Felder der häuslichen Stromversorgung existiert lediglich eine schwache Korrelation zu kindlichen Leukämiefällen, ohne dass dieser Zusammenhang durch einen Wirkmechanismus erklärt werden könnte. Eine zusammengefasste Darstellung für eine Assoziation von Hinweisen bzw. Einzelbefunden ist in Tab. 3.2.2-9 dargestellt.

Tabelle 3.2.2-9

Strukturierte Zusammenfassung der epidemiologischen Evidenz für das Risiko, durch den Einfluss hochfrequenter und niederfrequenter elektromagnetischer Felder zu erkranken

Faktoren mit konsistenter Assoziation
– Erhöhung des Unfallrisikos bei Nutzung von Mobiltelefonen während der Autofahrt
Faktoren mit eingeschränkt konsistenter Assoziation
– Leukämien bei Kindern bei häuslicher niederfrequenter Magnetfeldexposition
Faktoren mit vereinzelt Hinweisen auf eine Assoziation
– Amyotrophische Lateralsklerose (ALS), Alzheimer-Erkrankung bei EMF*-Exposition am Arbeitsplatz
– Leukämie bei Erwachsenen bei EMF*-Exposition am Arbeitsplatz
– Brustkrebs bei EMF*-Exposition am Arbeitsplatz
– Hirntumore bei EMF*-Exposition am Arbeitsplatz
– Leukämien im Umkreis von Sendeanlagen für TV, Radio und Kommunikation
Faktoren mit inkonsistenter/fehlender Assoziation
– andere Krebserkrankungen
– andere neurodegenerative Erkrankungen
– Auswirkungen auf den Fötus oder den Verlauf einer Schwangerschaft
– Arteriosklerose und chronische Herzkrankheiten
– Suizid und Depression
Faktoren, für die bisher nur wenige Ergebnisse vorliegen und erhöhter Forschungsbedarf besteht
– Gesundheitsschädigende Effekte bei der Nutzung von Mobiltelefonen
– Auftreten von Befindlichkeitsstörungen im Umkreis von Mobilfunk-Basisstationen
– Akuter Myokardinfarkt bei EMF*-Exposition am Arbeitsplatz
– Gesundheitsschädigende Wirkung durch niederfrequente elektrische Felder
– Elektrische Hypersensibilität

* EMF: elektromagnetisches Feld

Quelle: MICHAELIS und SCHÜTZ, 2001

Selbst bei Personen, die beruflich gegenüber elektromagnetischen Feldern exponiert wurden, konnten in umfassenden Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien eine kanzerogene Wirkung oder athermische Effekte nicht belegt werden. Einzelfunde in diesem Zusammenhang (vgl. z. B. Tab. 3.2.2-9) sind weder eindeutig und schlüssig, noch wurden sie in Folgeuntersuchungen bestätigt.

Grenz- und Richtwerte für Hochfrequenz- und Niederfrequenzanlagen

645. Bis 1994 galten im Allgemeinen die Richtwerte nach DIN (DIN VDE 0848 Teil 2). Diese Werte werden seit Inkrafttreten der 26. BImSchV (01.01.1997) nicht mehr berücksichtigt. Die zur Zeit geltenden Basisgrenzwerte richten sich nach den physikalisch messbaren Größen (Referenzwerte). Für Deutschland und die EU liegen sie im Wesentlichen in der gleichen Größenordnung (WHO, 2000; IC-NIRP, 1998). In der 26. BImSchV wird die thermodynamische Gesetzmäßigkeit des Energieeintrags der Emittenten und die akute Wirkung bewertet, ohne jedoch die potenzielle athermische Wirkung zu berücksichtigen (vgl. Tab. 3.2.2-10 sowie Tz. 622).

Tabelle 3.2.2-10

Basisgrenzwerte und abgeleitete Grenzwerte der 26. BImSchV

1. Ganzkörper-SAR*-Grenzwerte, gemittelt über Sechs-Minuten-Intervalle:		
– Berufliche Exposition: 0,4 W/kg		
– Bevölkerung, sonstige Arbeitskräfte: 0,08 W/kg		
2. Teilkörper-SAR*-Grenzwerte, gemittelt über Sechs-Minuten-Intervalle:		
– Berufliche Exposition: 100 mW/10g		
– Bevölkerung, sonstige Arbeitskräfte: 20 mW/10g		
3. Aus den Ganzkörper-Basisgrenzwerten abgeleitete Grenzwerte für die Leistungsflussdichte:		
Frequenz in MHz	Leistungsflussdichte in W/m ² bzw. in mW/cm ²	
	Berufliche Exposition	Bevölkerung, sonstige Arbeitnehmer
30 – 400	10 (1)	2 (0,2)
900	22,5 (2,25)	4,5 (0,45)
> 2 000	50 (5)	10 (1)

*SAR: spezifische Absorptionsrate

Quelle: 26. BImSchV (Anhang)

In anderen europäischen Ländern kam man zu anderen Werten: Italien unterscheidet zwischen einem Kurzzeit-Vorsorgewert von 1 W/m² und einem Dauerbelastungs-Vorsorgewert von 0,1 W/m². In der Schweiz wurden für die Mobilfunk-Frequenzen differenzierte Vorsorgewerte festgelegt. Bei einer Frequenz von 900 MHz beträgt der Grenzwert 0,042 W/m² und bei 1 800 MHz beträgt er 0,095 W/m². Extreme Vorsorgewerte von 0,001 W/m², denen kein Wirkungsbezug zugrunde liegt, wurden im Rahmen einer freiwilligen Vereinbarung zwischen einem einzigen Mobilfunkbetreiber und der Stadt Salzburg empfohlen (OBERFELD und KÖNIG, 2001; Salzburger Resolution, 2000). Die Werte dieser Vereinbarung können zur Zeit nicht eingehalten werden.

646. Die Einhaltung der geltenden Basisgrenzwerte der 26. BImSchV wurde in Schleswig-Holstein durch Messungen an 12 verschiedenen Messorten unter Berücksichtigung von Mobilfunksendeanlagen, Rundfunk- (Lang-, Mittel- und Kurzwelle) und Fernsehsendeanlagen sowie häuslichen Quellen elektromagnetischer Felder (z. B. Mobiltelefon, Babyphon, Mikrowelle, DECT-Stationen) überprüft (WUSCHEK, 2000). Hierbei ergab sich, dass die gemessenen Werte während der Messperiode an keinem der Messorte den Grenzwert erreichten, sondern stets um mindestens 10 % niedriger lagen.

647. Die Möglichkeit und Notwendigkeit, zum Schutz der Bevölkerung einen niedrigeren Vorsorgewert festzulegen, wird zur Zeit von der Bundesregierung geprüft. Aus der Sicht des Umweltrates besteht kein Anlass, hier eine politische Priorität zu setzen. Die Grenzwerte der 26. BImSchV wurden unter Berücksichtigung der thermischen Effekte festgelegt. Für athermische Effekte konnte bislang weder eine Dosis-Wirkungs-Beziehung noch ein Schwellenwert beschrieben werden, und es liegen keine relevanten und konsistenten Anhaltspunkte für eine gesundheitliche Schädigung unterhalb bestehender Grenzwerte der 26. BImSchV vor. Zudem ist zweifelhaft, ob durch die Festlegung eines niedrigeren Vorsorgewertes tatsächlich die Dichte der elektromagnetischen Felder reduziert werden kann. Niedrigere Vorsorgewerte führen zwangsläufig dazu, dass Mobilfunkbetreiber mehr Sendeanlagen pro Fläche errichten müssen, um eine entsprechende Netzabdeckung zu gewährleisten (WIEDEMANN et al., 2001). Das Mobile Manufacturers Forum (MMF) besteht aus einem Zusammenschluss der Mobiltelefon-Hersteller. Im Rahmen einer freiwilligen Verpflichtung ab dem 01.10.2001 liefern diese Hersteller die SAR-Werte ihrer neuen Mobiltelefone in der Betriebsanleitung oder einem Zusatzblatt und die Werte der alten und neuen Mobiltelefone zusätzlich im Internet (MMF, 2001).

3.2.2.3.1.4 Elektrosensibilität

648. Patienten, die angeben, elektrosensibel zu sein (*self reported electromagnetic hypersensitivity*), klagen über subjektive Symptome wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Missempfindungen, Kribbelgefühle, Konzentrationsstörungen, Schlafstörungen, Reizbarkeit, extreme Müdigkeit oder depressive Zustände. Die Betroffenen schreiben ihre Beschwerden den Einwirkungen nieder- und/oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder zu. Als Auslöser dieser Beschwerden werden häufig die Wohnlage in der Nähe einer Mobilfunksendeanlage, die Nutzung von Mobiltelefonen (hochfrequent) oder auch die 50 Hz-Felder der häuslichen Stromversorgung (niederfrequent) angegeben. Häufig beschränken sich die Beschwerden auf den Einfluss bestimmter Emittenten. Es wird z. B. eine Empfindlichkeit gegenüber Mobiltelefonen, nicht aber gegenüber schnurlosen Haustelefonen (DECT) angegeben, obwohl die Leistungsdichte der DECT-Basisstationen deutlich höher liegen kann.

In einer Studie mit elektrosensiblen Personen und einem Kontrollkollektiv wurde die Felderkennungsrate (Trefferquote für das Erkennen eines elektromagnetischen Feldes von 50 Hz mit einer Flussrate von 10 μ T) gemessen. Das Ergebnis zeigte, dass elektrosensible Personen objektiv die Felder, die sie wahrzunehmen glauben, nicht wahrnehmen (FACHNER et al., 1994). Allerdings wurden in Deutschland nur 181 Fälle von Elektrosensibilität identifiziert (BERGQVIST und VOGEL, 1997); dementsprechend gering ist die Gruppe der Probanden, die bisher untersucht werden konnte. Zwar stehen diese Personen unter einem starken Leidensdruck und bedürfen der medizinischen Hilfe (SILNY, 1999), jedoch sprechen die bislang ausgewerteten Fälle gegen ein eigenständiges Krankheitsbild einer Elektro- oder Magnetosensibilität.

3.2.2.3.2 Umwelteffekte der elektromagnetischen Felder

649. Das Wissen über die Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf andere Organismen als den Menschen ist begrenzt. Insbesondere über Hochfrequenzeffekte auf das Ökosystem Meer und das Leben im Wasser liegen wenige bis keine Berichte vor. Einflüsse auf die Orientierung und Navigation einzelner Meerestiere erscheinen möglich. Eine Studie zum Jagdverhalten von Rochen und Haien zeigte, dass von diesen Tieren ein künstlich erzeugtes elektromagnetisches Feld von 50 bis 60 Hz detektiert werden kann. Haie orten ihre Beute mittels einer Sensorik für elektromagnetische Felder im Kopfbereich (Ampullae Lorenzini). Die Empfindlichkeit dieses Sinnesorgans nimmt jedoch zu höheren Frequenzen hin ab, so dass hochfrequente elektromagnetische Felder nicht mehr wahrgenommen werden können. Die Orientierung der Tiere wurde durch die künstlich erzeugten niederfrequenten Felder nicht beeinträchtigt, da die Tiere sich durch ein Zusammenwirken mehrerer Sinnessysteme und Instinkte orientieren und auf diese Weise den Einfluss der elektromagnetischen Felder kompensieren können (KALMIJN, 2000). Unklar ist, ob durch die Kompensation Stress erzeugt wurde und ob langfristige Auswirkungen möglich sind.

Nicht nur bei Meerestieren, sondern auch bei Vögeln weisen erste Untersuchungen bezüglich der Orientierung auf ein multifaktorielles Zusammenwirken verschiedener Instinkte hin. Es ist anzunehmen, dass vereinzelt Verhaltensänderungen bei einigen Spezies unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder erkannt und beschrieben werden können. Allerdings liegen hierzu keine Untersuchungen vor. Die Forschung bezüglich des Einflusses von elektromagnetischen Feldern auf die Orientierung von Vögeln steht noch am Anfang; Ergebnisse sind erst in einiger Zeit zu erwarten.

3.2.2.3.3 Aktueller Forschungsbedarf

650. In der wissenschaftlichen Diskussion besteht Einigkeit darüber, dass es weiterer intensiver Erforschung der gesundheitlichen Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf den Menschen bedarf (Bundesamt für Strahlenschutz, 2001). Erforderlich ist insbesondere die Ermittlung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung und die Beschreibung von Wirkmechanismen, um Aussagen über Assoziationen und Zusammenhänge treffen zu können. Weiterhin sind korrelierende Ergebnisse epidemiologischer Studien für die Aussagen über Zusammenhänge erforderlich.

Forschungsbedarf besteht vor allem in drei Punkten:

1. Erfassung der individuellen Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.
2. Weitere *in vitro*- und *in vivo*-Studien zur Identifikation von Wirkmechanismen sowie epidemiologische Quer- und Längsschnittstudien. In epidemiologischen Studien können die tatsächlichen Ängste in der Bevölkerung ermittelt und Einschränkungen in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sowie die psychosomatischen Komponenten in Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern erfasst werden.
3. Strategien für eine verbesserte Risikokommunikation (WIEDEMANN et al., 2001).

Zur Ermittlung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung muss zunächst eine zuverlässige und praktikable Methode der Personendosimetrie entwickelt werden. Da es bislang nicht möglich ist, die Exposition der Bevölkerung gegenüber den unterschiedlichen Quellen elektromagnetischer Felder zu erfassen (vgl. Tz. 628) , bedarf es hier ebenfalls der Entwicklung einer geeigneten Methode.

In einigen biologischen Systemen, wie etwa dem Pinealorgan oder einer experimentell nachgebildeten Blut-Hirn-Schranke, konnten *in vitro* unter bestimmten Versuchsbedingungen Reaktionen auf elektromagnetische Felder gezeigt werden. Für die Ermittlung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung verspricht ein Einsatz derartiger Systeme den größten Erfolg.

Gesundheitliche Auswirkungen der elektromagnetischen Felder auf die Bevölkerung können ausschließlich mit epidemiologischen Methoden erfasst werden. Dazu zählen sowohl Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien zur Ermittlung des gesundheitlichen Risikos exponierter Berufsgruppen als auch Querschnitt- und Längsschnittstudien großer Teile der "Normalbevölkerung", die gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wie denen des Mobilfunks exponiert sind. Derartige Studien könnten eine Bewertung vergleichbarer Kollektive beinhalten, die sich ausschließlich in ihrer Exposition gegenüber Sendeanlagen des Mobil- bzw. Rundfunks qualitativ oder quantitativ unterscheiden. Wenn sich derartige Kollektive nicht in ihrer Sozialstruktur, ihrem Alter und bei der Benutzung von Quellen häuslicher elektromagnetischer Felder unterscheiden, können die Daten zu Krankheiten und Beschwerden unter Berücksichtigung von Stör-

variablen (*Confounder*) Aufschluss über ein mögliches gesundheitliches Risiko liefern. Weiterhin ist es in diesem Zusammenhang notwendig, psychologische und psychometrische Methoden zur Ermittlung von Persönlichkeitsvariablen und der gesundheitlichen Lebensqualität einzusetzen, damit zusätzlich zum gesundheitlichen Status auch ein Zusammenhang zwischen den tatsächlichen Beschwerden und den psychosomatischen Komponenten hergestellt werden kann. In diesem Rahmen besteht die Möglichkeit, potenziell elektrosensible Personen zu identifizieren und zu charakterisieren. Dabei darf auch hier die psychosoziale Komponente nicht außer Acht gelassen werden. Ähnlich wie die Multiple Chemikalien-Sensitivität (MCS) ist die Elektrosensibilität (*self reported electromagnetic hypersensitivity*) immer von psychischen Komponenten begleitet (HERR et al., 2000).

Empfehlungen

651. Bislang fehlen bezüglich der Wirkung von elektromagnetischen Feldern auf die Gesundheit des Menschen abschließende Erkenntnisse. Die Ergebnisse bisheriger wissenschaftlicher Untersuchungen deuten nicht auf einen begründeten Verdacht für ein Gesundheitsrisiko hin. Dennoch hält der Umweltrat eine Fortführung laufender Projekte und Unterstützung weiterführender Studien in diesen Bereichen für notwendig, um die noch ungeklärten Fragen im Zusammenhang mit der häuslichen Stromversorgung und Feldern insbesondere des Mobilfunks abschließend zu klären. Eindeutige wissenschaftliche Ergebnisse, die der Bevölkerung durch eine breit angelegte Risikokommunikation vermittelt werden, können zu einer Versachlichung der Diskussion führen. Beunruhigten Personen und Bevölkerungsgruppen könnten auf diese Weise tatsächliche Risiken und Maßnahmen zum vorsorglichen Schutz – wie etwa bei beruflicher Exposition – erläutert und unbegründete Bedenken abgebaut werden.

652. Über die Errichtung neuer Anlagen, die relevante elektromagnetische Emissionen verursachen, sollten die Bürger im Vorfeld umfassend informiert werden. Weiterhin sollten Vertreter der Kommunen in die Planung der Standorte frühzeitig einbezogen werden. Dazu gibt es in Deutschland bereits eine freiwillige Vereinbarung der Mobilfunkbetreiber mit dem Deutschen Städtetag, dem Deutschen Landkreistag und dem Städte- und Gemeindebund, in der erklärt wird, dass neue Standorte für Mobilfunkanlagen "einvernehmlich mit den Kommunen realisiert werden sollen" und die "notwendige Infrastruktur konfliktfrei aufgebaut" werden soll (DStGB, 2001). Eine weitere Vereinbarung gibt es zwischen den Mobilfunkbetreibern und dem Bayerischen Umweltministerium (Bayerisches Umweltministerium, 2001). Solche Vereinbarungen sind für die Konfliktbewältigung von Nutzen (s. auch CDU/CSU Antrag "Mobilfunkforschung und Information vorantreiben", BT-Drs. 14/7286 vom 06.11.2001).

653. Von besonderem wissenschaftlichen Interesse sind Untersuchungen, die systematisch Beschwerdehäufigkeiten, Befindlichkeitsstörungen und Änderungen in der Lebensqualität unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder erfassen, da bislang keine umfassenden Studien mit diesem Zusammenhang existieren.

654. Die im Umkreis von Mobilfunk-Sendeanlagen durchgeführten und bislang veröffentlichten Studien geben keine Hinweise auf relevante gesundheitliche Risiken (Bundesamt für Strahlenschutz, 2001; SSK, 2001; WIEDEMANN et al., 2001). Diese Basisstationen emittieren zudem vergleichsweise niedrige Felder. Für die derzeit auf dem Markt befindlichen Mobilfunkgeräte ist gewährleistet, dass der Grenzwert von 20 mW/10 g eingehalten wird. Der Umweltrat sieht daher zur Zeit keine Notwendigkeit, etwa nach dem Vorbild der Salzburger Resolution die Grenzwerte zum vorsorglichen Schutz der Bevölkerung herabzusetzen. Er empfiehlt jedoch, zum Ausschluss etwaiger Restrisiken weitere Forschung zu unterstützen. Dem Bürger sollte außerdem durch geeignete Kennzeichnung die Möglichkeit gegeben werden, strahlungsarme Geräte zu erwerben.