

Risiken durch elektromagnetische Felder: Die Grenzwertfrage im NF- und HF-Bereich

Manuskript zum Vortrag
im Rahmen des 5. Rheinland-Pfälzisch-Hessischen Mobilfunksymposiums
Mainz, 22. April 2006

Autor

Dr. H.-Peter Neitzke
ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH

Adresse Nieschlagstr. 26
30449 Hannover
Tel. 0511-92456-46
Fax 0511-92456-48
Email peter.neitzke@ecolog-institut.de
Internet www.ecolog-institut.de

1 Einleitung

Der Aufbau der digitalen Mobilfunknetze seit Mitte der 1990er Jahre hat zu einer deutlichen Intensivierung der öffentlichen, aber auch der wissenschaftlichen Diskussion über mögliche Risiken technogener elektromagnetischer Felder geführt. Dass dem Thema 'Mobilfunk' so viel Aufmerksamkeit gewidmet wird, ist einerseits gerechtfertigt. Mit mehr als 70 Millionen Teilnehmern Mitte des Jahres 2005 und einer flächendeckenden Infrastruktur aus bisher rund 70.000 Mobilfunkbasisstationen hat der Mobilfunk in Deutschland zu einer deutlichen Zunahme der Expositionen im Hochfrequenzbereich geführt. Andererseits wird durch die Konzentration auf das Thema 'Mobilfunk' vielfach übersehen, dass sich die Immissionsituation sowohl auf der Infrastrukturseite als auch in den privaten Haushalten und an Arbeitsplätzen seit Beginn der 1990er Jahre auch sonst deutlich verändert hat. Das gilt sowohl in Bezug auf die Zahl der emittierenden Anlagen und Geräte als auch hinsichtlich der physikalischen Charakteristika der ausgesandten Strahlung. Als Beispiele für neue Technologien mit elektromagnetischen Emissionen sind neben dem Mobilfunk digitales Radio und Fernsehen, schnurlose Telefone, Funknetzwerke (WLAN), Bluetooth, der Behördenfunk TETRA, das Logistiksystem RFID, Abstandsradar und neue Verfahren zur Materialbearbeitung und -prüfung zu nennen. Übersehen werden darf auch nicht, dass die neuen Anlagen und Geräte eine elektrische Versorgung benötigen, was zu einem Anstieg des vor allem an Arbeitsplätzen aber auch in vielen Privatwohnungen oft bereits hohen Expositions-niveaus im Niederfrequenzbereich führt.

Angesichts der Zunahme der elektromagnetischen Expositionen und vor allem auch wegen der großen Zahl der exponierten Personen wird die Frage nach möglichen gesundheitlichen Risiken durch technogene elektromagnetische Felder immer dringlicher. Hinzu kommt, dass immer mehr Menschen bereits in ihrer Kindheit und im Jugendalter erhöhten elektromagnetischen Expositionen ausgesetzt sind, wodurch das Risiko für Erkrankungen mit langen Latenzzeiten (Krebs, neurodegenerative Erkrankungen) steigen könnte.

Mit eindeutigen wissenschaftlichen Aussagen zu den Risiken durch technogene elektromagnetische Felder ist jedoch in absehbarer Zeit nicht zu rechnen. Dies liegt zum einen an der Komplexität der wissenschaftlichen Thematik. Zum anderen verbinden sich sowohl mit den funkbasierten Informations- und Kommunikationstechniken als auch mit der Versorgung mit elektrischer Energie massive wirtschaftliche und wirtschaftspolitische Interessen, die starken Einfluss auf die Bewertung der wissenschaftlichen Befunde haben. Massive Defizite auf wissenschaftlicher Seite und wirtschaftliche Interessen, gepaart mit einer starken Nutzung möglicherweise problematischer Technologien in der Bevölkerung, erschweren umfassende rechtlich verbindlichen Regelungen zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor möglichen negativen Auswirkungen technogener elektromagnetischer Expositionen.

Im Folgenden werden zunächst die Grundlagen der wissenschaftlichen Bewertung der Risiken durch elektromagnetische Felder dargestellt. Es folgt ein Überblick über den wissenschaftlichen Erkenntnisstand zu den Gesundheitsrisiken durch nieder- und hochfrequente Felder. Die vorliegenden Erkenntnisse zur biologischen Wirksamkeit technogener Felder werden in Relation zu den derzeit geltenden Grenzwerten und typischen Immissionen in der Umwelt diskutiert. Die Ausführungen schließen mit Überlegungen und Empfehlungen zum vorsorgenden Gesundheits- und Umweltschutz im Zusammenhang mit technogenen elektromagnetischen Feldern.

2 Wissenschaftliche Bewertung der Risiken durch elektromagnetische Felder

Die Bewertung möglicher Gesundheits- oder Umweltrisiken, die von einer wissenschaftlichen oder technischen Entwicklung ausgehen, sollte sich nach Möglichkeit auf gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse stützen. Aufgrund der Rasananz der technischen Entwicklung liegen aber praktisch nie ausreichende und wissenschaftlich abgesicherte Informationen vor, die eine umfassende Risikobewertung erlauben. Anders als im Arzneimittelbereich, wo umfangreiche (wenn auch nicht immer ausreichende) Tests zur Überprüfung der gesundheitlichen Verträglichkeit neuer Medikamente vorgeschrieben sind, geht man in vielen anderen Bereichen, in denen eine neue Technologie eingeführt wird, bei der neue Stoffe, Organismen oder Strahlungsarten zum Einsatz kommen, von einer Unschädlichkeitsvermutung aus. Das heißt, neue Technologien werden angewandt, Stoffe, Organismen oder Strahlung mit bisher nicht bekannten Eigenschaften werden eingesetzt und eine Überprüfung erfolgt erst, wenn es Verdachtsmomente für schädliche Auswirkungen auf Gesundheit oder Umwelt gibt. Zugleich werden durch die Einführung und Anwendung der Technologie aber oft Fakten und wirtschaftliche Sachzwänge geschaffen, die hohe Anforderungen an die Beweiskraft von Argumenten zu ihrer möglicherweise gebotenen Einschränkung zur Folge haben. Die wissenschaftliche Überprüfung möglicher Risiken 'hinkt' der Anwendung jedoch oft um Jahre hinterher. Die politischen Entscheidungen über eine Reglementierung, z.B. im Hinblick auf die Festsetzung von Grenzwerten, aber auch wirtschaftliche Entscheidungen, z.B. im Hinblick auf die Absicherung im Schadensfall, müssen deshalb nicht selten vor dem Hintergrund nur teilweise gesicherter Erkenntnisse erfolgen.

Die Bewertung der Risiken, die möglicherweise von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern ausgehen, ist ein Beispiel für die oben beschriebene Problematik des Umgangs mit unvollständigem und unsicherem Wissen. Quellen dieser Felder sind einerseits Technologien, die bereits seit Jahrzehnten, z.B. im Zusammenhang mit der Energieversorgung oder der Informationsübertragung, breit angewandt werden, andererseits aber auch Technologien, wie der Mobilfunk, die erst in den letzten Jahren eine flächendeckende und sehr große Teile der Bevölkerung betreffende Anwendung gefunden haben. Elektromagnetische Emissionen sind bei allen Funkanwendungen notwendige Voraussetzung für den Betrieb und daher beabsichtigt, beim Betrieb von Stromversorgungs- und Verkehrsanlagen erfolgen sie dagegen ungewollt.

Den rasanten Entwicklungen dieser Technologien steht ein nur langsam gewachsener wissenschaftlicher Erkenntnisstand zu möglichen Auswirkungen der Felder auf Umwelt und Gesundheit gegenüber. Während gesundheitsschädliche Wirkungen starker Felder wissenschaftlich eindeutig belegt sind (s. 3.1.1, 3.2.1), fehlt ein im strengen wissenschaftlichen Sinne eindeutiger Nachweis (s.u.) für schwächere Felder, denen die Bevölkerung im Alltag ausgesetzt ist. Die vorliegenden Befunde (s. 3.1.2, 3.2.2) sind jedoch als deutliche Hinweise auf mögliche Gefahren und hinreichender Anlass für vorsorgende Maßnahmen zum Gesundheits- und Umweltschutz zu werten.

Wissenschaftlicher Risikonachweis und Klassifizierung wissenschaftlicher Evidenzen

Gesundheitliche Schäden durch eine Noxe gelten dann als nachgewiesen, wenn entsprechende übereinstimmende Ergebnisse aus unabhängig voneinander durchgeführten Untersuchungen vorliegen. Von der Strahlenschutzkommission (SSK) wird in ihrer Stellungnahme zu den Risiken nicht-ionisierender Strahlung vom Juni 2001 zudem gefordert, dass es ein konsistentes Wirkungsmodell gibt, das die Wirkung der Noxe von der biologischen, biochemischen oder biophysikalischen Primärwirkung bis zum funktionellen Schaden beschreibt, wobei die biologischen Effekte auf den einzelnen Wirkungsebenen ebenfalls experimentell bestätigt sein müssen. Diese zusätzliche Forderung ist wissenschaftlich gerechtfertigt, jedoch aus Sicht des Gesundheits- und Umweltschutzes hoch problematisch, da die Bewertung der Evidenz für einen gesundheitsschädlichen Effekt und da-

mit der Dringlichkeit von Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung möglicher Schäden davon abhängig gemacht wird, ob die Wissenschaft in der Lage ist, einen eindeutigen Wirkungsmechanismus zu benennen und zu überprüfen.

Gemessen an den Anforderungen der SSK müssen die toxischen Wirkungen vieler Umweltnoxen als unbewiesen gelten. Das gilt insbesondere für viele Noxen, die nicht akut toxisch sind, die aber im Verdacht stehen, bei chronischen Expositionen zu gesundheitlichen Spätschäden zu führen, wie beispielsweise viele Stoffe, die als wahrscheinlich krebserregend oder krebserregend eingestuft wurden oder die möglicherweise endokrin wirksam sind. Die zum Schutz der Umwelt und der Gesundheit vor den möglichen Wirkungen dieser Noxen getroffenen gesetzlichen Regelungen stützen sich auf mehr oder weniger gesicherte wissenschaftliche Hinweise.

In Fällen, in denen es wissenschaftliche Hinweise auf ein potenzielles Risiko gibt, das Risiko jedoch noch nicht voll nachweisbar ist, wenn nicht messbar ist, in welchem Umfang ein Risiko besteht, oder wenn wegen unzureichender oder nicht eindeutiger wissenschaftlicher Daten nicht feststellbar ist, wie sich das Risiko auswirken kann, sollte nach einer Mitteilung der EU-Kommission vom Februar 2000 das Vorsorgeprinzip angewandt werden. Das heißt, es sind ordnungsrechtliche, technische und gegebenenfalls planerische Maßnahmen anzuwenden, um das potenzielle Risiko zu vermindern.

Unter dem Gesichtspunkt der Vorsorge ist eine simple dichotome Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes anhand der Kategorien 'bewiesen' / 'nicht bewiesen' also nicht ausreichend. Bisher konnte sich eine differenziertere Klassifizierung aber noch nicht durchsetzen. Erste Ansätze hierzu gibt es jedoch (s. Tabelle 2.1).

Im Bereich der elektromagnetischen Felder können lediglich die akuten Wirkungen, die im Niederfrequenzbereich auf der Reizwirkung der induzierten elektrischen Ströme und im Hochfrequenzbereich auf der Erzeugung von Wärme beruhen, als im wissenschaftlich strengen Sinne nachgewiesen gelten. Für andere Wirkungen liegen bisher lediglich wissenschaftliche Hinweise vor (s. 3.1.2, 3.2.2), die bei einzelnen, auch gesundheitsrelevanten, Effekten aber so stark sind, dass sie Anlass für vorsorgende Maßnahmen zum Gesundheitsschutz sein müssen.

Tabelle 2.1

Vorschläge für eine differenzierte Klassifizierung wissenschaftlicher Evidenzen für biologische Effekte und gesundheitliche Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder

ECOLOG 2000	SSK 2001	Rösli et al. 2003
Nachweis Es liegen übereinstimmende Ergebnisse identischer Untersuchungen vor	Wissenschaftlicher Nachweis Reproduzierbare Ergebnisse wissenschaftlicher Studien voneinander unabhängiger Forschungsgruppen zeigen einen Zusammenhang und das wissenschaftliche Gesamtbild stützt das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs	Nachgewiesener Effekt Das Kriterium der ICNIRP ist erfüllt (die Untersuchungen wurden mit gleichem Ergebnis repliziert)
Konsistente Hinweise Es liegen (starke) Hinweise aus unterschiedlichen Untersuchungsansätzen mit gleichem Endpunkt vor	Wissenschaftlich begründeter Verdacht Die Ergebnisse bestätigter wissenschaftlicher Untersuchungen zeigen einen Zusammenhang und die Gesamtheit der wissenschaftlichen Untersuchungen stützt das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs nicht ausreichend	
Starke Hinweise Es liegen übereinstimmende Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen vor		Wahrscheinlicher Effekt Es gibt mehrfache Hinweise für den Effekt
Hinweise Es liegen ähnliche Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen vor	Wissenschaftliche Hinweise Einzelne Untersuchungen weisen auf einen Zusammenhang hin, sie sind jedoch nicht durch unabhängige Untersuchungen bestätigt und werden durch das wissenschaftliche Gesamtbild nicht gestützt	
Schwache Hinweise Es liegen einzelne Untersuchungsergebnisse vor		Möglicher Effekt Es bestehen nur vereinzelte Hinweise für den Effekt

ECOLOG 2000: Diskussionspapier des ECOLOG-Instituts für die Strahlenschutzkommission und das Bundesamt für Strahlenschutz

SSK 2001: Strahlenschutzkommission

Rösli et al. 2003: im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz

3 Biologische Effekte und gesundheitliche Auswirkungen durch elektromagnetische Felder

3.1 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

3.1.1 Akute Wirkungen starker Felder

Im Niederfrequenzbereich und im unteren Hochfrequenzbereich können hohe Feldstärken zur Induktion starker Körperströme führen. Oberhalb bestimmter Werte für die Körperstromdichte kann es dadurch zu Schädigungen des Organismus kommen, wie sie von Unfällen durch Berühren Spannung führender Gegenstände her bekannt sind. Besonders gefährdet sind das Gehirn und das Herz. Die eigentliche Ursache der Beeinflussungen des Gehirns und des Herzens sind elektrische Spannungen, die durch die induzierten Ströme an der Membran von Körperzellen erzeugt werden, dort die körpereigenen elektrischen Spannungen 'übersteuern' und zu Reizungen der Zellen führen. Starke niederfrequente Felder können auch optische Täuschungen (Elektrophosphene und Magnetophosphene) auslösen. Die Reizwirkungen der induzierten elektrischen Ströme auf den Organismus sind gut untersucht und die Auslöseschwellen für akute Gesundheitsschäden sind hinreichend bekannt.

Die in den meisten Ländern gültigen Grenzwerte sollen die Auslösung akuter gesundheitlicher Wirkungen der beschriebenen Art als Folge starker induzierter elektrischer Ströme ausschließen. Allerdings wurden bei der Berechnung der zulässigen Stärken von elektrischen und magnetischen Feldern nur mittlere Stromdichten berücksichtigt, also Stromdichten, die über die jeweiligen Organe gemittelt wurden. Unterschiedliche elektrische Eigenschaften der verschiedenen Gewebearten wurden dabei nur grob berücksichtigt. Neuere Berechnungen, in die auch die kleinräumigen Variationen der elektrischen Eigenschaften biologischer Gewebe eingingen, haben gezeigt, dass die lokalen Stromdichten, die an Zellen wirksam werden, zum Teil erheblich über den mittleren Stromdichten liegen. Es kann also schon zu Reizungen von Zellen bei mittleren Stromdichten kommen, die bisher für unproblematisch gehalten wurden.

3.1.2 Mögliche gesundheitliche Auswirkungen schwächerer Felder

Abbildung 3.1 gibt einen Überblick über die wissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse zu gesundheitlichen Auswirkungen und biologischen Effekten durch niederfrequente Magnetfelder. Diese Zusammenstellung basiert auf einer Auswertung der bis Mitte 2005 vorliegenden Forschungsergebnisse durch das ECOLOG-Institut. Im Literaturanhang sind Arbeiten des ECOLOG-Instituts aufgeführt, in denen die ausgewerteten Originalarbeiten angegeben sind. Die Farbe der Balken in Abbildung 3.1 gibt die Stärke der wissenschaftlichen Evidenz für die jeweilige Wirkung an. Der rechte Rand der Balken zeigt die niedrigste Flussdichte an, bei der der Effekt im Experiment beobachtet oder bei der in epidemiologischen Untersuchungen statistisch signifikant erhöhte Risikofaktoren festgestellt wurde. Die Bereiche, in denen die als wissenschaftlich nachgewiesen geltenden Wirkungen starker Felder (Reizungen des Gehirns, Herzkammerflimmern, Magnetophosphene) auftreten, sind zur Orientierung im oberen Teil der Abbildung aufgeführt. Weiterhin sind der derzeit gültige, in der 26. Verordnung zum Bundes-Immissionschutzgesetz (26. BImSchV) festgelegte Grenzwert zum Schutz der Bevölkerung vor 50 Hz-Magnetfeldern (100 μ T) und der Bereich der Immissionswerte in der Umgebung einer 400 kV-Hochspannungsfreileitung angegeben.

Epidemiologische, das heißt statistische Untersuchungen an Bevölkerungsgruppen, die erhöhten magnetischen Feldern ausgesetzt waren, deuten auf höhere Risiken für bestimmte Erkrankungen und Befindlichkeitsstörungen in den belasteten Bevölkerungsgruppen bereits bei Flussdichten von weniger als 1 μ T.

Es gibt aufgrund der Ergebnisse epidemiologischer Studien einen starken Verdacht, dass niederfrequente Magnetfelder zu einem erhöhten Leukämierisiko bei Kindern führen. Alle

neueren Studien weisen in die selbe Richtung. Für Magnetfeldexpositionen über 0,2 μT wurden statistisch signifikant erhöhte relative Risiken nachgewiesen.

In mehreren Studien an Kindern wurden außerdem erhöhte Risikofaktoren für Tumoren des Nervensystems im Zusammenhang mit erhöhten magnetischen Expositionen nachgewiesen, die jedoch nur in einzelnen Untersuchungen statistisch signifikant waren. Einige Studien deuten auch auf ein erhöhtes Risiko für kindliche Lymphome hin. Auch hier waren die Ergebnisse nur in einzelnen Untersuchungen statistisch signifikant.

Bei Erwachsenen gibt es deutliche Hinweise auf ein erhöhtes Erkrankungsrisiko an Leukämie im Zusammenhang mit einer erhöhten Belastung durch niederfrequente Magnetfelder. Für Expositionen über 0,2 μT bzw. kumulative Expositionen von mehr als 0,2 μT -Jahr über 10 Jahre wurden statistisch signifikant erhöhte relative Risiken für bestimmte Leukämieformen festgestellt. Im Zusammenhang mit erhöhten, beruflich bedingten Expositionen ergaben einige Studien ein erhöhtes Risiko einer Erkrankung an Tumoren des Nervensystems. Ferner wurden in mehreren Studien erhöhte Risikofaktoren für Brustkrebs sowohl bei Frauen als auch bei Männern nachgewiesen, die jedoch nur in einzelnen Untersuchungen statistisch signifikant waren. Zum Lungenkrebsrisiko liegen nur sehr wenige Untersuchungen vor, bei denen jedoch ebenfalls erhöhte Risikofaktoren nachgewiesen wurden. Die Erhöhungen waren allerdings nur in einzelnen Untersuchungen statistisch signifikant.

Die epidemiologischen Untersuchungen werden durch Tierexperimente ergänzt, die z.T. deutliche Hinweise auf eine krebsfördernde Wirkung niederfrequenter Magnetfelder ergaben.

Es gibt Hinweise auf eine Zunahme des Risikos für Fehlgeburten bei Magnetfeldexpositionen von mehr als 0,2 μT während der Schwangerschaft. Jedoch ergaben nur einzelne epidemiologische Untersuchungen statistisch signifikante Erhöhungen der Risiken.

Es gibt sehr starke Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für neurodegenerative Erkrankungen infolge Expositionen durch niederfrequente Magnetfelder. Für Expositionen über 0,2 μT wurden in epidemiologischen Untersuchungen statistisch signifikant erhöhte relative Risiken vor allem für eine Erkrankung an Amyotrophischer Lateralsklerose, weniger deutlich auch für die Alzheimer-Krankheit und andere Formen dementer Erkrankungen, nachgewiesen. In einigen epidemiologischen Studien wurden zudem erhöhte Risiken sowohl für psychische Erkrankungen als auch für Selbstmorde in exponierten Bevölkerungsgruppen festgestellt. Diese Ergebnisse sind wegen der geringen Expositionen (ca. 0,1 μT) sowie der zum Teil sehr hohen Risikofaktoren ernst zu nehmen, wenn auch weitere Untersuchungen zur Absicherung der Ergebnisse notwendig sind.

Experimentelle Untersuchungen am Menschen und am Tier ergaben konsistente Hinweise auf eine Beeinflussung bestimmter kognitiver Funktionen und des Verhaltens sowie Hinweise auf Störungen des neuroendokrinen Systems und Auswirkungen auf Gehirnpotenziale (EEG).

Einigen Untersuchungen zufolge, können niederfrequente Magnetfelder sehr geringer Stärke bei empfindlichen Personen zu Befindlichkeitsstörungen führen. Diese erhöhte Elektrosensibilität geht oft einher mit einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber anderen Umwelteinflüssen.

In einigen Experimenten am Menschen und am Tier wurden Einflüsse auf das Immunsystem, insbesondere eine Beeinträchtigung der Aktivität von T-Lymphozyten beobachtet.

Unklar sind die Ergebnisse zum Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Einzelne epidemiologische Untersuchungen hatten in Verbindung mit klinischen Daten ein erhöhtes Risiko für Akuten Myokardinfarkt und Arrhythmie-Erkrankungen als Folge erhöhter Expositionen durch niederfrequente Magnetfelder ergeben. Neuere Untersuchungen konnten

diese Befunde nicht immer bestätigen.

Es liegen konsistente Hinweise aus Untersuchungen am Menschen, an Tieren und Zellen vor, dass Magnetfelder von weniger als 10 μT zu Störungen des Melatonin-Haushalts führen. Diese Befunde sind u.a. deshalb von Bedeutung, weil sie a) zeigen, dass diese Felder möglicherweise in der Lage sind, die zirkadianen physiologischen Rhythmen zu stören und b) weil eine verminderte Ausschüttung des Hormons Melatonin beim Menschen die Entstehung u.a. von Brustkrebs begünstigen kann.

Es liegen zahlreiche wissenschaftliche Hinweise darauf vor, dass niederfrequente Magnetfelder zu Veränderungen am Erbmateriale (Chromosomen-Abberationen, DNS-Strangbrüche), zur vermehrten Produktion von Zell-Stress-Proteinen und zu Beeinträchtigungen bestimmter Zellfunktionen (Gen-Transkription, Zell-Vermehrung (Proliferation), -Differenzierung und -Kommunikation) führen können. Es gibt zudem konsistente Hinweise auf erhöhte Aktivitäten des Enzyms Ornithindecaboxylase (ODC). Alle diese Effekte haben Bedeutung für die Kanzerogenese. Allerdings kann aus der Beobachtung eines Schadens auf der zellulären Ebene nicht direkt auf eine Erhöhung des Krebsrisikos geschlossen werden, da bei solchen Störungen immer körpereigene Reparaturmechanismen wirksam werden. Sehr starke oder chronische Störungen könnten aber zu einer Überforderung dieser Schutzfunktionen führen.

Fazit

Bisher konnte noch kein vollständiges Modell für die Wirkung schwacher, umweltrelevanter Magnetfelder im Niederfrequenzbereich auf den Organismus von der zellulären Ebene bis zu einer bestimmten Erkrankung formuliert werden. Die Befunde aus einer großen Zahl experimenteller Untersuchungen stützen jedoch die Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen, nach denen niederfrequente Magnetfelder wahrscheinlich keine auslösende aber eine fördernde Wirkung bei der Entwicklung von Krebserkrankungen haben. Da aufgrund zum einen genetischer Dispositionen und zum anderen einer Vielzahl entsprechend wirksamer Umweltfaktoren im menschlichen Organismus permanent entartete Zellen vorhanden sind, ist aber auch eine die Krebsentwicklung 'nur' fördernde Wirkung bedenklich, zumal wenn sie auf eine ubiquitäre Noxe zurückzuführen ist, wie sie niederfrequente Magnetfelder in unserer technisierten Umwelt heute darstellen.

Neben dem Krebsrisiko verdienen vor allem die Hinweise auf einen möglichen Einfluss niederfrequenter Magnetfelder auf die Entstehung von neurodegenerativen und psychischen Erkrankungen Beachtung und verstärkte wissenschaftliche Aufmerksamkeit.

Die Allgemeinbevölkerung ist in ihrem Wohnumfeld nicht selten Magnetfeldern ausgesetzt, bei denen aufgrund der vorliegenden wissenschaftlichen Befunde von einem erhöhten Gesundheitsrisiko auszugehen ist. An vielen Industriearbeitsplätzen werden die kritischen Werte deutlich überschritten. Die Vielzahl der wissenschaftlichen Hinweise auf Wirkungen weit unterhalb der derzeit gültigen Grenzwerte lassen daher eine deutliche Absenkung der Grenzwerte und weitere Anstrengungen zur Verminderung der Expositionen der Bevölkerung geraten erscheinen (s. 4).

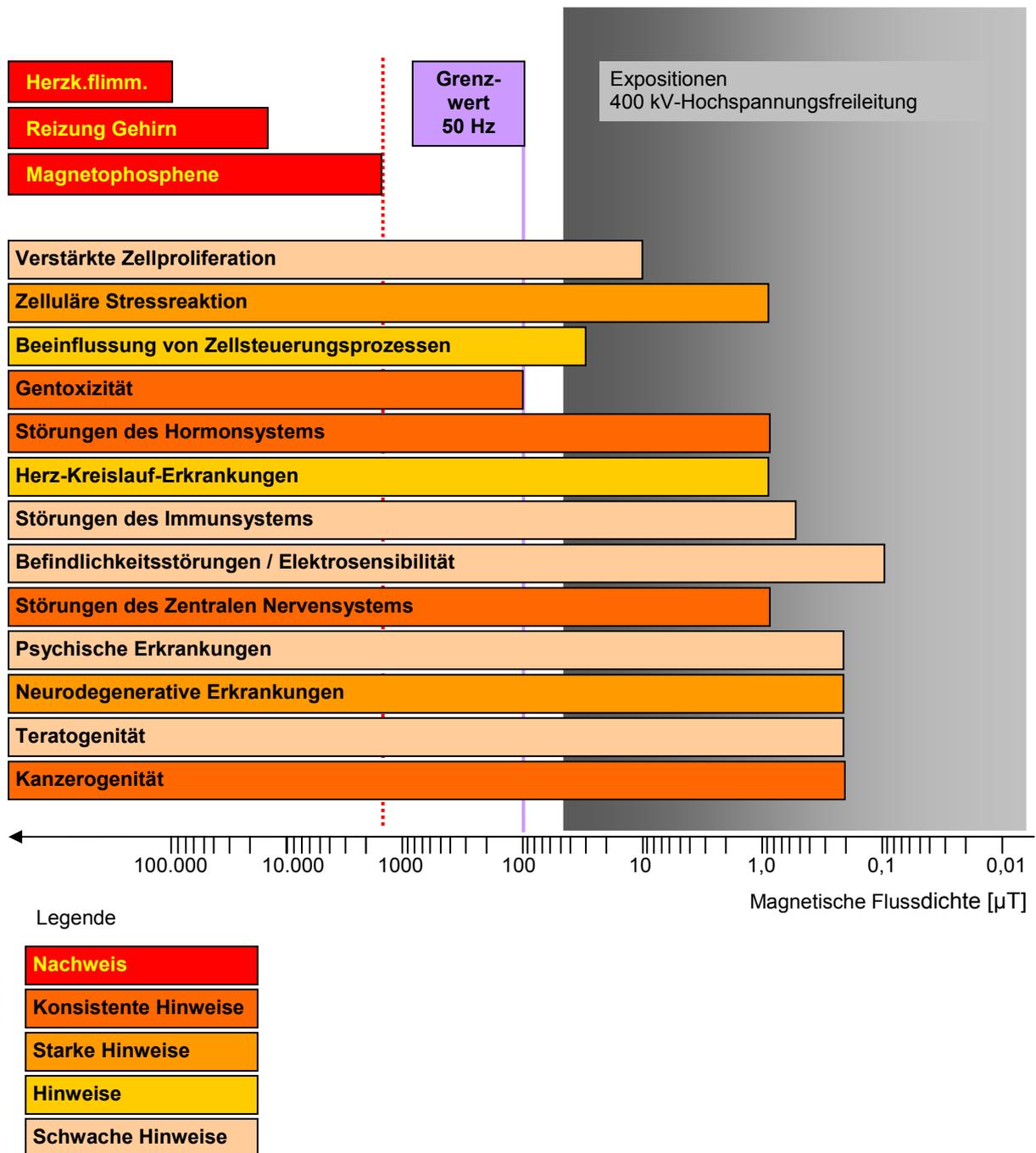


Abbildung 3.1
 Wissenschaftliche Evidenzen für gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte durch niederfrequente Magnetfelder sowie Wertebereiche der Magnetischen Flussdichte, in denen diese Wirkungen festgestellt wurden

3.2 Hochfrequente elektromagnetische Felder

3.2.1 Akute Wirkungen starker Felder

Die Bestrahlung von biologischem Gewebe mit hochfrequenten Feldern (Radio- bis Infrarotbereich) führt u.a. zur Erwärmung. Die Stärke der Erwärmung hängt einerseits von der Intensität der Strahlung, andererseits von der Art des Gewebes, seiner Lage im Körper und der Durchblutung ab. Besonders empfindlich sind Organe mit einem hohen Wassergehalt und einer schlechten Durchblutung, denn an der Umwandlung der Strahlung in Wärmeenergie sind vor allem Wassermoleküle beteiligt und eine schlechte Durchblutung steht einer schnellen Abführung der erzeugten Wärme entgegen. Es kann daher in intensiven Hochfrequenzfeldern zu einer Überhitzung und Schädigung solcher Organe kommen. Besonders empfindlich ist das Auge. Die Einwirkung hochfrequenter Felder hoher Intensität kann zu einer Trübung der stark wasserhaltigen und schlecht durchbluteten Augenlinse führen (Grauer Star). In anderen Organen ist die Entstehung von 'Hitzeinseln' (hot spots) möglich, die lokale Schädigungen des Gewebes verursachen können. Solche lokalen Überhitzungen können zum Beispiel im Kopfbereich bei der Benutzung leistungsstarker Sprechfunkgeräte auftreten.

Gepulste Hochfrequenzstrahlung hoher Intensität, wie sie zum Beispiel von Radaranlagen abgegeben wird, kann im Kopfbereich zu lokalen Aufheizungen und thermoelastischen Wellen führen, die unter Umständen als 'Ticken' wahrgenommen werden können (so genanntes Mikrowellen- oder Radar-'Hören').

Die thermischen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder und die aus ihnen resultierenden akuten gesundheitlichen Schädigungen sind wissenschaftlich sehr gut untersucht und eindeutig belegt. Lange Zeit wurde und vielfach wird noch heute (auch von wissenschaftlicher Seite) unterstellt, dass sich die Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf biologische Systeme allein auf thermische Effekte beschränken und dass Felder, deren Intensität zu niedrig ist, um im menschlichen Körper messbare Temperaturerhöhungen von mehr als 0,1°C zu bewirken, ungefährlich sind. Es wird sogar behauptet, dass hochfrequente Felder mit Intensitäten unterhalb der Schwellen für thermische Effekte biologisch nicht wirksam sein können. Diese Auffassung muss in Anbetracht der vorliegenden wissenschaftlichen Befunde als überholt angesehen werden (s. 3.2.2).

Die Grenzwerte zum Schutz der Allgemeinbevölkerung vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern sind sowohl in Deutschland als auch in den meisten westeuropäischen Ländern und Nordamerika so ausgelegt, dass akute Schäden durch Überhitzung des gesamten Körpers ausgeschlossen sind. Lokal stärkere Erwärmungen sind jedoch möglich. Auch im Hochfrequenzbereich ist zu beachten, dass die Grenzwerte nur auf numerischen Simulationen mit sehr begrenzter räumlicher Auflösung beruhen, die die Gewebeeigenschaften nur grob abbilden, bzw. dass die Ergebnisse von Messungen an so genannten 'Phantomen', das heißt Nachbildungen des menschlichen Körpers durch synthetische Materialien, zugrunde gelegt wurden.

3.2.2 Mögliche gesundheitliche Auswirkungen schwächerer Felder

Die Frage nach gesundheitlichen Auswirkungen hochfrequenter Felder subthermischer Intensität wird zurzeit vor allem im Zusammenhang mit der stark zunehmenden Verbreitung des Mobilfunks gestellt. Beim Mobilfunk sind zwei Expositionssituationen zu unterscheiden: einerseits die relativ hohen Expositionen der Mobilfunkteilnehmer durch das Handy im Kopfbereich und andererseits die Belastungen der Allgemeinbevölkerung durch die Mobilfunkbasisstationen. Benutzer von Handys sind zwar beim Telefonieren selbst einer wesentlich höheren elektromagnetischen Leistungsdichte ausgesetzt als Personen, die sich außerhalb des durch die gesetzlichen Grenzwerte vorgegebenen Sicherheitsabstandes von Mobilfunkbasisstationen aufhalten, jedoch sind von den Abstrahlungen der Basisstationen wesentlich größere Flächen und damit zumindest in Ballungsgebieten we-

sentlich mehr Menschen betroffen. Hinzu kommt, dass die Basisstationen zu Dauerexpositionen führen, da sie jeden Tag 24 Stunden lang Strahlung emittieren.

Der Aufbau der Mobilfunknetze hat in vielen Ländern zu öffentlichen Kontroversen über diese Technik bzw. darüber geführt, welche Maßnahmen notwendig sind, um die Bevölkerung vor negativen Auswirkungen der Mobilfunkstrahlung zu schützen. Von zahlreichen Regierungen wurden wissenschaftliche Kommissionen eingesetzt oder es bildeten sich wissenschaftliche Gremien unabhängig von einem Regierungsauftrag, um den wissenschaftlichen Erkenntnisstand im Hinblick auf mögliche Risiken durch die Strahlung von Mobiltelefonen und Mobilfunkbasisstationen zu bewerten.

Alle wissenschaftlichen Gremien sind sich einig, dass Risiken durch thermische Effekte wissenschaftlich eindeutig belegt sind. Die hierfür notwendigen relativ hohen Intensitäten werden in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen außerhalb des Sicherheitsbereichs nicht erreicht. Die Expositionen bei der Benutzung von Mobiltelefonen hängen von vielen Faktoren ab. Hier sind thermische Effekte, das heißt messbare Erwärmungen des bestrahlten Gewebes (Gehirn, Ohr und seine Nervenstränge, Haut) möglich.

Hinsichtlich der Bewertung der Risiken durch Hochfrequenzstrahlung mit geringeren Intensitäten, die zu keinem messbaren thermischen Effekt führen, variieren die Einschätzungen der verschiedenen Kommissionen bei einigen biologischen Effekten erheblich, wie die Übersicht in Tabelle 3.1 zeigt. Einigkeit besteht zwar insofern, dass keine Kommission die vorliegenden wissenschaftlichen Befunde als einen Beweis für nicht-thermische biologische Effekte wertet. Aber die Stärke der wissenschaftlichen Hinweise, dass auch Felder mit subthermischen Intensitäten gesundheitsschädliche Wirkungen haben können, wird oft unterschiedlich bewertet. Auffallend an der Übersicht in Tabelle 3.1 ist,

a) dass die Bewertungsbasis bei einigen wissenschaftlichen Kommissionen sehr 'dünn' ist, weil nur wenige Effekte berücksichtigt wurden, wie die vielen Felder mit dem Eintrag 'o' zeigen, und

b) dass es viele Zellen mit einem '±'-Eintrag gibt, der darauf hinweist, dass die jeweilige Kommission zu keiner klaren Aussage hinsichtlich der Aussagekraft der vorliegenden Untersuchungsergebnisse und möglicher Risiken durch den jeweiligen Effekt gekommen ist.

Tabelle 3.1

Bewertung der wissenschaftlichen Evidenzen für biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder durch internationale wissenschaftliche Kommissionen

Institution	IEG MP	HCN	AG NIR	CS TEE	DGS	RSC	SSK	US GAO	ART	HCN	SSI	AF SSE	AG NIR	BU WAL	SSI	HCN	IC NIRP	IEE	NRPB	NRPB	SSI	
Jahr	2000	2000	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002	2002	2002	2003	2003	2003	2003	2004	2004	2004	2004	2004	2004	
Land	GB	NL	GB	EU	F	CAN	D	USA	F	NL	S	F	GB	CH	S	NL	INT	GB	GB	GB	S	
Therm. Wirk.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Krebs, Epidemiol.	-	-	o	-	±	±	-	±	±	-	±	±	±	+	±	±	±	±	±	+	±	
Krebs, Experiment	±	o	o	±	±	±	+	±	±	o	o	±	±	o	±	±	o	±	o	o	-	
Befindlichkeitsstör.	o	o	o	±	±	o	±	o	o	o	o	±	±	++	o	-	±	±	±	+	±	
Neurodegen. Erkrank.	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Zentrales Nervensys.	++	+	o	+	++	+	++	+	+	++	o	++	+	++	o	o	o	±	+	+	±	
Herz-Kreislauf-Erkrank.	-	o	o	±	±	o	+	o	o	o	o	±	±	±	o	o	o	-	o	o	o	
Blut-Hirn-Schranke	-	o	o	±	±	±	+	o	o	o	o	+	+	o	+	±	o	±	±	o	o	
Fortpflanzung	-	o	o	o	±	o	o	o	-	o	o	-	±	±	o	o	±	o	-	o	o	
Immunsystem	-	o	o	±	-	o	+	o	-	o	o	±	o	±	o	o	o	o	o	o	o	
Hormonsystem	o	o	o	-	+	±	-	o	o	o	o	o	o	±	o	o	o	o	o	o	o	
Gen-Toxizität	±	-	o	-	±	±	±	±	o	o	o	±	±	±	±	o	o	±	o	o	o	
Zell. Steuerung	±	±	±	±	+	+	+	o	o	o	o	±	±	o	o	o	o	o	o	o	o	
Stressproteine	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	±	+	o	+	o	o	o	o	o	o	
	■	Wirkung nachgewiesen																				
	++	Wirkung wahrscheinlich / sehr starke Hinweise auf eine Wirkung																				
	+	Wirkung möglich / Hinweise auf eine Wirkung																				
	±	Wirkung nicht zu beurteilen / wissenschaftliche Befunde widersprüchlich/nicht überzeugend																				
	-	Wirkung unwahrscheinlich / keine Hinweise auf eine Wirkung																				
	o	Wirkung bei der Bewertung nicht berücksichtigt																				

Abbildung 3.2 gibt einen Überblick über die wissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse zu gesundheitlichen Auswirkungen und biologischen Effekten durch hochfrequente elektromagnetische Felder auf der Basis einer Auswertung der bis Mitte 2005 vorliegenden wissenschaftlichen Arbeiten durch das ECOLOG-Institut. Die Hinweise auf die ausgewerteten Untersuchungen finden sich in den im Literaturanhang aufgeführten Arbeiten. Bei der Klassifizierung der Evidenzen wurde die gleiche Systematik wie bei den niederfrequenten Feldern angewandt (s.a. Tabelle 2.1). Aus der Abbildung wird deutlich, dass gesundheitsrelevante biologische Wirkungen auch bei Leistungsdichten beobachtet wurden, bei denen keine oder nur schwache thermische Wirkungen zu erwarten sind. In der Abbildung sind auch die typischen Wertebereiche der Expositionen durch Mobilfunkbasisstationen und moderne Mobiltelefone gekennzeichnet.

Da bisher nur wenige epidemiologische Studien zum Zusammenhang zwischen Mobilfunkexpositionen und Krebserkrankungen durchgeführt wurden, ist eine definitive Aussage zu möglichen Krebsrisiken im Zusammenhang mit Expositionen durch Mobilfunkbasisstationen nicht möglich. Die bisher ausgewerteten Ergebnisse der von der Internationalen Agentur für Krebsforschung koordinierten internationalen epidemiologischen Interphone-Studie zum Gehirntumorrisiko bei der Nutzung von Mobiltelefonen und die Ergebnisse einiger anderer Forschungsgruppen deuten auf ein erhöhtes Hirntumor-Risiko bei Personen, die mehr als zehn Jahre ein Mobiltelefon benutzt haben. Die aktuellen Befunde zum Auftreten von Gehirntumoren bestätigen die Ergebnisse von Untersuchungen, die bereits früher in Schweden durchgeführt wurden und einen Zusammenhang zwischen der Seite des Kopfes, an der das Mobiltelefon benutzt wird, und der Seite, auf der ein Gehirntumor diagnostiziert wurde, ergaben. Gesamtbewertungen wissenschaftlicher Gremien, die die neueren Ergebnisse berücksichtigen, liegen bisher nicht vor und fehlen daher auch in Tabelle 3.1. Personen mit Expositionszeiten von mehr als zehn Jahren gibt es in nennenswerter Zahl nur in den nordskandinavischen Ländern, wo der Mobilfunk schon vergleichsweise früh von einem größeren Teil der Bevölkerung genutzt wurde. Bei epidemiologischen Untersuchungen, die heute durchgeführt werden, ist davon auszugehen, dass sie ein mögliches Krebsrisiko nicht in seiner ganzen Höhe erfassen. Da die modernen digitalen 'Jedermann'-Mobilfunksysteme erst seit weniger als zehn Jahren in Gebrauch sind, die mittleren Latenzzeiten bei Krebserkrankungen jedoch deutlich länger sind, dürften sich in den Untersuchungen tendenziell eher zu niedrige Risikofaktoren ergeben.

Aus den aufgeführten Gründen wird es auch noch einige Jahre dauern, bis aussagekräftigere Ergebnisse vorliegen. Zur Risikoabschätzung kann man jedoch zusätzlich auch Studien heranziehen, bei denen die Häufigkeit von Erkrankungen in Bevölkerungsgruppen untersucht wurde, die hochfrequenter Strahlung aus anderen Quellen ausgesetzt waren. Besondere Bedeutung im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf den Mobilfunk kommt dabei Quellen zu, die niederfrequent modulierte, insbesondere gepulste Strahlung abgeben, wie sie auch beim digitalen Mobilfunk verwendet wird. Dies gilt vor allem für Radaranlagen und -geräte. Zum Krebsrisiko durch berufliche Radarexposition liegen einige Studien vor, die ebenfalls auf ein erhöhtes Tumorrisiko stärker exponierter Personen hindeuten. Allerdings ist die Aussagekraft dieser Studien schwer zu beurteilen, da die Expositionen oft nur grob geschätzt werden konnten und die Betroffenen an ihren Arbeitsplätzen vielfach auch anderen kanzerogenen Noxen ausgesetzt waren. Aus ähnlichen Gründen sind auch die Ergebnisse von Untersuchungen zum Krebsrisiko der Anwohner von Rundfunk- und Fernsehsendern schwierig zu interpretieren. Solche Untersuchungen wurden u.a. in Australien, Großbritannien, Italien und den USA durchgeführt. In einzelnen Untersuchungen ergab sich eine deutlich Zunahme des Krebsrisikos mit abnehmendem Abstand des Wohnorts von den Sendeanlagen, während in anderen Untersuchungen keine Korrelation von Expositionshöhe (abgeschätzt aus dem Abstand) und Tumorrisiko festgestellt werden konnte. Der Schwachpunkt dieser Studien sind wiederum Defizite bei der Ermittlung der tatsächlichen Expositionen.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse von wissenschaftlichen Studien zum Krebsrisiko im Zusammenhang mit Hochfrequenz-Expositionen lassen sich wie folgt zusammenfassen: Aus epidemiologischen Untersuchungen an verschiedenen Hochfrequenz-Sendeanlagen

liegen Hinweise auf erhöhte Raten sowohl für alle Krebserkrankungen zusammen genommen als auch für einzelne Krebsarten (Leukämie, Gehirntumoren) bei Anwohnern bzw. Beschäftigten der Anlagen vor. Auch auf die Entwicklung anderer Tumoren haben hochfrequente elektromagnetische Felder möglicherweise einen fördernden Einfluss, zumindest gibt es hierzu Hinweise aus epidemiologischen Untersuchungen. Diese sind wegen der geringen Zahl solcher Untersuchungen bisher aber überwiegend als 'schwach' einzustufen. Jedoch gibt es auch erste Hinweise aus Tierexperimenten, die auf eine kanzerogene Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder deuten. Die sehr unterschiedlichen Expositionsmerkmale und methodischen Ansätze in den epidemiologischen Untersuchungen erlauben es nicht, die Ergebnisse in einer Meta-Analyse zusammenzufassen. Zugleich ist die Tatsache, dass in der Mehrzahl der aufgeführten Untersuchungen trotz unterschiedlicher Studiendesigns Hinweise auf erhöhte Risiken für einige Krebsformen gefunden wurden, aber als ein ernst zu nehmender Hinweis auf eine kanzerogene Wirkung hochfrequenter Felder mit Intensitäten im subthermischen Bereich zu werten. Deutlicher als für Sendeanlagen sind die wissenschaftlichen Hinweise, dass die häufige Nutzung von Mobiltelefonen über viele Jahre bei bestimmten Tumorformen des Kopfes zu einem erhöhten Risiko führt.

In den meisten wissenschaftlichen Studien zu unmittelbar gesundheitsschädigenden Wirkungen von Hochfrequenz-Strahlung wurden Krebserkrankungen untersucht. Es liegen aber auch zahlreiche Untersuchungen zu anderen gesundheitlichen Endpunkten und zu biologischen Effekten vor, die bei der Entwicklung von Gesundheitsstörungen eine Rolle spielen könnten:

Es ist lange bekannt, dass Hochfrequenz-Strahlung mit thermisch wirksamen Intensitäten zu Störungen der Embryonalentwicklung und zu männlicher Infertilität führen kann. Die Ergebnisse von epidemiologischen Untersuchungen an beruflich exponierten Frauen und Männern sowie von experimentellen Untersuchungen an Tieren ergaben Hinweise, dass auch hochfrequente Felder mit subthermischen Intensitäten möglicherweise eine teratogene Wirkung haben und sich negativ auf die Fertilität auswirken könnten.

In Untersuchungen an freiwilligen Probanden wurde eine erhöhte Ausschüttung bestimmter Stresshormone unter der Einwirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder festgestellt. Ähnliche Ergebnisse liegen auch aus Experimenten an Versuchstieren vor. Aus letzteren Untersuchungen ergaben sich auch Hinweise auf Beeinträchtigungen des Immunsystems.

Die Ergebnisse der Laborexperimente an Menschen und Tieren zu den Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf das Zentrale Nervensystem werden von der Mehrzahl der wissenschaftlichen Kommissionen als vergleichsweise aussagekräftig bewertet (s. Tabelle 3.2). In Experimenten am Menschen und an verschiedenen Tieren wurden Auswirkungen niederfrequent modulierter Hochfrequenzfelder auf das Nervensystem nachgewiesen. Diese reichen von Einflüssen auf die Wirksamkeit bestimmter Neurotransmitter über Veränderungen der Gehirnpotenziale (EEG), vor allem in der Schlafphase, bis zu Beeinflussungen kognitiver Funktionen und des Verhaltens bei Mensch und Tier. Die vorliegenden Ergebnisse sind als konsistente Hinweise auf Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Zentrale Nervensystem zu werten. Einzelne Kommissionen halten auch eine erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Schadstoffe als Folge von Hochfrequenzexpositionen für möglich (s. Tabelle 3.2).

Ob die beobachteten Beeinträchtigungen des Zentralen Nervensystems ursächlich für die Befindlichkeitsstörungen verantwortlich sind, unter denen empfindliche Personen nach eigener Angabe leiden, wenn sie geringen Intensitäten hochfrequenter Strahlung ausgesetzt sind, oder ob Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit, Hautbrennen und weitere (eher unspezifische) Symptome auf andere physiologische Wirkungen zurückzuführen sind, kann anhand der wenigen und zum Teil widersprüchlichen wissenschaftlichen Befunde derzeit nicht beantwortet werden. Aber es scheint auch hier so zu sein, dass die betroffenen, elektrosensiblen Personen generell sehr empfindlich gegenüber Umwelteinflüssen sind.

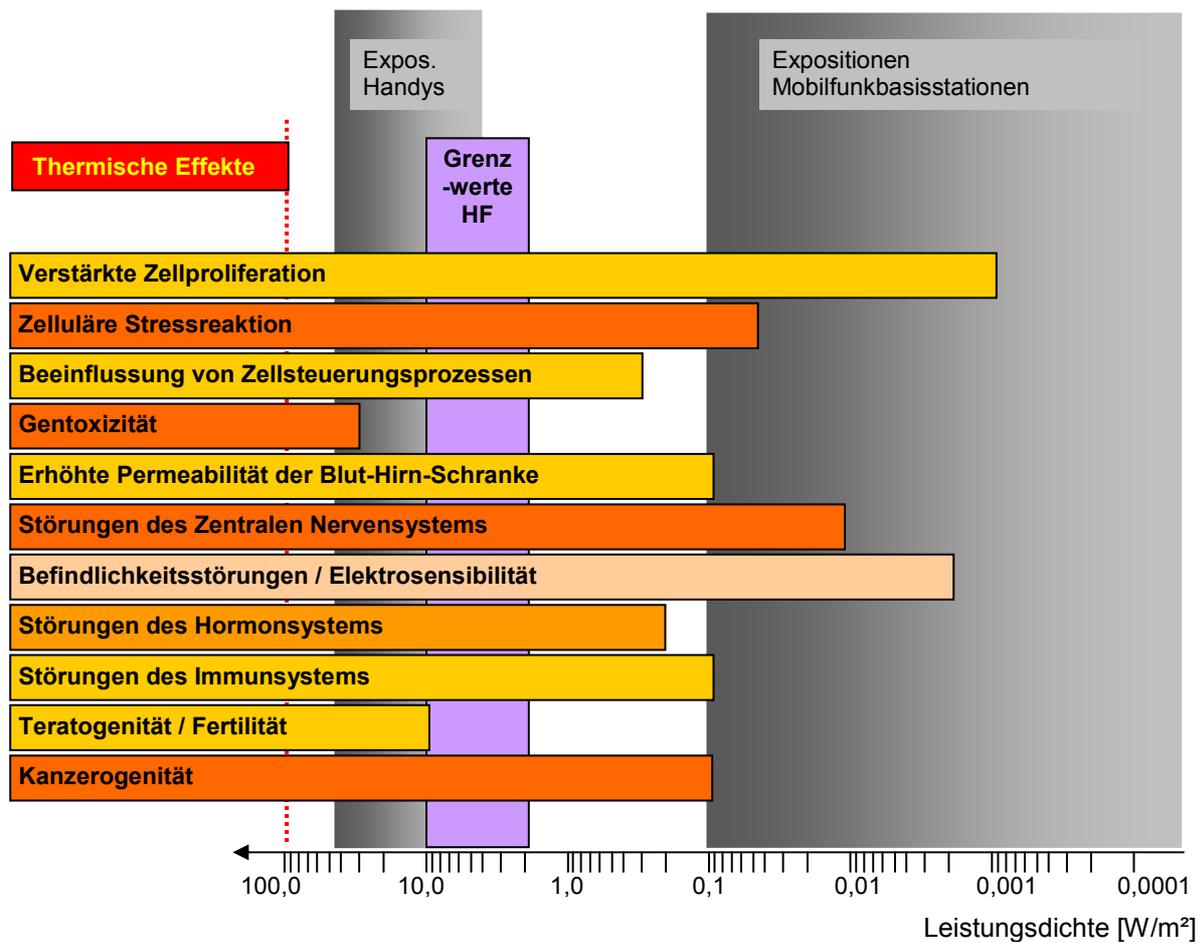
In Untersuchungen an Zellkulturen und Experimenten mit Versuchstieren wurden Veränderungen am Erbgut, wie Einzel- und Doppelstrangbrüche sowie Schäden an den Chromosomen, festgestellt. Hierbei kann es sich um direkte molekulare Wirkungen handeln, das heißt, die hochfrequente Strahlung führt zu Mehrfachanregungen der Moleküle und anschließendem Bruch von schwachen molekularen Bindungen. Dies erscheint nach neuesten Untersuchungen zu Anregungsvorgängen in Makromolekülen denkbar. Es ist aber auch möglich, dass die Schäden am Erbgut durch andere Noxen entstanden sind, und dass die hochfrequente Strahlung 'nur' zu einer Hemmung der natürlichen zelleigenen Reparaturmechanismen führt. In Tabelle 3.2 fehlen Stellungnahmen, die die Ergebnisse der neuesten Untersuchungen einbeziehen.

In *in vitro*-Experimenten wurden Einflüsse niederfrequent gepulster Hochfrequenz-Felder auf die Zellkommunikation und die Steuerung zellulärer Prozesse beobachtet, wie sie auch bei niederfrequenten Magnetfeldern auftreten, und es wurden Auswirkungen auf Gen-Expression, -Transkription und -Translation festgestellt. Auch gibt es Hinweise auf eine fördernde Wirkung auf die Zell-Proliferation und auf Beeinträchtigungen der Zelldifferenzierung. Die Aktivität des Enzyms ODC wird einigen Experimenten zufolge nicht nur durch bekannte chemische Tumorpromotoren gesteigert. Es wurde in mehreren Experimenten gezeigt, dass diese Wirkung auch durch niederfrequent amplitudenmodulierte Hochfrequenzfelder hervorgerufen werden kann.

Fazit

Im Vergleich zum Niederfrequenzbereich ist die Zahl der epidemiologischen Untersuchungen im Hochfrequenzbereich klein. Da sehr unterschiedliche Expositionssituationen mit verschiedenen Trägerfrequenzen und Modulationsarten untersucht wurden, ist eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Studien selten gegeben. Dennoch sind die Ergebnisse insgesamt als ernst zu nehmende Hinweise auf ein erhöhtes Krebsrisiko (insbesondere Leukämie und Gehirntumoren) als Folge elektromagnetischer Hochfrequenz-Expositionen zu werten. Eine verlässliche Aussage über das Gesundheitsrisiko der Nutzer von Mobiltelefonen lässt sich derzeit noch nicht machen, allerdings deuten erste Untersuchungen auf einen Zusammenhang zwischen dem häufigen Gebrauch von Handys über viele Jahre und der Ausbildung von bestimmten Gehirntumoren. Auf der experimentellen Seite gibt es etliche Untersuchungen, bei denen Effekte auf der zellulären Ebene oder patho-physiologische Wirkungen nachgewiesen wurden, die u.a. im Hinblick auf die Entstehung von Krebs bedeutsam sein könnten. Viele dieser Effekte wurden bereits für Intensitäten nachgewiesen, die deutlich unter der Schwelle für thermische Effekte und den derzeit geltenden Grenzwerten lagen.

Angesichts einerseits der in einigen Bereichen vorliegenden wissenschaftlichen Befunde und andererseits der nach wie vor erheblichen Unsicherheiten bei der Bewertung der Gesundheitsrisiken durch nicht-thermische Hochfrequenz-Intensitäten sind vor dem Hintergrund der bereits hohen Hochfrequenz-Belastungen der Bevölkerung und der absehbaren technologischen Entwicklungen, die zu einer erheblichen Zunahme der Zahl von Hochfrequenz-Quellen führen wird, entschiedene Maßnahmen zum vorsorgenden Gesundheitsschutz durch Minimierung der Expositionen notwendig.



Legende



Abbildung 3.2

Wissenschaftliche Evidenzen für gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder sowie Wertebereiche der Leistungsdichte, in denen diese Wirkungen festgestellt wurden

4 Schutz und Vorsorge bei technogenen elektromagnetischen Feldern

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu erwiesenen, wahrscheinlichen und möglichen gesundheitsschädigenden Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder haben sich in den letzten Jahren so stark verdichtet, dass über die gesetzlichen Sicherheitsgrenzwerte hinaus dringend Vorsorgegrenzwerte eingeführt werden sollten, um die Einwirkungen dieser Felder auf den Menschen und die daraus folgenden potenziellen Gesundheitsrisiken möglichst gering zu halten. Die Schweiz hat bereits entsprechend gehandelt und zusätzlich zu den Sicherheitsgrenzwerten, die überall gelten und mit den deutschen Grenzwerten übereinstimmen, Vorsorge orientierte Anlagegrenzwerte eingeführt, die von Anlagen einzuhalten sind, die sich in der Nähe empfindlicher Bereiche, wie Wohngebiete, Schulen, Kindertagesstätten und Krankenhäuser, anzuwenden sind (s. Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1

Sicherheitsgrenzwerte in Deutschland gemäß 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV) und in der Schweiz gemäß Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) sowie Vorsorge-orientierte Schweizer Anlagegrenzwerte gemäß NISV

Anwendung	Frequenz	Sicherheitsgrenzwerte		Anlagegrenzwert
		D 26. BImSchV	CH NISV	CH NISV
Eisenbahn	16,7 Hz	300 μ T	300 μ T	1,0 μ T
Stromversorgung	50 Hz	100 μ T	100 μ T	1,0 μ T
Rundfunk (LW, MW)	0,15 – 1,6 MHz	-	87 – 34 V/m	8,5 V/m
Rundfunk (KW, UKW, TV)	3,4 – 790 MHz	27,5 – 38,6 V/m	27,5 – 38,6 V/m	3,0 V/m
Mobilfunk	900 – 2100 MHz	41,25 – 61,0 V/m	41,3 – 61,0 V/m	4,0 – 6,0 V/m

Andere Länder, wie Neuseeland und Schweden, stützen ihre Vorsorgebemühungen auf Minimierungsgebote für Belastungen durch elektromagnetische Felder. Auch die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) hat sich in ihrer letzten Stellungnahme vom Juni 2001 für eine Minimierung der Expositionen der Bevölkerung ausgesprochen:

- "Die SSK empfiehlt, bei der Entwicklung von Geräten und bei der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen."
- "Die SSK empfiehlt, Maßnahmen zu ergreifen, um Expositionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Rahmen der technischen und der wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten zu minimieren. Das gilt insbesondere für Bereiche, in denen sich Personen regelmäßig über längere Zeit aufhalten. Die Maßnahmen sollten sich an dem Stand der Technik orientieren."

Diese Empfehlungen der Strahlenschutzkommission haben bisher jedoch keinerlei praktische Relevanz. Weder bei der Konstruktion von Geräten und Anlagen noch bei der Situierung z.B. von Mobilfunksendeanlagen ist ein Bemühen der Hersteller und Betreiber emittierender Anlagen zu erkennen, Lösungen zu wählen, die zu einer Minimierung der Expositionen der Bevölkerung beitragen. Auch andere Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, z.B. zur Kennzeichnung von Geräten und Anlagen in Bezug auf die von ihnen verursachten Immissionen, werden ignoriert. Die Jury Umweltzeichen hat beispielsweise ein Label ('Blauer Engel') für strahlungsarme Handys geschaffen, die Hersteller von Mo-

biltelefonen weigern sich jedoch standhaft, ihre Geräte entsprechend zertifizieren zu lassen.

Ein 'gut gemeinter' Appell der Strahlenschutzkommission reicht offensichtlich nicht aus, um die Akteure zu einem Vorsorge orientierten Handeln zu bewegen. Deshalb ist eine Novellierung der 26. BImSchV dringend erforderlich, in der das Minimierungsgebot festgeschrieben und geregelt wird, wie seine Einhaltung zu überprüfen ist. Darüber hinaus sollten dringend verbindliche Vorsorgegrenzwerte eingeführt werden, die den wissenschaftlichen Hinweisen auf gesundheitsrelevante Wirkungen unterhalb der Schwellen für Stromreizungen und thermische Wirkungen Rechnung tragen. Über eine Vorsorge orientierte Überarbeitung der 26. BImSchV hinaus sollten weitere Maßnahmen zur Verminderung der elektromagnetischen Expositionen und zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung vor möglichen negativen gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder umgesetzt werden:

- Überarbeitung der Vorschriften zum Arbeitsschutz mit dem Ziel, auch im beruflichen Bereich die elektromagnetischen Expositionen so weit wie möglich zu senken
- Integration der Zielsetzung 'Minimierung elektromagnetischer Expositionen' in alle hierfür relevanten beruflichen Ausbildungsgänge
- Verpflichtung der Hersteller von Geräten, Maschinen und Anlagen zur Kennzeichnung ihrer Produkte in Bezug auf die von diesen verursachten Expositionen bzw. Entwicklung und Anwendung eines Systems zur verbindlichen und einheitlichen Expositions-klassifizierung von Geräten, Maschinen und Anlagen (vergleichbar den Energieeffizienzklassen für Haushaltsgeräte)
- Verbesserung der Möglichkeiten der Kommunen, Einfluss auf die Planung und Errichtung emittierender Anlagen zu nehmen, um möglichst geringe Expositionen ihrer Bürger sicher zu stellen
- Verbesserung der Überwachung nicht nur der von Großanlagen verursachten Immissionen, sondern der Gesamtmissionen, zu denen kleine Geräte (Mobilfunk, WLAN, DECT, Bluetooth usw.) mittlerweile erheblich beitragen
- Verpflichtung der Normungsgremien, bei der Festlegung technischer Normen die tatsächlichen Expositionssituationen mit Beiträgen zu den Expositionen aus vielen Quellen zu berücksichtigen, statt einer Ausschöpfung der geltenden Grenzwerte durch einzelne Geräte, Maschinen oder Anlagen
- Verbesserung der Aufklärung der Bevölkerung und der Arbeitnehmer über die Risiken durch elektromagnetische Felder und die eigenen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verminderung von Belastungen.

Literatur

Publikationen und Gutachten des ECOLOG-Instituts (Auswahl 2000 - 2005)

- Neitzke H.-P. 2005: Mobiltelefone und Gehirntumoren. EMF-Monitor 11 (5): 1-4
- Neitzke H.-P. 2005: Zukunftstechnologie Terahertz-Wellen: Chancen und Risiken. EMF-Monitor 11 (3): 1-3
- Neitzke H.-P. 2005: Zwischenbilanz zum Deutschen Mobilfunkforschungsprogramm. EMF-Monitor 11 (2): 1-3
- Neitzke H.-P. & Osterhoff J. 2005: Elektrosensibilität: Stand der Forschung. EMF-Monitor 11 (4): 1-8, 11 (5): 9-15
- Neitzke H.-P. & Osterhoff J. 2005: Mobilfunk & Gesundheit 2000-2005. EMF-Monitor 11 (1): 1-10, 11 (2): 5-6
- Neitzke H.-P., Osterhoff J., Peklo K., Voigt H. & Wohlatz T. 2005: Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes 'Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen' untersucht werden. Schlussbericht zu einem Forschungsprojekt im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz
- Voigt H. 2005: HF-Expositionen durch Funkanwendungen in Haus und Büro: DECT, WLAN und Bluetooth. EMF-Monitor 11 (1): 10-12
- Neitzke H.-P. 2004: Elektromagnetische Felder von Warensicherungsanlagen. EMF-Monitor 10 (4): 1-5
- Neitzke H.-P. 2004: Gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder. EMF-Monitor 10 (1): 3-7
- Neitzke H.-P. & Osterhoff J. 2004: Zellregulatorische und genotoxische Effekte elektromagnetischer Felder. EMF-Monitor 10 (6): 1-7
- Neitzke H.-P. & Osterhoff J. 2004: Beeinflussung des Gehirns und kognitiver Funktionen durch die Felder der Stromversorgung. EMF-Monitor 10 (1): 1-3
- Neitzke H.-P., Osterhoff J. & Voigt H. 2004: Elektromagnetische Immissionen der Schleusenanlage Kiel-Holtenau und durch die passierende Schifffahrt. Im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamts Kiel-Holtenau
- Neitzke H.-P., Osterhoff J. & Voigt H. 2004: Elektromagnetische Expositionen durch drahtlose Zählerfernauslese-Systeme. Im Auftrag der Fa. Siemens Building Technologies Electronic GmbH, Nordhausen
- Osterhoff J. 2004: Genotoxische Effekte elektromagnetischer Felder 10 (2): 1, 5-7
- Behrendt D., Neitzke H.-P., Neitzke T., Osterhoff J., Kleinhüchelkotten S. & Voigt H. 2003: Funk-Netzwerke. Sachstandsermittlung zur Netzwerktechnologie WLAN im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- Neitzke H.-P. 2003: Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz. EMF-Monitor 9 (6): 1, 3-6
- Neitzke H.-P. 2003: Niederfrequente Magnetfelder und neurodegenerative Erkrankungen. EMF-Monitor 9 (5): 1-3
- Neitzke H.-P. 2003: Mobilfunk - Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Vorsorge. Stellungnahme zur Anhörung im Gesundheitsausschuss der Hamburgischen Bürgerschaft. Hamburg, 27. Februar 2003
- Neitzke H.-P. & Osterhoff J. 2003: Wirkung von GSM- und UMTS-Feldern auf Wohlbefinden und kognitive Funktionen. EMF-Monitor 9 (5): 3-5
- Neitzke H.-P. & Osterhoff J. 2003: Gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Gutachten für das Amtsgericht Bad Homburg
- Neitzke H.-P., Osterhoff J. & Voigt H. 2003: Biologische Wirkungen schwacher HF-Felder und Empfehlungen zur Begrenzung der Expositionen durch Funksendeanlagen. EMF-Monitor 9 (2): 1-8
- Neitzke H.-P. & Voigt H. 2003: Hochfrequenzemissionen von Funkschaltern – Messung und gesundheitliche Bewertung. Im Auftrag der Fa. Enocean, Oberhaching
- Neitzke H.-P., Voigt H., Behrendt D., Kleinhüchelkotten S., Osterhoff J. & Schlußmeier B. 2003: Vorsorgemaßnahmen im Bereich Mobilfunk. Strategiepapier im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz. (Zusammenfassung der Empfehlungen und Stellungnahme des BfS unter www.bfs.de/elektro/papiere/strategiepapier_mf.html)
- Neitzke H.-P., Voigt H., Behrendt D., Osterhoff J. & Voß A. 2003: Erfüllung der freiwilligen Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber gegenüber der Bundesregierung vom 6. Dezember 2001. Bestandsaufnahme im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz
- Voigt H. 2003: Neue Techniken: DVB-T. EMF-Monitor 9 (3): 8-12
- Neitzke H.-P. 2002: Gesundheitliche Risiken durch die elektromagnetischen Felder von Mobilfunkanlagen. Gutachterliche Stellungnahme für das Amtsgericht Kempten
- Neitzke H.-P. 2002: Kriterien für strahlungsarme Handys. Sachverständigenanhörung der Jury Umweltzeichen. Berlin, 10. Juni 2002
- Neitzke H.-P. 2002: Mobilfunk – Risiken und Vorsorge. Anhörung im Hessischen Landtag. Wiesbaden, 24. Januar 2002
- Neitzke H.-P. 2002: Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Telekommunikation und deren Bedeutung für die öffentliche Gesundheitsvorsorge. Tagung der Ev. Akademie Loccum, 11. - 13. Februar 2002

- Neitzke H.-P. 2002: Niederfrequente Magnetfelder und Krebs: Schlussfolgerungen aus den epidemiologischen Studien. EMF-Monitor 8 (1): 3-5
- Neitzke H.-P. 2003: Was ist neu am Risiko Mobilfunk? Zur Typologie technologischer Risiken. ECOLOG Arbeitspapier T&U 01/03
- Neitzke H.-P. & Osterhoff J. 2002: Elektromagnetische Felder als Ursache neurodegenerativer Erkrankungen, depressiver Symptome und Selbstmord. EMF Monitor 8 (3): 8-9, 8 (4): 1-6
- Voigt H. 2002: Neue Techniken: Der neue digitale Behörden- und Polizeifunk TETRA. EMF-Monitor 8 (3): 1, 5-6
- Depner K., Hennies K., Neitzke H.-P. & Voigt H. 2001: Bewertung der Risiken elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit. I. Niederfrequente Felder. Diskussionspapier für das Bundesamt für Strahlenschutz und die Strahlenschutzkommission. ECOLOG Arbeitspapier T&U 02/01
- Neitzke H.-P. 2001: Risiken durch den Mobilfunk. Sachverständigenanhörung der Ausschüsse für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie Gesundheit des Deutschen Bundestages. Berlin, 2. Juli 2001
- Neitzke H.-P. 2001: Die Risiken sind ungeklärt: Neue Techniken auf dem Vormarsch. EMF-Monitor 7 (4): 2-4
- Neitzke H.-P. 2001: Energie ist in der Luft – Energetische Umweltverschmutzung durch Mobilfunksendeanlagen. Vorgänge 153: 88-94
- Neitzke H.-P. 2001: GSM- und UMTS-Mobilfunk: Expositionen, Grenzwerte, Risiken. Fachtagung 'Auswirkungen des Mobilfunks' des Städtetages Rheinland-Pfalz und der Stadt Mainz. Mainz, 7. November 2001
- Neitzke H.-P. 2001: Magnetfelder und Leukämie bei Kindern. EMF-Monitor 7 (1): 1-3
- Osterhoff J. 2001: Mögliche kokarzinogene Effekte magnetischer Felder. EMF-Monitor 7 (4): 4-5
- ECOLOG 2000a: Neitzke H.-P., Hennies K. & Voigt H.: Gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte niederfrequenter Magnetfelder. Diskussionspapier für ein Fachgespräch der Strahlenschutzkommission
- ECOLOG 2000b: Neitzke H.-P., Hennies K. & Voigt H.: Gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Diskussionspapier für ein Fachgespräch der Strahlenschutzkommission
- Hennies K., Neitzke H.-P. & Voigt H. 2000: Mobilfunk und Gesundheit. Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes. Gutachten im Auftrag der Fa. T-Mobil
- Neitzke H.-P. 2000: Kinder im Kreuzfeuer elektromagnetischer Felder. EMF-Monitor 6 (3): 1-2
- Andere Publikationen**
- Bundesamt für Strahlenschutz 2004: Strahlung / Strahlenschutz. Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz) 2005: Elektromog in der Umwelt
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz) 2003: Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. BUWAL Umwelt-Materialien Nr. 162
- Neitzke H.-P., van Capelle J., Depner K. & Hanisch T. 1994: Risiko Elektromog? Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf Gesundheit und Umwelt. Birkhäuser Verlag, Basel
- SSK (Strahlenschutzkommission) 2001: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. 13. - 14. September 2001