

Ausgabe  
Nr. 10

Schriftenreihe  
zu aktuellen Themen  
der Schadenversicherung

**T. Dolde – S. Hartwig – C. Merten – H.-P. Neitzke**

*Fachtagung der E+S Rück*

*Emerging Risks –  
Schadenpotenziale der Zukunft*

e+s rück

**Schriftenreihe  
zu aktuellen Themen  
der Schadenversicherung**

Ausgabe Nr. 10

**T. Dolde – S. Hartwig – C. Merten – H.-P. Neitzke**

---

*Fachtagung der E+S Rück*

*Emerging Risks –  
Schadenpotenziale der Zukunft*

## ***Inhalt***

Kapitel	Seite
1. Grußwort	5
2. Das neue Gentechnikgesetz – neue Haftungsrisiken bei der Nutzung der Grünen Gentechnik in der Landwirtschaft	7
2.1 Einführung	7
2.2 Das neue Gentechnikgesetz und die Haftungsrechtlichen Auswirkungen	7
2.2.1 Die haftungsrechtlichen Folgen der neuen Vorschriften für Landwirte	7
2.2.2 Die haftungsrechtlichen Folgen der neuen Vorschriften für die „Inverkehrbringer“ gentechnisch veränderten Saatguts	10
2.2.3 Zusammenfassung	11
2.3 Verstoß gegen den Grundgedanken der Gleichbehandlung verschiedener Anbauformen	11
2.3.1 Schwellenwerte im Kennzeichnungsrecht sind nicht als Auslöser von Ausgleichsansprüchen geeignet	11
2.3.2 Widerspruch zu EG-Recht	12
2.4 Fazit	12
3. Häufige Grundstruktur sich neu entwickelnder Risiken und das Versagen von Systemen	13
3.1 Einleitung	13
3.2 Systeme	14
3.3 Gemeinsamkeiten zwischen biologischen/natürlichen und technischen Systemen	16
3.4 Biologische/natürliche Systeme	17
3.5 Technische Systeme	19
3.6 Zusammenfassung	22
4. Tabakschäden in Deutschland – Wo Rauch ist, ist auch Feuer	23
4.1 Tatsachen zum Tabakkonsum	23
4.2 Zivilrechtliche Haftung der Zigarettenindustrie in den USA – ein Überblick	24
4.3 Neue Erkenntnisse und Beweismittel	25

Kapitel	Seite	
4.4	Zivilrechtliche Haftung der Zigarettenindustrie in Deutschland	26
4.4.1	Konstruktionsfehler	26
4.4.2	Instruktionsfehler	37
4.4.3	Ergebnis	38
4.5	Strafrechtliche Produkthaftung der Zigarettenindustrie nach dem StGB	39
4.5.1	Gemeingefährliche Vergiftung	39
4.5.2	Ergebnis	44
4.6	Zusammenfassung	45
<b>5.</b>	<b>Risiken durch elektromagnetische Felder</b>	<b>46</b>
5.1	Eigenschaften elektromagnetischer Felder	46
5.1.1	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder	46
5.1.2	Hochfrequente elektromagnetische Felder	48
5.1.3	Elektromagnetisches Spektrum	49
5.2	Quellen elektromagnetischer Felder	50
5.2.1	Quellen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder	51
5.2.2	Quellen hochfrequenter und elektromagnetischer Felder	54
5.2.3	Zukünftige Entwicklungen	59
5.3	Wissenschaftliche Bewertung der Risiken durch elektromagnetische Felder	59
5.3.1	Wissenschaftlicher Risikonachweis und Klassifizierung wissenschaftlicher Evidenzen	60
5.3.2	Biologische Effekte und gesundheitliche Auswirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder	62
5.3.3	Biologische Effekte und gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder	66
5.4	Konsequenzen für den vorsorgenden Gesundheits- und Umweltschutz	71
5.5.	Literatur	74
6.	Referenzen	78

## 1. Grußwort

von Dr. Michael Pickel

### Sehr geehrte Damen und Herren,

Die E+S Rück, der Spezialrückversicherer für den deutschen Markt, bearbeitet insbesondere Exposures im Bereich der Haftpflichtversicherung. Aus diesem Grund beschäftigte sich unsere traditionelle Fachtagung mit dem Thema der „Emerging Risks“ – ein Begriff, an dem auch ein rein auf den deutschen Markt ausgerichteter Rückversicherer nicht vorbeikommt. Viele nationale Policen unserer Zedenten decken internationale Risiken ab. Schäden und deren Auswirkungen machen nicht an der Grenze halt. Ereignisse, die sich tief in unser Bewusstsein eingegraben haben, wie z. B. die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl, aber auch Großschäden mit Massenverkehrsmitteln machen uns dies immer wieder deutlich.

Die Beiträge der Fachtagung sollen einen Blick in die Zukunft wagen: Wer möchte nicht gern wissen, was auf ihn zukommen kann?

Betrachtet man die Prognosen der Futurologen<sup>1)</sup> zu Beginn der 70er Jahre, so rechnete man damals in der Entwicklung der Automation mit der Serienherstellung von Computern für das Jahr 1985. Autobahnen mit Induktionsschleifen waren für das Jahr 2000 angedacht, ebenso wie die „automatische Steuererklärung“ im gleichen Jahr. In der Luft- und Raumfahrttechnik prognostizierte man für das Jahr 1980 eine ständige Mondbasis und Raumsonden; außerhalb des Sonnensystems war dies ab dem Jahr 1985 geplant. Der wieder verwendbare Raumtransporter, das Shuttle, war bereits ab 1975 in der Vorstellung aller, und für das Jahr 2020 waren damals Landungen auf den Jupiter-Monden sowie ein Umfliegen des Pluto vorgesehen.



Wie die Geschichte gezeigt hat, ist nicht alles davon pünktlich eingetreten; andere Entwicklungen verliefen dagegen rasanter als erwartet.

Für die Versicherungswirtschaft ist die Frage nach zukünftigen Risiken essenziell. Worauf müssen wir uns einstellen? Welche Entwicklungen oder Technologien, die wir bislang als ungefährlich beurteilten, können sich als bedrohliche Gefahr entpuppen? Welche Risiken müssen wir heute einkalkulieren, die wir vielleicht morgen reservieren und die übermorgen zu Schadenersatzleistungen führen?

Aus der Vergangenheit gibt es eine Vielzahl von Beispielen, von der Asbestkrise – Asbest galt einst als bewährtes Brandschutzmaterial – über die US-Umweltkrise bis hin zu Risiken, von denen wir nur eine ungefähre Vorstellung haben oder deren Beherrschbarkeit immer schwieriger wird.

Unter Haftpflichtaspekten hat in jüngster Zeit die Pharmasperte Aufmerksamkeit erregt. Hier entsteht ein immer schwieriger werdendes Umfeld. Dies betrifft insbesondere die Vereinigten Staaten, aber wir wissen leider auch, dass der Arm der gefürchteten Class Actions bis nach

<sup>1)</sup> Entwicklungsphasen bis 2020 nach einer Studie der Rand Corporation, Santa Monica, Kalifornien.

Europa und sogar Deutschland reicht, indem sich inländische Kläger den Sammelklagen in den USA anschließen.

Eines hat jedoch die jüngere und jüngste Vergangenheit gezeigt: Die Liste möglicher neuer Risiken wächst, und sie umfasst unter anderem Schimmelpilzschäden, Fragen der Nanotechnologie, Silica, Terror, Glücksspiel, „Fast Food“ sowie Eingriffe in menschliches Erbgut.

All das sind Problemfelder, die die Versicherungswirtschaft national, aber im Zuge der Globalisierung auch international beschäftigen. In dieser Schriftenreihe greifen wir wegen der Themenfülle nur eine kleine Auswahl dieser

brisanten Themen auf. Die E+S Rück bleibt jedoch mit den bewährten Ansprechpartnern mit Ihnen im Gespräch, natürlich auch zu anderen Themen. In diesem Sinne wünsche ich eine interessante Lektüre.



Dr. Michael Pickel  
Mitglied des Vorstands

## 5. Risiken durch elektromagnetische Felder

von Dr. H.-Peter Neitzke, ECOLOG Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung, Hannover

### 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. In der öffentlichen Diskussion werden dabei meist die Entwicklungen in anderen Technologiebereichen ausgeblendet. Der Mobilfunk, in Deutschland Mitte des Jahres 2005 mit mehr als 70 Millionen Teilnehmern und einer flächendeckenden Infrastruktur aus bisher rund 70.000 Mobilfunkbasisstationen, hat zwar tatsächlich zu einer deutlichen Zunahme der Expositionen im Hochfrequenzbereich geführt, aber sowohl auf der Infrastrukturseite als auch in den privaten Haushalten und an Arbeitsplätzen hat sich die Immissionsituation seit Beginn der 1990er Jahre auch sonst deutlich verändert. 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 an Arbeitsplätzen aber auch in vielen Privatwohnungen oft bereits hohen Expositionsniveaus 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.

Im Mittelpunkt dieses Berichts steht die Darstellung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zu den Gesundheitsrisiken durch nieder- und hochfrequente Felder. Zunächst werden jedoch zum besseren Verständnis des Folgenden die Eigenschaften elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder erläutert und es wird ein Überblick über die Quellen solcher Felder gegeben. Der Bericht schließt mit Überlegungen und Empfehlungen zum vorsorgenden Gesundheits- und Umweltschutz.

### 5.1 Eigenschaften elektromagnetischer Felder

#### 5.1.1 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Der Niederfrequenzbereich umfasst Felder mit Frequenzen von 0 Hz (statische Felder) bis 30 kHz (zu den Frequenzeinheiten s.u.).

##### Elektrische Felder

Elektrische Felder treten immer im Zusammenhang mit elektrischen Spannungen auf. Ein elektrisches Feld wird im Allgemeinen durch mindes-

tens zwei Größen gekennzeichnet: die *Elektrische Feldstärke* und die *Frequenz*.

Die *Elektrische Feldstärke* ist das Maß für die Stärke elektrischer Felder. Sie wird in der Einheit Volt pro Meter (abgekürzt: V/m) gemessen. Um bei sehr hohen und sehr niedrigen Frequenzen die Schreibweise zu vereinfachen, werden weitere abgeleitete Einheiten verwendet (s. Tabelle 1.1).

Die *Frequenz* ist ein Maß für die Geschwindigkeit, mit der sich die Stärke bzw. Richtung regelmäßig

schwingender elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder ändert. Die allgemeine Stromversorgung erfolgt mit elektrischen Wechselspannungen einer Frequenz von 50 Hertz (50 Hz), die Anlagen sind von *elektrischen Wechselfeldern* dieser Frequenz umgeben. Elektrische Felder, deren Stärke konstant ist oder sich im Laufe der Zeit allenfalls langsam ändert, die aber

keine regelmäßigen Schwingungen ausführen, haben die Frequenz Null und heißen *elektrische Gleichfelder* oder *statische Felder*. Solche Felder treten z. B. an Batterien oder an Fernseh- und Computerbildschirmen auf. Da bei hohen Frequenzen die Schreibweise mit vielen Nullen unpraktisch ist, werden neben der Grundeinheit Hz auch noch andere Einheiten benutzt (s. Tabelle 1.1).

Tabelle 1.1

Einheiten für elektromagnetische Größen	
<b>Frequenz</b>	
Grundeinheit: Hertz (HZ)	
abgeleitete Einheiten:	
1 Kilohertz (1 kHz)	= 1.000 Hz
1 Megahertz (1 MHz)	= 1.000.000 Hz
1 Gigahertz (1 GHz)	= 1.000.000.000 Hz
1 Terahertz (1 THz)	= 1.000 GHz
<b>Elektrische Feldstärke</b>	
Grundeinheit: Volt pro Meter (V/m)	
abgeleitete Einheiten:	
1 Millivolt pro Meter (1 mV/m)	= 0,001 V/m
1 Kilovolt pro Meter (1 kV/m)	= 1.000 V/m
<b>Magnetische Induktion</b>	
Grundeinheit: Tesla (T)	
abgeleitete Einheiten:	
1 Millitesla (1 mT)	= 0,001 T
1 Mikrottesla (1 $\mu$ T)	= 0,000.001 T
<b>Leistungsdichte</b>	
Grundeinheit: Watt pro Quadratmeter (W/m <sup>2</sup> )	
abgeleitete Einheiten:	
1 Milliwatt pro Quadratmeter (1 mW/m <sup>2</sup> )	= 0,001 W/m <sup>2</sup>
1 Nanowatt pro Quadratcentimeter (1 nW/cm <sup>2</sup> )	= 0,000.01 W/m <sup>2</sup>

Jede elektrische Spannung impliziert ein elektrisches Feld, daher sind elektrische Hochspannungsleitungen und elektrische Anlagen bis hin zur Steckdose von elektrischen Feldern umgeben. Wird der Stecker eines elektrischen Gerätes in eine Steckdose gesteckt, so bildet sich um das Anschlusskabel und das Gerät ebenfalls ein elektrisches Feld aus, unabhängig davon, ob das Gerät eingeschaltet ist oder nicht.

Im Hinblick auf die Wirkungen elektrischer Felder und eventuelle Schutzmaßnahmen sind zwei Eigenschaften wichtig:

Die Abschirmung elektrischer Felder ist durch elektrisch leitfähige Materialien mit Erdung relativ leicht möglich.

Elektrische Wechselfelder erzeugen in elektrisch leitfähigem Material (Metalle, organisches Gewebe) elektrische Wechselströme. In lebenden Organismen können solche Ströme, wenn sie hinreichend stark sind, zu akuten Schäden führen. Ob und wie sich Langzeitexpositionen in schwächeren Feldern gesundheitlich auswirken, ist wissenschaftlich umstritten.

## Magnetisches Feld

Magnetische Felder treten auf, sobald in einer Leitung oder in einem elektrischen Gerät ein elektrischer Strom fließt. Die Stärke des Magnetfeldes hängt von der Stärke des elektrischen Stroms ab. Elektrische Gleichströme erzeugen *magnetische Gleichfelder*, das heißt Felder mit einer konstanten oder nur sehr langsam und nicht periodisch schwankenden Stärke. Bei den Feldern von Permanentmagneten handelt es sich ebenfalls um Gleichfelder, die durch mikroskopische elektrische Ströme hervorgerufen werden. Elektrische Wechselströme führen zu *magnetischen Wechselfeldern*, deren Stärke sich mit der Stromstärke zeitlich periodisch ändert.

Die Eigenschaften eines magnetischen Feldes werden durch die *Magnetische Feldstärke* bzw. die *Magnetische Flussdichte* und seine *Frequenz* bestimmt.

Die *Magnetische Feldstärke* ist das Maß für die Stärke magnetischer Felder. Sie wird in Ampere pro Meter (abgekürzt: A/m) gemessen. Die Magnetische Feldstärke ist eine eher theoretische Einheit, tatsächlich messen kann man die *Magnetische Flussdichte* mit der Einheit Tesla (T). Da die Einheit Tesla sehr groß ist und in der Praxis überwiegend magnetische Flussdichten mit nur einem Bruchteil von 1 T auftreten, wird meist die Einheit Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ) verwendet. In Gebrauch sind aber auch noch weitere Einheiten (s. Tabelle 1.1).

Um elektrische Geräte oder Maschinen entstehen erst magnetische Felder, wenn diese eingeschaltet sind und elektrische Ströme fließen. An Hochspannungsleitungen treten magnetische Felder erst auf, wenn an den Leitungen nicht nur die Hochspannung liegt, sondern durch sie auch tatsächlich ein elektrischer Strom fließt.

Auch bei den Magnetfeldern ist auf zwei wichtige Eigenschaften hinzuweisen:

Die Abschirmung magnetischer Felder ist nur begrenzt und mit erheblichem Aufwand möglich.

Magnetische Wechselfelder induzieren in elektrisch leitfähigem Material (Metalle, organisches Gewebe) kreisförmige elektrische Wechselströme. Diese Ströme können bei Stärken oberhalb be-

stimmter Schwellwerte beim Menschen und anderen Lebewesen zu akuten Gesundheitsschäden führen (s. 3.2.1). Es werden jedoch auch biologische Effekte unterhalb dieser Schwellen festgestellt und es gibt Hinweise auf Gesundheitsschäden durch (Dauer-) Expositionen in relativ schwachen Feldern (s. 3.2.2). Hierfür gibt es bisher noch kein wissenschaftlich allgemein akzeptiertes Wirkungsmodell.

### 5.1.2 Hochfrequente elektromagnetische Felder

Der Hochfrequenzbereich umfasst den Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 GHz.

Grundsätzlich wird jedes sich zeitlich ändernde elektrische Feld von einem Magnetfeld begleitet, und jedes sich zeitlich ändernde Magnetfeld von einem elektrischen Feld. Wenn die Veränderungen langsam sind, die Frequenz also niedrig ist, ist die Kopplung zwischen den beiden Feldern jedoch sehr schwach, was dazu führt, dass im Niederfrequenzbereich elektrische und magnetische Felder praktisch unabhängig voneinander sind. Bei hohen Frequenzen treten elektrisches und magnetisches Feld dagegen nur in Kombination miteinander auf – man spricht daher von einem *elektromagnetischen Feld*, bzw. von einer *elektromagnetischen Welle*. Der Begriff „elektromagnetische Felder“ wird aber oft auch als Sammelbegriff für niederfrequente elektrische und magnetische sowie hochfrequente elektromagnetische Felder gebraucht. Wo eine Unterscheidung nicht notwendig ist, wird diese Vereinfachung auch in diesem Bericht benutzt.

Ein elektromagnetisches Feld wird durch seine Frequenz und seine Intensität charakterisiert. Letztere wird anhand der Stärke des elektrischen Feldanteils (*Elektrische Feldstärke*, s. o.) oder der *Leistungsdichte* bestimmt. Die *Leistungsdichte* wird in der Einheit Watt pro Quadratmeter ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) angegeben. In der Einheit  $\text{W}/\text{m}^2$  stecken die Einheit Watt für die Energiemenge pro Sekunde und die Einheit Quadratmeter für die Fläche. Das heißt, die Leistungsdichte gibt die Energiemenge an, die durch das elektromagnetische Feld pro Sekunde auf eine bestimmte Fläche übertragen wird. Neben der Einheit  $\text{W}/\text{m}^2$  sind noch eine Reihe anderer Einheiten in Gebrauch (s. Tabelle 1.1).

Zur weiteren Charakterisierung hochfrequenter elektromagnetischer Felder kann manchmal noch die Angabe der *Polarisation* des Feldes, das heißt der Richtung, in der der elektrische Feldanteil schwingt, notwendig sein. Viele Antennentypen können z. B. nur Felder einer bestimmten Polarisationsrichtung empfangen oder aussenden. Für die Informationsübertragung durch elektromagnetische Felder aber auch für ihre biologische Wirkung ist zudem die Art der *Modulation* wichtig. Vom Radio her sind die Bezeichnungen *AM* und *FM* bekannt, die für Amplituden- bzw. Frequenzmodulation stehen. Im ersten Fall erfolgt die Informationsübertragung durch eine dem zu übertragenden Signal proportionale Modulation des Maximalwerts (Amplitude) der elektrischen Feldstärke, im zweiten Fall werden zur Signalübertragung Änderungen der Frequenz der elektromagnetischen Trägerwelle benutzt. Eine weitere Form der Modulation ist die *Pulsmodulation*, bei der die Information durch Änderungen in der zeitlichen Abfolge bzw. der Länge von Funkpulsen erfolgt. Ein einfaches Beispiel hierfür ist das Morse. Beim Mobilfunk gibt es etwas Ähnliches. Hier wird die Information in einzelnen Paketen übertragen, die nacheinander ausgesandt werden. Der Modulation, mit der die eigentliche Informationsübertragung erfolgt, ist dadurch eine zusätzliche Pulsstruktur überlagert.

Bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern sind zwei Eigenschaften bemerkenswert:

Hochfrequente elektromagnetische Felder können durch Bleche, Folien oder Netze aus elektrisch leitfähigem Material, vor allem Metalle, relativ leicht abgeschirmt werden.

Hochfrequente elektromagnetische Felder erzeugen in elektrisch leitfähigem Material (Metalle, organisches Gewebe) Wärme. Im unteren Hochfrequenzbereich (bis etwa 1 MHz) sind die Ursache hierfür die in dem Material erzeugten elektrische Ströme und der elektrische Widerstand des Materials. Bei höheren Frequenzen wird der so genannte „thermische Effekt“ in biologischem Gewebe durch Absorption der Strahlung, vor allem durch Wassermoleküle, hervorgerufen. Bei hohen Intensitäten kann dieser Effekt in Gewebe mit einem hohen Wassergehalt zu einer starken Erwärmung führen. Dies wird im Mikrowellenkochgerät ausgenutzt. Zu hohe Er-

wärmungen können zu Verbrennungsschäden im Gewebe oder zur thermischen Überlastung des Organismus führen. Die Ergebnisse zahlreicher wissenschaftlicher Versuche zeigen jedoch, dass auch Felder, die so schwach sind, dass eine messbare Erhöhung der Temperatur im Gewebe ausgeschlossen werden kann, biologisch wirksam und wahrscheinlich auch gesundheitsschädlich sind. Diese Wirkungen können bisher wissenschaftlich noch nicht schlüssig erklärt werden.

### 5.1.3 Elektromagnetisches Spektrum

Der Gesamtbereich aller elektromagnetischen Felder mit unterschiedlichen Frequenzen wird als elektromagnetisches Spektrum bezeichnet. Das elektromagnetische Spektrum beginnt bei den so genannten statischen Feldern. Zu diesen Feldern mit der Frequenz 0 Hz zählt auch das Erdmagnetfeld, da es bis auf kleine 24-Stunden-Schwankungen und langfristige Änderungen über hunderte von Jahren praktisch konstant ist.

Es schließt sich der *Niederfrequenzbereich* an, der den Bereich von den niedrigsten Frequenzen bis zur Frequenz 30 kHz umfasst. Zu den niederfrequenten Feldern gehören u. a. die Felder an elektrifizierten Eisenbahnstrecken (Frequenz 16,7 Hz) und die Felder um elektrische Leitungen, Geräte und Maschinen (in Europa 50 Hz, in Nordamerika 60 Hz, sowie so genannte Oberwellen, das heißt Felder mit ganzzahligen Vielfachen dieser Grundfrequenzen). Felder mit Frequenzen im Bereich 10 bis 30 kHz werden von einigen Marinefunkanlagen abgestrahlt.

Oberhalb von 30 kHz bis 300 GHz erstreckt sich der *Hochfrequenzbereich*, der insbesondere zur Nachrichtenübertragung und zur Ortung (Radar) aber auch zur Materialbearbeitung und -prüfung genutzt wird. Bis 300 MHz werden die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitenden Felder auch als Radiowellen, darüber als Mikrowellen bezeichnet.

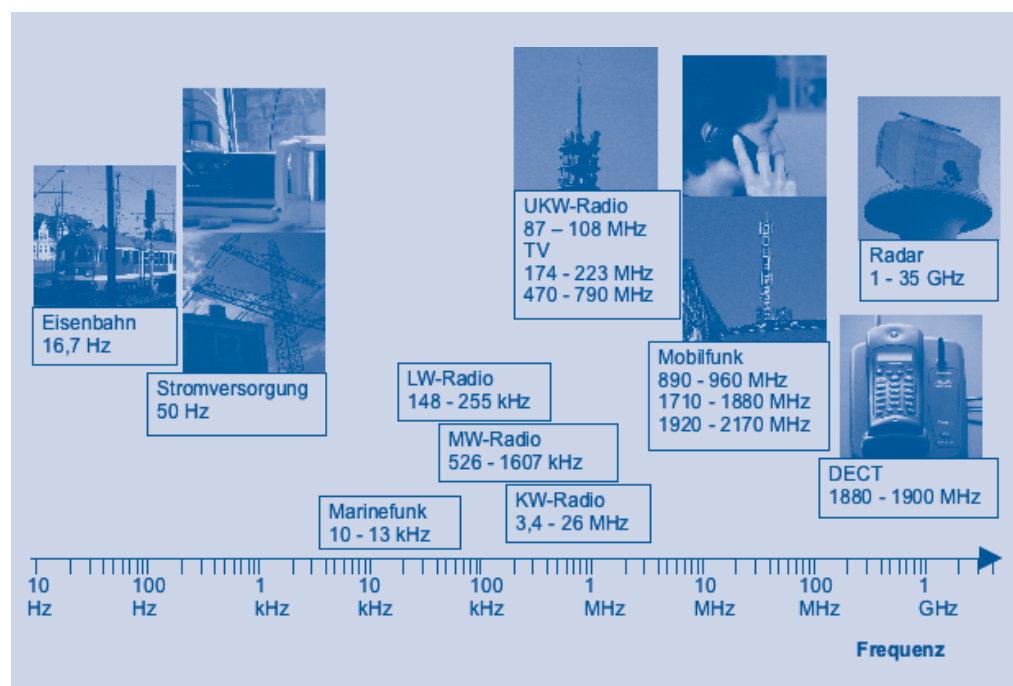
Mit weiter steigenden Frequenzen schließt sich die Infrarotstrahlung an, gefolgt von dem engen Bereich des sichtbaren Lichts.

Alle diese Wellen und Strahlen werden als *nicht-ionisierende Strahlung* bezeichnet, da sie nicht in der Lage sind, Atome oder Moleküle zu ionisie-

ren, indem sie aus diesen ein Elektron heraus-schlagen. Erst mit den ultravioletten Strahlen beginnt der Bereich der ionisierenden Strahlung. Dazu gehören auch die Röntgenstrahlung, die beim radioaktiven Zerfall entstehenden Gammastrahlen und die kosmische Höhenstrahlung.

Das elektromagnetische Spektrum mit einigen beispielhaften Quellen elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder ist in Abbildung 1.1 für den Bereich zwischen 10 Hz und einigen GHz dargestellt.

Abbildung 1.1: Elektromagnetisches Spektrum mit ausgewählten Beispielen für seine technische Nutzung



## 5.2 Quellen elektromagnetischer Felder

Die Tabellen 2.1 und 2.2 geben einen Überblick über die Hauptquellen niederfrequenter elektrischer und magnetischer bzw. hochfrequenter elektromagnetischer Felder bei verschiedenen Frequenzen. Aufgeführt sind jeweils auch besondere Merkmale dieser Felder, soweit sie ggf. neben der Frequenz und der Feldstärke bzw. der magnetischen Flussdichte bei der Bewertung möglicher Risiken zu berücksichtigen sind. In der jeweils letzten Spalte ist zudem eine Expositions-klassifizierung für die technogenen Felder angegeben, wobei die Buchstaben und Zahlen die folgende Bedeutung haben:

Exponierte Bevölkerungsgruppen:

- A Arbeitsplatzexposition
- B Exposition der Bevölkerung

Größe der Expositionsräume:

- 1 Exposition nur in unmittelbarer Umgebung der Feldquelle (Einwirkradius < 3 m)
- 2 großflächige Expositionen in der Umgebung der Quelle
- 3 flächendeckende Expositionen im Siedlungsbereich

Expositionsdauer:

- D Dauerexpositionen möglich
- K in der Regel nur kurzzeitige Expositionen

Im Hinblick auf den vorsorgenden Gesundheits- und Umweltschutz verdienen vor allem solche Quellen Beachtung, die zu sehr hohen Expositionen oder zu Dauerexpositionen großer Teile der Bevölkerung bzw. großer Zahlen von Beschäftigten führen können.

### 5.2.1 Quellen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

Die Hauptquellen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder sind in Tabelle 2.1 aufgeführt. Unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Immissionsschutzes sind vor allem Stromversorgungsanlagen, insbesondere Hoch- und Mittelspannungsfreileitungen, sowie elektrische Bahnanlagen einschließlich ihrer Versorgungsleitungen problematisch, wenn sie zu großflächigen Dauerimmissionen in Wohngebieten führen. Weitere Quellen für Dauerexpositionen sind elektrische Hausanschluss- und Versorgungsleitungen, Transformatorstationen in Häusern, Dachständerleitungen sowie elektrische Nachspeicherheizungen, die relativ hohe Dauerexpositionen in Teilbereichen der betroffenen Häuser verursachen können. Sehr hohen Feldstärken, oft über den gesamten Arbeitstag, sind die Beschäftigten an vielen industriellen Anlagen und Maschinen, wie Umspannstationen und Elektroschweißgeräte, ausgesetzt. Viele handgehaltene elektrische (Klein-) Geräte (Haushaltsgeräte, elektrische Werkzeuge, Geräte zur Körperpflege) sind aufgrund ihrer leichten Bauweise von starken magnetischen Streufeldern umgeben, die aber nur während der Nutzungszeit zu erhöhten Expositionen führen.

Abbildung 2.1 zeigt die Verteilung des Magnetfeldes um eine Hochspannungsleitung. Das Magnetfeld ist im Bereich der Leiterseile am stärksten ( $> 100 \mu\text{T}$ ) und nimmt mit dem Abstand ab. Aufgrund der vorliegenden wissenschaftlichen Befunde, sind Dauerexpositionen in Magnetfeldern von mehr als  $0,1 \mu\text{T}$  problematisch. Bei der in Abbildung 2.1 dargestellten Hochspannungsleitung reicht der Bereich, in dem dieser Wert überschritten wird, bis zu einem Abstand von mehr als 50 m von der Mitte der Leitungstrasse.

An Hochspannungsleitungen, die anders gebaut sind und/oder höhere Ströme führen, kann der kritische Korridor entlang einer Hochspannungsleitung bis zu 400 m breit sein.

In Abbildung 2.2 sind die Ergebnisse einer Messung dargestellt, bei der die Versuchsperson einen ganzen Tag lang ein Personendosimeter am Körper trug. Die Versuchsperson wohnte in einem Siedlungsgebiet, durch das eine 110 kV-Freileitung verlief. Deutlich zu erkennen sind die erhöhten Expositionen während des Aufenthalts in der Wohnung. Der stufenförmige Anstieg der Messwerte am Abend und während der Nacht ist darauf zurückzuführen, dass über die 110 kV-Leitung Wohngebiete mit vielen elektrischen Speicherheizungen versorgt und diese zu bestimmten Zeiten mit Ladestrom gespeist wurden. Höhere Ladeströme erzeugen stärkere Magnetfelder. Die kurzzeitigen Spitzen wurden aufgezeichnet, wenn sich die Versuchsperson einem elektrischen Gerät (z. B. Kopiergerät während der Arbeitszeit) genähert oder ein Gerät eingeschaltet hat.

Tabelle 2.1: Quellen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder Expositionsklassifizierung

- Expositionsklassifizierung:
- A Arbeitsplatzexposition
  - B Exposition der Bevölkerung
  - 1 Exposition nur in unmittelbarer Umgebung der Feldquelle (Einwirkradius < 3 m)
  - 2 großflächige Exposition in der Umgebung der Quelle
  - 3 flächendeckende Exposition im Siedlungsbereich
- D Dauerexposition möglich
  - K in der Regel nur kurzzeitige Exposition

Frequenz	Quellen	besondere Merkmale	Expos. Klass.
<b>Natürliche Felder</b>			
0 Hz	Natürliches Erdmagnetfeld	Natürliches Erdmagnetfeld abhängig von der geographischen Breite und dem geologischen Untergrund; zeitliche Variation durch die Erdrotation; Störungen durch den Sonnenwind	
0 Hz	Elektrostatisches Schönwetterfeld	abhängig von der Jahreszeit und der Wetterlage; Störungen durch Gewitter	
0 Hz bis 30 kHz	natürliche Atmosferics/natürliche Schumann-Resonanzen in der Erdatmosphäre	abhängig von der weltweiten Gewitteraktivität	
<b>Technogene Felder</b>			
0 Hz	Permanentmagnete		A1K
0 Hz	elektrostatische Aufladung	kurzzeitige Entladung	B1K
0 Hz	viele Stadt-, Straßen- und U-Bahnen; Magnetschwebbahn	keine wirklichen Gleichfelder, da gleichgerichteter Wechselstrom	A/B2D
0 Hz	Anlagen und Maschinen in der Industrie (Elektrolyseanlagen, Lichtbogen- und Plasma-Schmelzöfen, Hochleistungs-Gleichstrommotoren, Hubmagnete)	i.d.R. keine wirklichen Gleichfelder, da gleichgerichteter Wechselstrom verwendet wird; z. T. gepulst	A1–2D
0 Hz	Anlagen und Geräte in Forschungseinrichtungen (Teilchenbeschleuniger, Kernfusion, magnetische Energiespeicher)	sehr hohe Magnetfelder, z. T. gepulst	A1–2K
0 Hz	Anlagen und Geräte in medizinischen Einrichtungen (Magnetresonanztomographie)	z. T. sehr hohe Magnetfelder	A/(B)1K

Frequenz	Quellen	besondere Merkmale	Expos. Klass.
16,7 Hz	viele europäische Eisenbahnen (rollendes Material, Kraftwerke, Umspannanlagen, Versorgungsleitungen, Einspeiseleitungen, Oberleitungen, Schienen)	starke Variationen der Magnetfelder in Abhängigkeit vom Betrieb auf der jeweiligen Strecke	A/B2D
50 Hz bzw. 60 Hz	Stromversorgungsanlagen in Europa, Afrika und Asien (50 Hz) bzw. Nordamerika (60 Hz) (Kraftwerke, Umspannanlagen, Transformatoren, Freileitungen und Kabel auf der Höchst-, Hoch-, Mittel- und Niederspannungsebene)	auf den unteren Spannungsebene z. T. starke Schwankungen der Magnetfelder durch zeitliche Lastschwankungen; Oberwellen (150, 250, 350 ... Hz) durch nichtlineare Verbraucher; Transienten durch Entladungen und kurzzeitige Lastspitzen	A/B1–3D
50 Hz bzw. 60 Hz	elektrische Anlagen, Maschinen und Geräte (Elektroinstallationen, Elektrokleingeräte zur Wärmeerzeugung oder mit Motoren und Transformatoren, Induktionsöfen, Elektroheizungen)	Oberwellen (150, 250, 350 .. Hz) durch nichtlineare Verbraucher; Transienten durch Entladungen und kurzzeitige Lastspitzen	B1–3D
50 Hz bis 3 MHz	elektrische Anlagen und Maschinen in der Industrie (Schweißmaschinen und -geräte, Schmelzöfen, Gießereiöfen, Induktionsöfen, Funkenerosionsmaschinen, Pressen, Stanzen)	Oberwellen (150, 250, 350 .. Hz) durch nichtlineare Verbraucher; Transienten durch Entladungen und kurzzeitige Lastspitzen; z. T. Frequenzgemische	A1–2D
50 Hz bis 1 GHz	elektrische Anlagen, Maschinen und Geräte an Büroarbeitsplätzen (Computer, Computerbildschirme, Computerperipherie)	Frequenzgemische	A1D
16 Hz bis 12,5 kHz	Anlagen für Diebstahlsicherung (Einzelhandel, Bibliotheken) und Zugangskontrolle (Ausweis- und Fahrkartenkontrolle, Metalldetektoren)	je nach Bauform unterschiedlich starke Felder; oft hohe Felder in Kinderkopfhöhe	A/B1D

Abbildung 2.1: Magnetfeld um eine 110 kV-Leitung

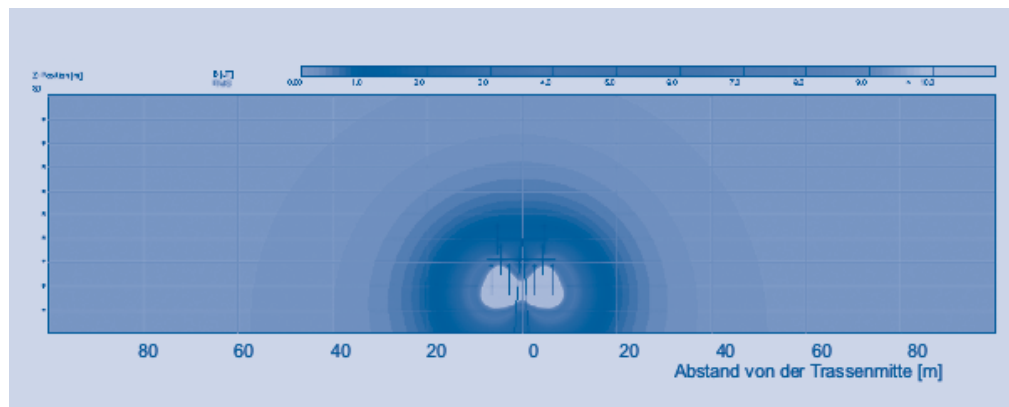


Abbildung 2.2: Exposition einer Person im Verlaufe eines Tages (Beginn der Messung mit einem Personendosimeter um 8:00 Uhr morgens)



Die Zeitabschnitte, an denen sich die Versuchsperson in bestimmten Bereichen aufhielt sind farblich gekennzeichnet.

### 5.2.2 Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Felder

In Tabelle 2.2 sind die Hauptquellen hochfrequenter elektromagnetischer Felder zusammengestellt. Auch hier sollte das Hauptaugenmerk Quellen gelten, die zu sehr hohen Expositionen oder Dauerexpositionen der Bevölkerung bzw. großer Zahlen von Beschäftigten führen können.

Sehr hohe Expositionen treten vor allem bei industriellen Anlagen, wie Induktionsöfen und Plastischweißanlagen, auf. Die Hauptbetroffenen sind die an den Anlagen Beschäftigten. Das gilt auch für Radaranlagen insbesondere an Wasser-

straßen und auf Wasserfahrzeugen, die beim Personal in Schleusenanlagen und auf den Fahrzeugen zu hohen Expositionen führen können. Die zunehmende Verbreitung funkgestützter Warensicherungs- und Logistiksysteme wird auch beim im Handel beschäftigten Personal zu höheren Expositionen führen.

Dauerexpositionen großer Bevölkerungsgruppen werden vor allem durch Mobilfunkanlagen in der Nachbarschaft, Basisstationen schnurloser DECT-Telefone in der eigenen oder einer Nachbarwohnung, Radio- und Fernsehsender sowie Anlagen für andere Funkdienste verursacht. Besondere Beachtung verdienen neuere technologische Ent-

wicklungen, die dazu führen, dass immer mehr Sender körpfernah betrieben werden (s. z. B. Mobilfunk, Wireless LAN, Bluetooth). Die Sendeleistungen sind bei diesen Technologien zwar gering, aber der geringe Abstand zum Körper und vor allem die Vielzahl der Quellen können zu erhöhten Expositionen führen.

Abbildung 2.3 zeigt das elektromagnetische Feld in der Umgebung einer Mobilfunkantenne. Die höchsten Immissionen ergeben sich im Hauptstrahl, der meist wenige Grad gegen die Horizontale nach unten geneigt ist. Es wird deutlich, dass nicht unbedingt die Bewohner der Häuser in unmittelbarer Nähe der Anlage den höchsten Intensitäten ausgesetzt sind, sondern dass, abhängig

vom Höhenunterschied zwischen Sendeantenne und Immissionsort sowie dem vertikalen Abstrahlwinkel, auch Menschen in weiter entfernten Häusern höher exponiert sein können. Innerhalb der Häuser sind die Immissionen in der Regel deutlich niedriger als im Freien, da die Mobilfunkstrahlung von vielen Baumaterialien relativ stark reflektiert oder absorbiert wird. Der Abschirmeffekt von Wänden wird in Abbildung 2.4 deutlich. Dort sind die Ergebnisse von Immissionsmessungen in einer Wohnung dargestellt. Die höchsten Immissionen treten in den Zimmern auf, die Fenster in Richtung der Mobilfunkanlage haben. In den hinteren Räumen sind die Immissionen aufgrund der zusätzlichen Abschirmwirkung der Zwischenwände deutlich niedriger.

**Tabelle 2.2: Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Felder**

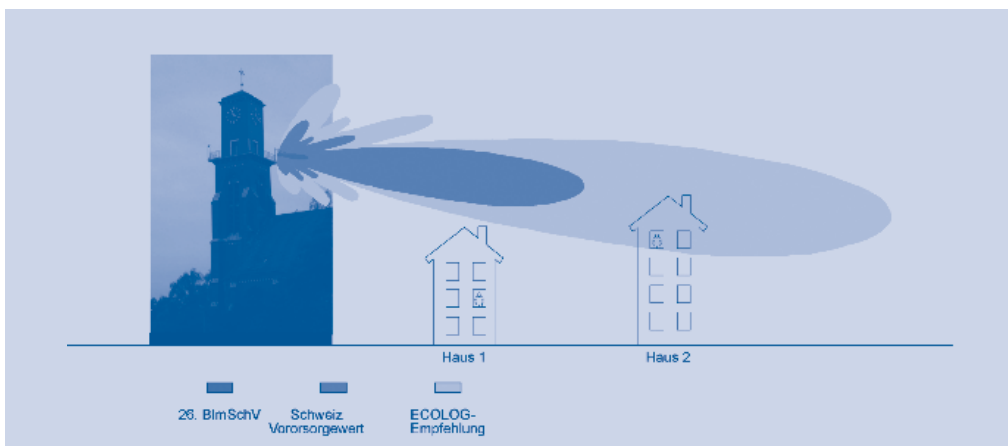
- |                                                                   |                                           |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Expositionsklassifizierung:                                       | D Dauerexposition möglich                 |
| A Arbeitsplatzexposition                                          | K in der Regel nur kurzzeitige Exposition |
| B Exposition der Bevölkerung                                      |                                           |
| 1 Exposition nur in unmittelbarer Umgebung der Feldquelle (< 3 m) |                                           |
| 2 großflächige Exposition in der Umgebung der Quelle              |                                           |
| 3 flächendeckende Exposition im Siedlungsbereich                  |                                           |

Frequenz	Quellen	besondere Merkmale	Expos. Klass.
<b>Natürliche Felder</b>			
30 kHz bis 300 GHz	Wärmestrahlung der Erde	sehr geringe Intensität	
30 kHz bis 300 GHz	Wärmestrahlung von Organismen	sehr geringe Intensität	
<b>Technogene Felder</b>			
122,5 MHz	Zeitzeichensender		B2D
148,5 bis 255 kHz	Radiosender, Langwelle	wenige sehr starke Sender, Amplitudenmodulation	B2D
526,5 kHz bis 1,61 MHz	Radiosender, Mittelwelle	wenige sehr starke Sender, Amplitudenmodulation	B2D
3,4 bis 26 MHz	Radiosender, Kurzwelle	Amplitudenmodulation	B2D
13 bis 41 MHz	Hochfrequenzschweißgeräte in der Industrie	hohe Expositionen	A1D
27 MHz	Geräte für Kurzwellendiathermie	höhere Expositionen des Bedienungspersonal möglich	A1D
42 MHz	Magnetresonanztomographie		A1D
47 bis 68 MHz	Fernsehsender, Band I	Frequenzmodulation; z.T. gepulst	B2D

Frequenz	Quellen	besondere Merkmale	Expos. Klass.
bis 100 MHz	Induktionsöfen in der Industrie	sehr starke Felder	A1D
87,5 bis 108 MHz	Radiosender, Ultrakurzwellen	Frequenzmodulation	B2D
200 kHz bis 162 MHz	See- und Binnenwasserfunk		B2D
174 bis 223 MHz	Fernsehsender, Band III (VHF)	Frequenzmodulation; z.T. gepulst	B2D
34 bis 470 MHz	Behördenfunk, Betriebsfunk, (mehrere Frequenzfenster)		B2D
434 MHz	Dezimeterwellendiathermie		A1D
467 bis 468 MHz	Zugfunk		B2D
470 bis 790 MHz	Fernsehsender, Band IV/V (UHF)	Frequenzmodulation; z.T. gepulst	B2D
864 bis 887 MHz	Schnurlostelefone CT2, CT1+	Exposition nur während des Telefonats	B1K
380 bis 920 MHz	Bündelfunk TETRA	gepulst	B2D
890 bis 960 MHz	GSM-Mobilfunk D-Netze	Abstrahlung der Telefone niederfrequent gepulst (217 Hz), Dauerexposition durch Basisstationen	B3D
955 bis 974 MHz	GSM-R-Mobilfunk (DB)	Abstrahlung der Telefone niederfrequent gepulst (217 Hz), Dauerexposition durch Basisstationen	B3D
1,25 bis 1,35 GHz	Radar, Luftraumüberwachung	hohe Exposition im Hauptstrahl möglich, gepulst	B2D
200 kHz bis 1,8 GHz	Flugfunk (mehrere Frequenzfenster)		B2D
1,71 bis 1,88 GHz	GSM-Mobilfunk E-Netze	Abstrahlung insbesondere der Telefone niederfrequent gepulst (217 Hz), Dauerexposition durch Basisstationen	B3D
1,88 bis 1,90 GHz	schnurlose Telefone (DECT)	Dauerexposition durch Basisstationen, gepulst	B2D
1,92 bis 2,17 GHz	Mobilfunk UMTS	Dauerexposition durch Basisstationen	B3D
3,5 bis 1300 MHz	Amateurfunk (mehrere Frequenzfenster)	höhere Expositionen in der Nachbarschaft möglich	B2D
2,45 GHz	Mikrowellenkochgeräte	u. U. hohe Leckstrahlung bei defekten Dichtungen	B1K
2,45 GHz	Mikrowellenerwärmung in Industrie, Landwirtschaft und Gesundheitswesen		A1D
2,45 GHz	Mikrowellendiathermie		A1D
2,45 GHz	Bluetooth		A/B1D
2,40 bis 2,48 GHz	Wireless LAN	gepulst	A/B1D
2,81 bis 2,89 GHz	Radar, Flughafen, ziv.	hohe Exposition im Hauptstrahl möglich, gepulst	A/B3D
bis 4 GHz	Computer (Taktfrequenz)		A/B1D
5,15 bis 5,73 GHz	Wireless LAN, Hiperlan		A/B1D

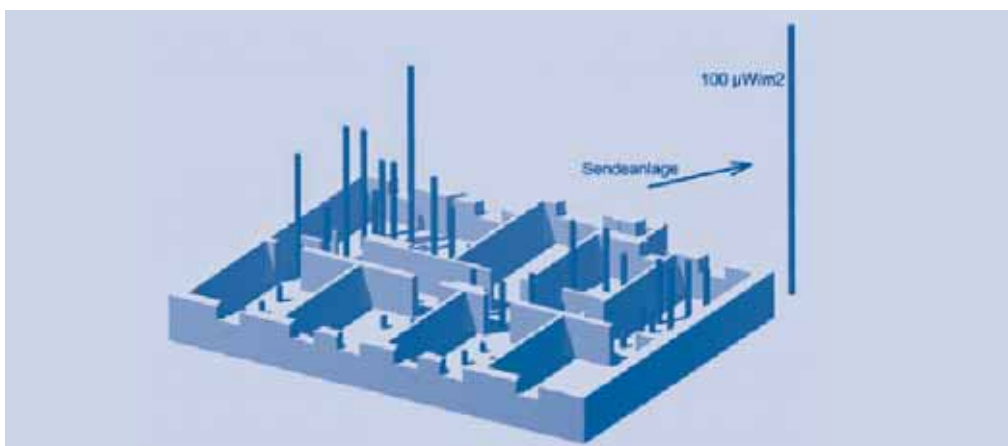
Frequenz	Quellen	besondere Merkmale	Expos. Klass.
3,02 bis 9,44 GHz	Radar, Schiffe (mehrere Frequenzfenster)	hohe Exposition im Hauptstrahl möglich, gepulst	A2D
35 kHz bis 10 GHz	Diebstahlsicherungsanlagen (mehrere Frequenzfenster)	z. T. sehr starke Felder im Durchgangsbereich	A/B1D
1 bis 12 GHz	Radar, Militär (mehrere Frequenzfenster)	hohe Exposition im Hauptstrahl möglich, gepulst	A2D
8,83 bis 35,2 GHz	Radar, Wasserstraßenüberwachung	hohe Exposition im Hauptstrahl möglich	A2D
4 bis 30 GHz	Satellitenfunk	i.d.R. nur geringe Expositionen	B2D
0,4 bis 40 GHz	Richtfunk (oberhalb 15 GHz nur für kurze Distanzen)	i.d.R. nur geringe Expositionen	B2D
9 kHz bis 246 GHz	industrielle, medizinische und wissenschaftliche Anwendungen (mehrere Frequenzfenster)		A1D

Abbildung 2.3: Elektromagnetische Immissionen in der Umgebung einer Mobilfunkanlage



Die Bereiche, in denen bestimmte Grenz- und Vorsorgewerte (s. 5.4) überschritten werden, sind farblich markiert.

Abbildung 2.4: Mobilfunkimmissionen in einer Wohnung

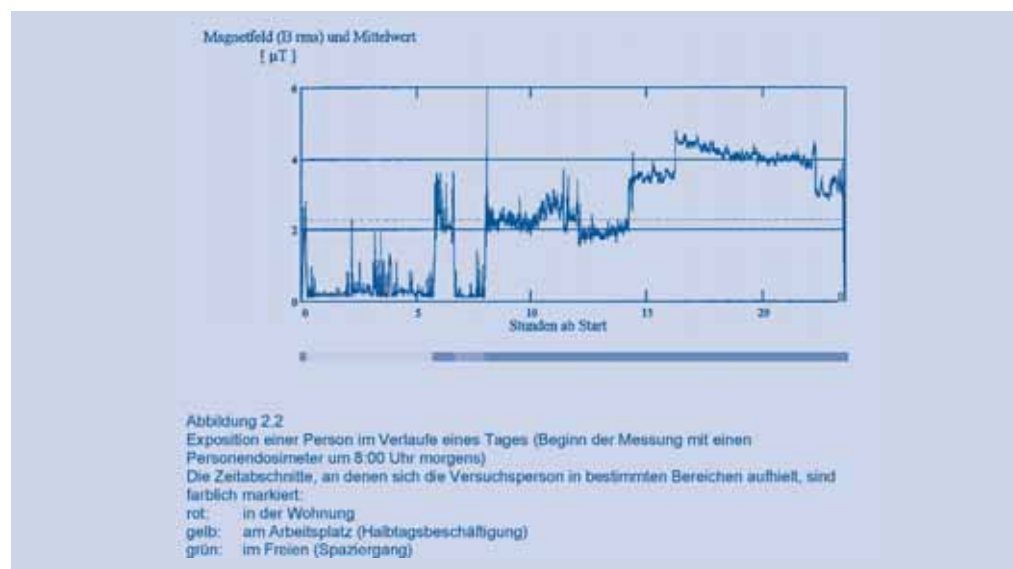


Die Höhen der Säulen geben die Messwerte wieder. Die Richtung zu der Mobilfunkanlage in ca. 300 m Entfernung ist eingezeichnet.

Mobiltelefone bewirken relativ hohe Expositionen im Kopfbereich, deren Dauer je nach Nutzungsverhalten stark variiert. Die Expositionen durch Handys hängen zum einen von seinen technischen Eigenschaften ab (Sendeleistung, Art der Antenne, Anordnung der Antenne im Gerät, Regelungsverhalten), zum anderen haben auch die Güte der Verbindung zur nächsten Basisstation, Objekte in der Umgebung des Telefonierenden, die Haltung des Handys beim Telefonieren

sowie die Größe und die Gewebeeigenschaften des Kopfes Einfluss auf die in Richtung Kopf abgestrahlte bzw. dort absorbierte Strahlung. Abbildung 2.5 zeigt, dass die Eindringtiefe der Handy-Strahlung bei Kindern deutlich größer ist als bei Erwachsenen. Dies gilt vor allem für die Frequenz 835 MHz, die in etwa den Frequenzen entspricht, mit denen die D-Mobilfunknetze arbeiten. Bei höheren Frequenzen (E-Netze und UMTS) ist der Effekt geringer.

Abbildung 2.5: Eindringtiefe der Handy-Strahlung in das Gehirn bei Erwachsenen und Kindern



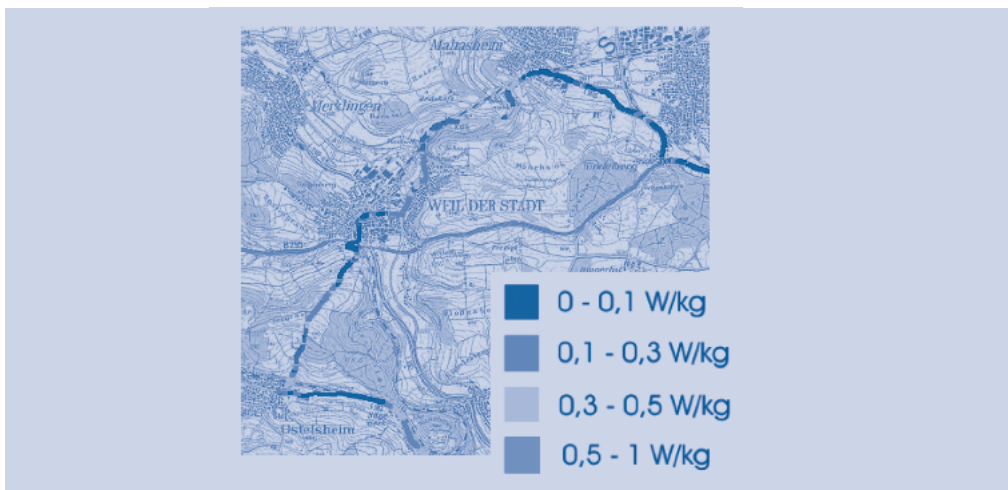
(Ergebnisse von Computersimulationen durch Gandhi et al. 1996)

Abbildung 2.6: Einfluss der Güte der Verbindung auf die Sendeleistung und damit auf die Exposition



Die unterschiedlichen Sendeleistungen/Expositionen im gleichen Raum sind auf weitere Einflussfaktoren (Statur der Versuchsperson, Körperhaltung, Haltung des Handys) zurückzuführen (Untersuchung und Abbildung: Georg et al. 2005)

Abbildung 2.7: Einfluss der Güte der Verbindung auf die im Kopf absorbierte Strahlung während einer Autofahrt



Die größere Dichte von und der geringere Abstand zu Sendeanlagen in Ortschaften führt dort zu geringeren Expositionen im Vergleich mit dem Außenbereich (Untersuchung mit einem Phantomkopf und Bild: Georg et al. 2005)

### 5.2.3 Zukünftige Entwicklungen

Die sich abzeichnenden technologischen Entwicklungen insbesondere im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien werden dazu führen, dass

- die Zahl der Quellen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder (elektrische Geräte und Kleinanlagen) deutlich steigen wird,
- die Sendeleistung von großen Hochfrequenz-Sendern (Digitales Fernsehen, Digitaler Rundfunk) abnehmen, ihre Zahl sowie Zahl und

Dichte kleinerer Sender (Mobilfunk, WLAN-Hotspots) aber erheblich zunehmen wird,

- körpernah betriebene Hochfrequenz-Quellen (Pervasive Computing, Personal Monitoring, Smart Clothes usw.) in großem Umfang in den Alltag eindringen werden.

Diese Entwicklungen werden eine deutliche Zunahme sowohl der flächenbezogenen Niederfrequenz-Expositionen als auch der flächen- und der personenbezogenen Hochfrequenz-Expositionen zur Folge haben.

## 5.3 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 Rasanz der technischen Entwicklung liegen aber praktisch nie ausreichende und wissenschaftlich abgesicherte Informationen vor, die eine umfassende Risikobewertung erlauben. Mit Ausnahme des Arzneimittelbereichs, wo die Unbedenklichkeit einer Substanz vor der Zulassung durch umfangreiche Tierexperimente und klinische Untersuchungen nachgewiesen werden muss, geht

man in fast allen 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 geschaf-

fen, 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, aber auch wirtschaftliche Entscheidungen, zum Beispiel 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 (s. 5.2), 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, fehlt ein im strengen wissenschaftlichen Sinne eindeutiger Nachweis (s. u.) für schwächere Felder, denen die Bevölkerung im Alltag ausgesetzt ist. Die vorliegenden Befunde sind jedoch als deutliche Hinweise auf mögliche Gefahren und hinreichender Anlass für vorsorgende Maßnahmen zum Gesundheits- und Umweltschutz zu werten.

### 5.3.1 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 damit der Dringlichkeit von Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung möglicher Schäden davon abhängig gemacht wird, ob die Wissenschaft in der Lage ist, einen 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 krebsauslösend oder krebsfördernd 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 3.1).

Im Bereich der elektromagnetischen Felder können lediglich die akuten Wirkungen, die im Nie-

derfrequenzbereich 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, die bei einzelnen, auch gesundheitsrelevanten, Effekten aber so stark sind, dass sie Anlass für vorsorgende Maßnahmen zum Gesundheitsschutz sein müssen.

Tabelle 3.1: Vorschläge für eine differenzierte Klassifizierung wissenschaftlicher Evidenzen für biologische Effekte und gesundheitliche Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder

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

### 5.3.2 Biologische Effekte und gesundheitliche Auswirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

#### 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.

#### 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 wurde oder bei der in epidemiologischen Untersuchungen statistisch signifikant erhöhte Risikofaktoren festgestellt wurden. Die Bereiche, in denen die als wissenschaftlich nachgewiesenen 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 ( $100 \mu\text{T}$ ) und der Bereich der Immissionswerte in der Umgebung einer 400-kV-Hochspannungsfreileitung angegeben.

Epidemiologische Untersuchungen, 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  $1 \mu\text{T}$ .

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  $0,2 \mu\text{T}$  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  $0,2 \mu\text{T}$  bzw. kumulative Expositionen von mehr als  $0,2 \mu\text{T}\text{-Jahr}$  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 krebserregende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder ergaben.

Es gibt Hinweise auf eine Zunahme des Risikos für Fehlgeburten bei Magnetfeldexpositionen von mehr als  $0,2 \mu\text{T}$  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  $0,2 \mu\text{T}$  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 dementierender 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.  $0,1 \mu\text{T}$ ) 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 Beeinträchtigung bestimmter kognitiver Funktionen und das Verhalten sowie Hinweise auf Störungen des neuroendokrinen Systems und Beeinflussungen von Gehirnpotenzialen (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 ( $< 1,2 \mu\text{T}\text{-Jahr}$ ) 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  $10 \mu\text{T}$  zu Störungen

gen 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-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

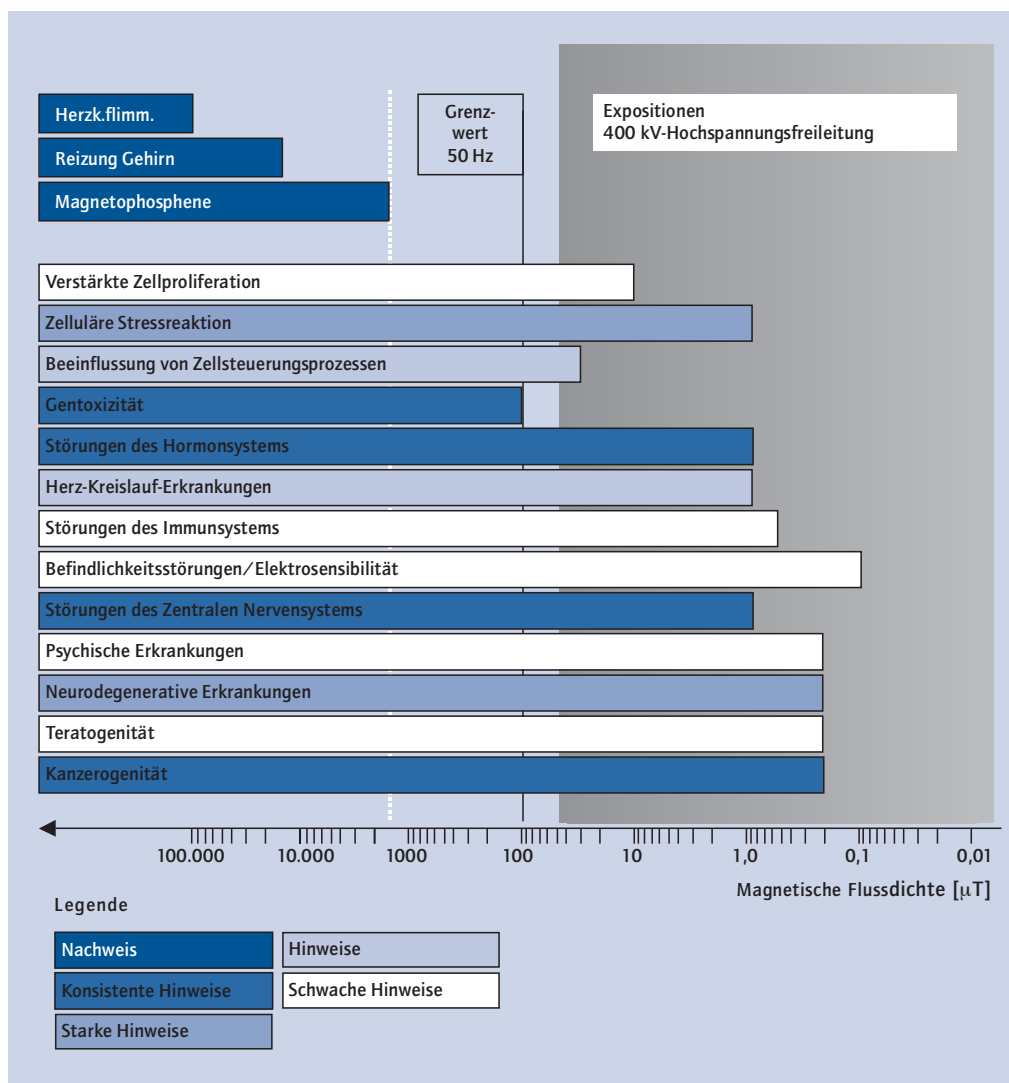
Befunde aus einer großen Zahl experimenteller Untersuchungen stützen jedoch die Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen, nach denen niederfrequente Magnetfelder wahrscheinlich keine auslösende aber eine fördernde Wirkung bei der Entwicklung von Krebserkrankungen haben. Da aufgrund zum einen genetischer 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. 5.4).

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.



### 5.3.3 Biologische Effekte und gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder

#### 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 Strahlungs- 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 mess-

bare 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 ist in Anbetracht der vorliegenden wissenschaftlichen Befunde als überholt anzusehen.

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.

#### 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 wesentlich mehr Menschen betroffen. Hinzu kommt, dass die Basisstationen zu Dauerausstellungen 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 (s. 5.2.2). 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 3.2 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 3.2 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 Untersu-

chungsergebnisse und möglicher Risiken durch den jeweiligen Effekt gekommen ist.

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 3.1). 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 Risiko für Akustikusneurinome bei Personen, die mehr als zehn Jahre ein Mobiltelefon benutzt haben. Die aktuellen Befunde zum Auftreten von Akustikusneurinomen 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 3.2. 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 in anderen Ländern 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.

Tabelle 3.2: Bewertung der wissenschaftlichen Evidenzen durch internationale wissenschaftliche Kommissionen

Institution	IEGMP	HCN	AGNIR	CSTEE	DGS	RSC	SSK	US GAO	ART	HCN	SSI	AFSEE	AGNIR	BUWAL	SSI	HCN	ICNIRP	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.	–	–	○	–	±	±	–	±	±	–	±	±	±	+	±	±	±	±	±	+	±
Krebs-experiment	±	○	○	±	±	±	+	±	±	○	○	±	±	○	±	±	○	±	○	○	–
Befindlichkeitsstör.	○	○	○	±	±	○	±	○	○	○	○	±	±	++	○	–	±	±	±	+	±
Neurodegen. Krankheiten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Zentrales Nervensys.	++	+	○	+	++	+	++	+	+	++	○	++	+	++	○	○	○	±	+	+	±
Herz-Kreislauf	–	○	○	±	±	○	+	○	○	○	○	±	±	±	○	○	○	–	○	○	○
Blut-Hirn-Schranke	–	○	○	±	±	±	+	○	○	○	○	+	+	○	+	±	○	±	±	○	○
Fortpflanzung	–	○	○	○	±	○	○	○	–	○	○	–	±	±	○	○	±	○	–	○	○
Immunsystem	–	○	○	±	–	○	+	○	–	○	○	±	○	±	○	○	○	○	○	○	○
Hormonsystem	○	○	○	–	+	±	–	○	○	○	○	○	○	±	○	○	○	○	○	○	○
Gentoxizität	±	–	○	–	±	±	±	±	○	○	○	±	±	±	±	○	○	±	○	○	○
Zell. Steuerung	±	±	±	±	+	+	+	○	○	○	○	±	±	○	○	○	○	○	○	○	○
Stressproteine	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	±	+	○	+	○	○	○	○	○	○
	■	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																			
	○	Wirkung bei der Bewertung nicht berücksichtigt																			

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 Krebsarten 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 unterschiedlichem 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 Hochfrequenzstrahlung 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, elektro-sensiblen Personen auch sehr empfindlich gegenüber anderen 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 kann aber auch sein, 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

Zellproliferation und 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.

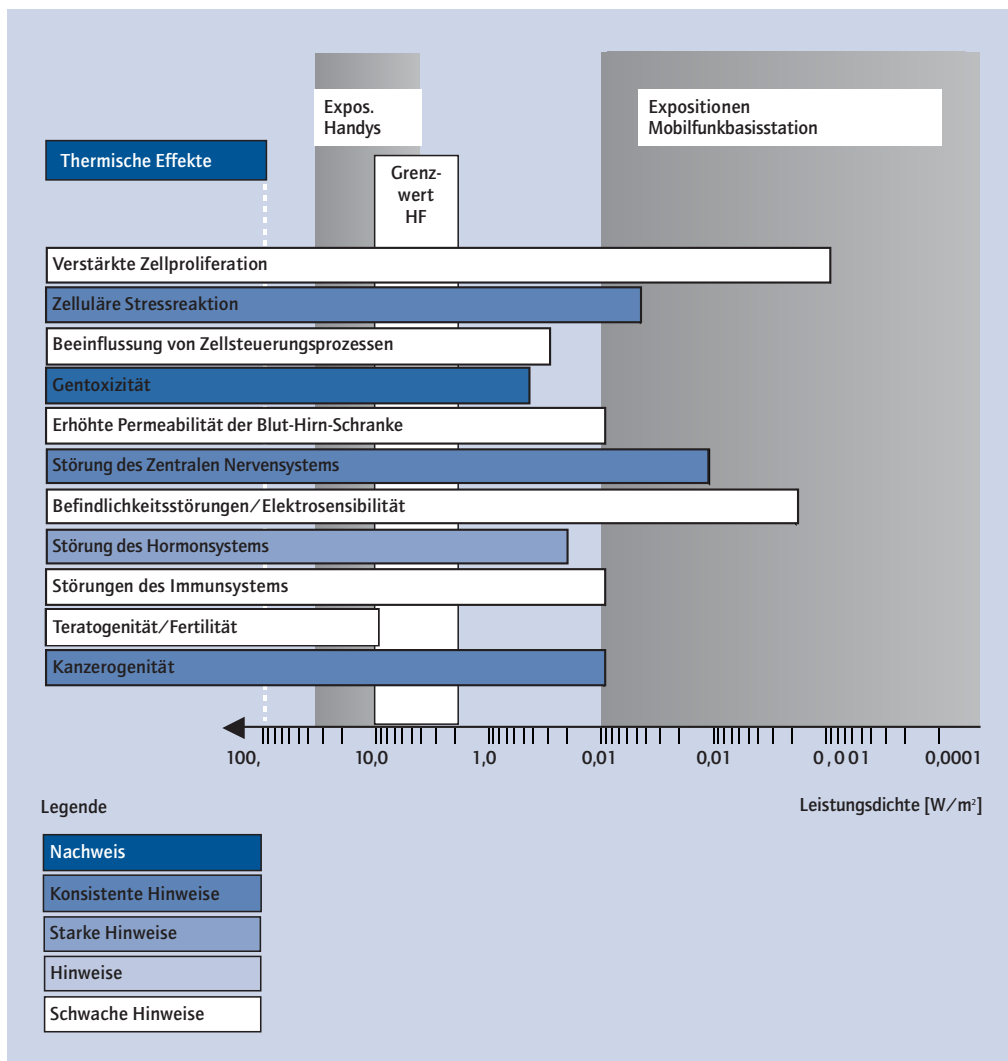
#### Fazit

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.

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.



#### 5.4 Konsequenzen für den vorsorgenden Gesundheits- und Umweltschutz

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, vorsorgeorientierte 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

Gem. 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV) und in der Schweiz gem. Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) sowie vorsorgeorientierte Schweizer Anlagegrenzwerte gem. NISV.

Anwendung	Frequenz	Sicherheitsgrenzwerte		Anlagegrenzwert
		D 26. BImSchV	CH NISV	CH NISV
Eisenbahn	16,7 Hz	300 $\mu$ T	300 $\mu$ T	1,0 $\mu$ T
Stromversorgung	50 Hz	100 $\mu$ T	100 $\mu$ T	1,0 $\mu$ T
Rundfunk (LW, MW)	0,15–1,6 Hz	–	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	41,25–61,0	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 Mobiltelefonen weigern sich jedoch standhaft, ihre Geräte entsprechend zertifizieren zu lassen.

- Ein „gut gemeinter“ Appell einer Strahlenschutzkommission reicht offensichtlich nicht aus, um die Akteure zu einem vorsorgeorientierten 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 vorsorgeorientierte 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 Expositionsklassifizierung 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 Gesamtimmissionen, 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.

## 5.5 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 gentoxische 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 Zählerfernlese-Systeme. Im Auftrag der Fa. Siemens Building Technologies Electronic GmbH, Nordhausen
Osterhoff J., 2004:	Gentoxische 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 <a href="http://www.bfs.de/elektro/papiere/strategiepapier_mf.html">www.bfs.de/elektro/papiere/strategiepapier_mf.html</a> )
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., 2002:	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:

Elektrosmog 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 Elektrosmog? Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf Gesundheit und Umwelt

SSK (Strahlenschutzkommission) 2001:

Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. 13./14. September 2001

## 6. Referenten

Herr Rechtsanwalt [Dr. Tobias Dolde](#) hat nach dem Studium der Rechtswissenschaften und der Referendarzeit über die Gentechnikhaftung in Europa promoviert und ist seit 2002 für die internationale Anwaltskanzlei Lovells in Düsseldorf tätig. Im März 2004 wechselte er den Standort und ist seitdem in Alicante ebenfalls für Lovells in der Beratung zu Haftungsfragen beim Umgang mit der Gentechnik in der Landwirtschaft tätig.

Herr [Prof. Dr. Sylvius Hartwig](#) ist Professor für Sicherheitstechnik an der Universität Wuppertal. Nach dem Studium der Physik an der Universität Freiburg wurde er am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg zum Dr. rer. nat. promoviert. 1972 bis 1974 war er Gastwissenschaftler am Deutschen Elektronensynchrotron (Desy) in Hamburg, von 1974 bis 1982 Projekt- und Gruppenleiter am Batelle-Institut Frankfurt/M., ab 1979 als Leiter einer Gruppe für Risiko-, Sicherheits- und Konsequenzanalysen. Innerhalb dieser Zeit fanden mehrere Arbeitsaufenthalte in den USA und England zur Untersuchung industrieller Risiken statt. Er ist Begründer des Studienschwerpunktes Umweltschutz innerhalb der Sicherheitstechnik an der Universität Wuppertal. Seine Hauptarbeitsgebiete sind die Untersuchung katastrophaler Risiken in Industrie und Transport sowie die Entwicklung von Präventionskonzepten. Bei Bundes- und Landesregierungen ist er ein gefragter Berater in Sicherheitsfragen.

Herr [Carsten Merten](#) absolvierte zunächst eine Ausbildung zum Bankkaufmann, bevor er das Studium der Rechtswissenschaften in Hamburg begann. Nach dem Staatsexamen und der Referendarzeit im Bereich des OLG Celle war er zunächst in der Rechtsabteilung einer Hamburger Großbank tätig und erhielt die Zulassung zur Rechtsanwaltschaft Anfang 2001. Seit Mai 2001 ist Herr Merten wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Institut Recht der Wirtschaft, Arbeitsbereich Zivilrecht mit den Arbeitsschwerpunkten Zivil- und Gesellschaftsrecht der Universität Hamburg.

Herr [Dr. H.-Peter Neitzke](#) hat nach dem Studium der Physik mit den Schwerpunkten Atom-, Molekül- und Biophysik an der Universität Hannover dort ebenfalls promoviert und war danach Hochschulassistent. Es folgten zahlreiche Forschungsaufenthalte in Norwegen, Russland und Usbekistan. Seit 1991 ist er Wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer des ECOLOG-Institutes für sozial-ökologische Forschung und Bildung in Hannover. Schwerpunkte seiner Arbeit sind technogene Risiken, biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder, Umwelt- und Risikokommunikation sowie Nachhaltigkeitsbilanzen und -indikatoren.





Bisher erschienen:

Nr. 1

M. Rehfeld, N. A. Sittaro, E. Wehking  
Psychische Folgeschäden  
Ein Problem in der Unfall- und  
Haftpflichtversicherung

Nr. 2

J. Brollowski, A. Kelb, H. Lemcke, E. Wehking  
E+S Rück Fachtagung  
Haftpflichtschaden und Psyche

Nr. 3

I. Geis, Th. Hoeren, Chr. Nießen, J. Roth  
Neue Medien – Neue Risiken:  
Haftpflichtfragen rund um das Internet

Nr. 4

Chr. Günther  
Gebührenrecht – Legal Expenses:  
Rechtskosten und Schadensersatz im  
deutschen und US-amerikanischen Haftungsrecht

Nr. 5

H.-G. Bollweg, J. Brollowski, H. Lemcke, G. Wagner  
Quo vadis Deliktsrecht?  
Änderungen im Schadenersatzrecht und deren  
Auswirkungen auf Versicherer und Verbraucher

Nr. 6

J.-Ch. Deister, A. Kelb  
Neues Schadenersatzrecht ab 1. August 2002  
Auswirkungen auf die Versicherungsbranche mit  
Schwerpunkt in der Kraftfahrzeughaftpflicht

Nr. 7

Michael Bantje  
EU-Versicherungsvermittlerrichtlinie –  
Umsetzung der Deckungsvorsorgepflicht

Nr. 8

I. Dautert, F. Reddering, M. Schönermark, P. Weidinger  
Fachtagung der E+S Rück  
Arzt- und Krankenhaushaftpflicht zwischen  
hippokratischem Eid und Verrechtlichung der Medizin

Nr. 9

Joachim Berthold  
Der Betrug zum Nachteil von Versicherungen

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck oder Übersetzung mit

Angabe der Quelle gestattet.

Die Urheberrechte hat die E+S Rück.

Der Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung  
der Autoren, die hier ihre Auffassung mitteilen. Diese muss  
nicht mit der Auffassung der E+S Rück übereinstimmen

Erschienen im Juni 2006

*Herausgeber:*

---

E+S Rückversicherung AG

Karl-Wiechert-Allee 50  
30625 Hannover

Telefon 05 11/56 04-0

Telefax 05 11/56 04-11 88

[www.es-rueck.de](http://www.es-rueck.de)

Autoren:

Dr. Tobias Dolde

Prof. Dr. Sylvius Hartwig

Carsten Merten

Dr. H.-Peter Neitzke

Ansprechpartner:

Jörg-Christian Deister

Telefon 05 11/56 04-13 69

[joerg-christian.deister@es-rueck.de](mailto:joerg-christian.deister@es-rueck.de)

oder

Andreas Kelb

Telefon 05 11/56 04-13 00

[andreas.kelb@es-rueck.de](mailto:andreas.kelb@es-rueck.de)