

Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

RICHTLINIEN FÜR DIE BEGRENZUNG DER EXPOSITION DURCH ZEITLICH VERÄNDERLICHE ELEKTRISCHE, MAGNETISCHE UND ELEKTROMAGNETISCHE FELDER (BIS 300 GHz) *

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Tabelle 1.1 Einteilung und Bezeichnung der Frequenz- und Wellenlängenbereiche

Frequenzbereich		Wellenlängenbereich		Bezeichnung
von	bis	von	bis	
0 Hz	10 Hz	über 30.000 km		NF (Niederfrequenz)
10 Hz	300 Hz	30.000 km	3.000 km	
100 Hz	1 kHz	3.000 km	300 km	
1 kHz	10 kHz	300 km	30 km	
10 kHz	100 kHz	30 km	3 km	
100 kHz	1 MHz	3 km	300 m	HF (Hochfrequenz)
1 MHz	10 MHz	300 m	30 m	
10 MHz	100 MHz	30 m	3 m	
100 MHz	1 GHz	3 m	0,3 m	
1 GHz	10 GHz	0,3 m	3 cm	
10 GHz	100 GHz	3 cm	3 mm	
100 GHz	300 GHz	3 mm	1 mm	

Kopplung mit niederfrequenten Magnetfeldern

Die physikalische Wechselwirkung zeitlich veränderlicher Magnetfelder mit dem menschlichen Körper führt zur Induktion von elektrischen Feldern und zu elektrischen Wirbelströmen. Die Stärke des induzierten Feldes und der Stromdichte sind proportional zum Radius der Schleife, der elektrischen Leitfähigkeit des Gewebes sowie der Änderungsgeschwindigkeit und der Größe der magnetischen Flußdichte. Bei gegebener Größe und Frequenz des Magnetfeldes werden die stärksten elektrischen Felder dort induziert, wo die Schleifendimensionen am größten sind. Die genaue Bahn und die Größe des resultierenden Stromes, der in einem beliebigen Teil des Körpers induziert wird, hängt von der elektrischen Leitfähigkeit des Gewebes ab. Der Körper ist nicht elektrisch homogen; allerdings können die induzierten Stromdichten unter Nutzung anatomisch und elektrisch realistischer Körpermodelle und Berechnungsmethoden, die eine hohe anatomische Auflösung haben, berechnet werden

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Absorption von Energie aus elektromagnetischen Feldern

Die Exposition durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder führt normalerweise zu einer vernachlässigbaren Energieabsorption und zu keinem meßbaren Temperaturanstieg im Körper. Hingegen kann die Exposition durch elektromagnetische Felder mit Frequenzen über rund 100 kHz zu einer beträchtlichen Energieabsorption und einem beträchtlichen Temperaturanstieg führen. Im allgemeinen ruft die Exposition durch ein homogenes(ebenes) elektromagnetisches Feld eine sehr ungleichmäßige Energieübertragung und-verteilung im Körper hervor, die durch dosimetrische Messungen und Berechnungen bestimmt werden muß. Hinsichtlich der Energieabsorption durch den menschlichen Körper können elektromagnetische Felder in vier Bereiche eingeteilt werden (Durney et al. 1985): • Frequenzen von rund 100 kHz bis weniger als rund 20 MHz, bei denen die Absorption im Rumpf bei abnehmender Frequenz rapide abnimmt und eine beträchtliche Absorption in Hals und Beinen auftreten kann; • Frequenzen im Bereich von ungefähr 20 MHz bis 300 MHz, bei denen eine relativ hohe Absorption im ganzen Körper auftreten kann; sie können zu noch höheren Werten führen, wenn Teilkörperresonanzen (z. B. Kopf) berücksichtigt werden; • Frequenzen im Bereich von ungefähr 300 MHz bis zu mehreren GHz, bei

denen eine beträchtliche lokale, ungleichmäßige Absorption auftritt; • Frequenzen über rund 10 GHz, bei denen eine Absorption vor allem an der Körperoberfläche auftritt.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

INDIREKTE KOPPLUNGSMECHANISMEN

Es gibt zwei indirekte Kopplungsmechanismen:

- Kontaktströme, die auftreten, wenn der menschliche Körper in Kontakt mit einem Objekt gerät, das ein anderes elektrisches Potential aufweist (d. h., wenn entweder der Körper oder das Objekt durch ein EMF aufgeladen ist);

- Kopplung von EMF an medizinische Geräte, die von Personen getragen werden oder in Personen implantiert wurden (in dieser Publikation nicht berücksichtigt). Die Aufladung eines leitenden Objekts durch EMF bewirkt, daß durch einen menschlichen Körper, der dieses Objekt berührt, elektrische Ströme fließen (Tenforde und Kaune 1987; UNEP/WHO/IRPA 1993). Die Größe und räumliche Verteilung dieser Ströme hängen ab von der Frequenz, der Größe des Objekts, der Größe der Person und der Kontaktfläche; vorübergehende Entladungen - Funken - können auftreten, wenn sich eine Person und ein leitendes Objekt, das einem starken Feld ausgesetzt ist, sehr nahekommen.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

BIOLOGISCHE GRUNDLAGEN FÜR EXPOSITIONSBESCHRÄNKUNGEN (BIS 100 kHz)

Die folgenden Abschnitte geben einen allgemeinen Überblick über die relevante Literatur über die biologischen Wirkungen und Gesundheitsfolgen elektrischer und magnetischer Felder mit Frequenzbereichen bis 100 kHz, bei denen der wichtigste Wechselwirkungsmechanismus in der Induktion von Strömen im Gewebe besteht. Für den Frequenzbereich > 0 bis 1 Hz wird die biologische Grundlage für Basisgrenzwerte und Referenzwerte in ICNIRP (1994) geliefert. Eine eingehendere Prüfung ist an anderer Stelle verfügbar (NRPB 1991, 1993; UNEP/WHO/IRPA 1993; Blank 1995; NAS 1996; Polk und Postow 1996; Ueno 1996).

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Direkte Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder

Epidemiologische Studien. Es gibt zahlreiche Übersichten über epidemiologische Studien zum Krebsrisiko im Zusammenhang mit der Exposition durch Felder mit Netzfrequenzen (NRPB 1992, 1993, 1994; ORAU 1992; Savitz 1993; Heath 1996; Stevens und Davis 1996; Tenforde 1996; NAS 1996). Ähnliche Übersichten wurden zum Risiko beeinträchtigter Reproduktionsgesundheit im Zusammenhang mit der Exposition durch EMF veröffentlicht (Chernoff et al. 1992; Brent et al. 1993; Shaw und Croen 1993; NAS 1996; Tenforde 1996).

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Reproduktionsgesundheit.

Epidemiologische Untersuchungen der Auswirkungen auf Schwangerschaften konnten bisher keinen konsistenten Nachweis beeinträchtigter Reproduktionsgesundheit bei an Bildschirmen arbeitenden Frauen erbringen (Bergqvist 1993; Shaw und Croen 1993; NRPB 1994a; Tenforde 1996). So ergab beispielsweise eine Meta-Analyse kombinierter Untersuchungen, die Schwangere an Bildschirmarbeitsplätzen mit Frauen verglichen, die nicht an Bildschirmgeräten arbeiteten, kein erhöhtes Risiko spontaner Fehlgeburten oder Mißbildungen (Shaw und Croen 1993). Zwei weitere Untersuchungen konzentrierten sich auf tatsächliche Messungen der von Bildschirmgeräten ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder; die eine beschrieb einen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen extrem niederfrequenten Magnetfeldern von Bildschirmgeräten und Fehlgeburten (Lindbohm et al. 1992), während die andere keinen derartigen Zusammenhang feststellen konnte (Schnorr et al. 1991). Eine prospektive Studie auf Basis einer großen Zahl von Fällen mit hoher Teilnehmerzahl und genauer Expositionsermittlung (Bracken et al. 1995) berichtete, daß es weder eine Beziehung zwischen Geburtsgewicht, noch eine zwischen intrauteriner Wachstumsrate und einer Exposition durch extrem niederfrequente Felder gibt.

Negative Folgen waren nicht mit einer stärkeren Exposition verbunden. Zu den Expositionsmessungen gehörte die Strom- führungskapazität von Hochspannungsleitungen außerhalb von Wohnungen, 7-tägige Messun- gen der Exposition von Personen, 24-stündige Messungen in Wohnungen und eigene Schilde- rungen über die Nutzung von Heizdecken, geheizten Wasserbetten und Bildschirmgeräten. Die meisten der derzeit verfügbaren Informationen weisen nicht auf eine Beziehung zwischen beruflicher Exposition durch Bildschirmgeräte und beeinträchtigter Reproduktionsgesundheit hin (NRPB 1994a; Tenforde 1996).

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Krebsuntersuchungen am Wohnort

Die Möglichkeit einer Beziehung zwischen der Exposition durch ELF Magnetfelder und einem erhöhten Krebsrisiko hat zu beträchtlichen Kontroversen geführt. Es sind verschiedene Berichte zu diesem Thema erschienen, seit Wert- heimer und Leeper (1979) einen Zusammenhang zwischen der Kindersterblichkeit an Krebs und der räumlichen Nähe von Wohnungen zu Hochspannungsleitungen herstellten, den die Forscher als Hochstromkonfiguration bezeichneten. Nach der Basishypothese, die aus der ursprünglichen Studie abgeleitet wurde, kann in Wohngebieten der Beitrag der umgebenden 50/60-Hz-Magnetfelder aus externen Quellen wie Hochspannungsleitungen mit einem erhöhten Krebsrisiko bei Kindern in Zusammenhang gebracht werden. Bis heute sind über ein Dutzend Untersuchungen über Krebs bei Kindern und die Expo- sition durch Magnetfelder mit Netzfrequenzen, die von Hochspannungsleitungen in der Nähe von Wohnungen erzeugt werden, vorgelegt worden. In diesen Studien wurde die Exposition durch Magnetfelder aufgrund kurzzeitiger Messungen oder auf Basis der Entfernung zwischen Wohnung und Hochspannungsleitung sowie, in den meisten Fällen, der Leitungskonfiguration geschätzt. Manche Untersuchungen berücksichtigten zusätzlich die Strombelastung der Lei- tung. Die Ergebnisse sind hinsichtlich Leukämie die konsistentesten. Von 13 Studien (Wert- heimer und Leeper 1979; Fulton et al. 1980; Myers et al. -1985; Tomenius 1986; Savitz et al. 1988; Coleman et al. 1989; London et al. 1991; Feychting und Ahlbom 1993; Olsen et al. 1993; Verkasalo et al. 1993; Michaelis et al. 1997; Linet et al. 1997; Tynes und Haldorsen 1997) haben alle außer fünf ein relatives Risiko zwischen 1,5 und 3,0 geschätzt.

Sowohl direkte Magnetfeldmessungen als auch Schätzungen auf Basis benachbarter Hoch- spannungsleitungen sind nur grobe Näherungen für die Exposition, die zu verschiedenen Zeiten auftrat, bevor Fälle von Leukämie diagnostiziert wurden, und es ist nicht klar, welches der beiden Verfahren die gültigeren Schätzungen liefert. Obwohl die Ergebnisse nahelegen, daß Magnetfelder tatsächlich für den Zusammenhang mit dem Leukämierisiko von Bedeutung sind, gibt es Unsicherheiten wegen der kleinen Fallzahlen und wegen einer Korrelation zwischen Magnetfeld und der Nähe zu Hochspannungsleitungen (Feychting et al. 1996). Über die Ätiologie der meisten Krebsformen bei Kindern ist nur wenig bekannt, jedoch hatten verschiedene Versuche zur Kontrolle potentieller Confounder wie sozioökonomischer Status und Luftverschmutzung durch Autoabgase kaum Einfluß auf die Ergebnisse. Studien, die die Verwendung elektrischer Geräte (vor allem von Heizdecken) in Beziehung zu Krebs und anderen Gesundheitsproblemen setzten, erbrachten im allgemeinen negative Ergebnisse (Preston-Martin et al. 1988; Verreault et al. 1990; Vena et al. 1991, 1994; Li et al. 1995). Nur zwei Fall-Kontroll-Studien haben den Gebrauch von Haushaltsgeräten in Beziehung zum Leu- kämierisiko bei Kindern ausgewertet. Die eine wurde in Denver durchgeführt (Savitz et al. 1990) und legte die Vermutung auf einen Zusammenhang zur pränatalen Verwendung von Heizdecken nahe, die andere, in Los Angeles durchgeführt (London et al. 1991), ergab eine Beziehung zwischen Leukämie und Kindern, die elektrische Haartrockner benützten und Schwarzweiß-Fernsehen schauten.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

{J4Link:JUC0068007400740070003A002F002F007700770077002E00690063006E006900720070002E006F00720067002F0063006D0073002F00750070006C006F00610064002F007000750062006C00690063006100740069006F006E0073002F00490043004E0049005200500065006D006600670064006C006700650072002E007000640066}

Die Tatsache, daß die Erkenntnisse über Leukämie, die auf der räumlichen Nähe von Woh- nungen

zu Hochspannungsleitungen beruhen, relativ konsistent sind, veranlaßte das Komitee der US-amerikanischen National Academy of Sciences zu der Schlußfolgerung, daß Kinder, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen wohnen, einem erhöhten Leukämierisiko ausgesetzt zu sein scheinen (NAS 1996). Wegen der kleinen Zahlen sind die Konfidenzintervalle der einzelnen Studien groß; insgesamt sind die Resultate jedoch konsistent, mit einem gesamten relativen Risiko von 1,5 (NAS 1996). Dagegen ergaben Kurzzeitmessungen von Magnetfeldern in einigen der Studien keine Beweise für eine Beziehung zwischen Expositionen durch 50/60-Hz-Felder und dem Risiko von Leukämie oder anderen Krebsarten bei Kindern. Das Komitee war nicht davon überzeugt, daß das erhöhte Risiko durch die Exposition durch Magnetfelder erklärt werde, da es keine erkennbare Beziehung gäbe, wenn die Exposition aufgrund von Magnetfeldmeßwerten geschätzt werde, die sowohl in der Wohnung von Leukämiepatienten als auch in jenen von Kontrollpersonen gewonnen wurden. Es wurde vermutet, daß die Vermengung mit einem bisher unbekannten Risikofaktor für Leukämie bei Kindern in Verbindung mit der Nähe der Wohnung zu Hochspannungsleitungen die Erklärung sein könnte, doch wurden keine möglichen Faktoren genannt. Nachdem das NAS-Komitee ihre Überprüfung abgeschlossen hatte, wurde über die Ergebnisse einer in Norwegen durchgeführten Studie berichtet (Tynes and Haldorsen 1997). Diese Studie umfaßte 500 Fälle aller Krebsformen bei Kindern. Die jeweilige Exposition der einzelnen Individuen wurde durch Berechnung der durch Stromleitungen am Wohnort erzeugten Magnetfeldwerte geschätzt, wobei der Durchschnitt über ein ganzes Jahr gebildet wurde. Eine Beziehung zwischen Leukämierisiko und Magnetfeldern am Wohnort zum Zeitpunkt der Diagnose konnte nicht festgestellt werden. Die Entfernung von der Hochspannungsleitung, die Exposition im ersten Lebensjahr, die Exposition der Mutter zum Zeitpunkt der Empfängnis sowie eine Exposition, die größer war als der Median der Kontrollen ergaben keine Beziehung zu Leukämie, Hirntumoren oder Lymphomen. Allerdings war die Zahl der exponierten Fälle klein.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

[J4Link:JUC0068007400740070003A002F002F00770077002E00690063006E006900720070002E006F00720067002F0063006D0073002F00750070006C006F00610064002F007000750062006C00690063006100740069006F006E0073002F00490043004E0049005200500065006D006600670064006C006700650072002E007000640066}](#)

Auch aus Deutschland wurde nach der Fertigstellung der NAS-Übersicht eine Studie gemeldet (Michaelis et al. 1997). Es handelte sich um eine Fall-Kontroll-Studie über Leukämie bei Kindern auf der Grundlage von 129 Fällen und 328 Kontrollpersonen. Die Expositionsbeurteilung umfaßte über 24 Stunden gehende Messungen des Magnetfeldes im Kinderzimmer am Wohnort, in dem das Kind die meiste Zeit vor dem Datum der Diagnose gelebt hatte. Ein erhöhtes relatives Risiko von 3,2 wurde für $> 0,2 \mu\text{T}$ festgestellt. Eine große US-amerikanische Fall-Kontroll-Studie (638 Fälle und 620 Kontrollpersonen), die herausfinden sollte, ob akute lymphoblastische Leukämie bei Kindern mit einer Exposition durch 60-Hz-Magnetfelder in Zusammenhang steht, wurde von Linet et al. (1997) veröffentlicht. Die Magnetfeldexpositionen wurden durch 24-stündige Mittelwert-Messungen im Schlafzimmer und jeweils 30 Sekunden dauernde Messungen in verschiedenen anderen Räumen ermittelt. Die Messungen wurden in Wohnungen vorgenommen, in denen die Kinder 70 % der fünf Jahre vor dem Jahr der Diagnose (bzw. den entsprechenden Zeiträumen für die Kontrollpersonen) gelebt hatten. Die Leitungsklassifizierungen (wire codes) wurden für Fall-Kontroll-Paare, bei denen beide Individuen in den Jahren vor der Diagnose ihren Wohnsitz nicht gewechselt hatten, ermittelt. Es waren insgesamt 416 solcher Paare, die eine Ermittlung ermöglichten. Es gab kein Anzeichen einer Beziehung zwischen den Leitungsparametern und Leukämie. Hinsichtlich der Magnetfeldmessungen sind die Ergebnisse interessanter. Für die Schwelle von $0,2 \mu\text{T}$ (cut off point) ergaben die unangepaßten (unmatched) Analysen und die angepaßten (matched) Analysen ein relatives Risiko von 1,2 bzw. 1,5. Für die Schwelle von $0,3 \mu\text{T}$ wurde ein unangepaßtes, auf 45 Expositionsfällen basierendes, relatives Risiko von 1,7 geschätzt. Daher lassen die Meßergebnisse auf eine positive Beziehung zwischen Magnetfeldern und Leukämierisiko schließen. Diese Studie ist ein bedeutender Beitrag, was ihren Umfang, die Zahl der Subjekte in den höher exponierten Kategorien, den Zeitpunkt der Messungen relativ zum Auftreten der Leukämie (meist binnen 24 Monaten nach der Diagnose), andere Messungen zur Gewinnung von Expositionsdaten und die Qualität der Analyse angeht, die

die Berücksichtigung mehrerer potentieller Confounder ermöglicht. Zu den möglichen Schwächen gehören das Auswahlverfahren für die Kontrollpersonen, die Teilnehmerzahlen sowie die für die statistische Datenanalyse verwendeten Verfahren. Die zur Messung verwendeten Instrumente berücksichtigten weder transiente Felder noch Harmonische höherer Ordnung. Der Umfang der Studie ist so, daß ihre Ergebnisse in Verbindung mit jenen anderer Studien die zuvor festgestellte Beziehung zu den Leitungsparametern beträchtlich schmälern (wenn auch nicht unbedingt entwerten) würden. Im Laufe der Jahre hat sich ferner ein erhebliches Interesse an der Frage entwickelt, ob es eine Beziehung zwischen der Exposition durch Magnetfelder und Hirntumoren bei Kindern gibt, der bei Kindern zweithäufigsten Krebsform. Drei vor kurzem veröffentlichte Studien, die nach der Bestandsaufnahme durch das NAS-Komitee fertiggestellt wurden, konnten eine Beziehung zwischen Hirntumoren bei Kindern und ihrer Exposition durch Magnetfelder nicht bestätigen, gleichgültig, ob Hochspannungsleitungen oder Heizdecken die Quelle waren oder ob die Magnetfelder mittels Berechnungen oder über die Leitungsparameter abgeschätzt wurden (Guénel et al. 1996); Preston-Martin et al. 1996a, b; Tynes and Haldorsen 1997). Es liegen nur spärliche Daten über Krebs bei Erwachsenen und die Exposition durch Magnetfelder in der Wohnung vor (NAS 1996). Die wenigen veröffentlichten Untersuchungen (Wertheimer und Leeper 1979; McDowall 1985; Seversen et al. 1988; Coleman et al. 1989; Schreiber et al. 1993; Feychting und Ahlbom 1994; Li et al. 1996; Verkasalo et al. 1996) kranken in gewisser Hinsicht alle an der geringen Zahl von Expositionsfällen, so daß sich keine Schlußfolgerungen ziehen lassen. Nach Auffassung der ICNIRP sind die Ergebnisse der epidemiologischen Forschung über die Exposition durch EMF und Krebs, einschließlich Leukämie bei Kindern, angesichts fehlender experimenteller Untersuchungen nicht stichhaltig genug, um eine wissenschaftliche Grundlage für die Festsetzung von Expositionsrichtlinien bilden zu können. Diese Einschätzung stimmt auch mit jüngeren Übersichten überein (NRPB 1992, 1994b; NAS 1996, CRP 1997).

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Indirekte Wirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern

Indirekte Wirkungen elektromagnetischer Felder können durch den physikalischen Kontakt (Berühren oder Streifen) zwischen einer Person und einem Objekt, wie einer metallischen Konstruktion im Feld, mit unterschiedlichem elektrischen Potential entstehen. Das Ergebnis eines solchen Kontakts ist der Fluß elektrischer Ladung (Kontaktstrom), die auf dem Objekt oder auf dem Körper der Person akkumuliert worden ist. Im Frequenzbereich bis ungefähr 100 kHz kann der elektrische Stromfluß von einem im Feld befindlichen Gegenstand zum Körper einer Person zu einer Stimulation der Muskeln und/oder der peripheren Nerven führen. Das kann sich mit zunehmender Stromstärke als prickelnde Wahrnehmung, Schmerz durch elektrischen Stromschlag und/oder Verbrennung, Unfähigkeit, den Gegenstand loszulassen, Atemprobleme und - bei sehr hoher Stromdichte - als Herzkammerflimmern äußern (Tenforde und Kaune 1987). Schwellenwerte für diese Wirkungen sind frequenzabhängig, wobei die niedrigste Schwelle bei Frequenzen zwischen 10 und 100 Hz liegt. Die Schwellen für Reaktionen der peripheren Nerven bleiben niedrig für Frequenzen bis zu einigen wenigen kHz. Durch geeignete technische und/oder administrative Kontrollen und bereits durch das Tragen von persönlicher Schutzkleidung kann solchen Problemen vorgebeugt werden. Zu einer Funkenentladung kann es kommen, wenn eine Person in die unmittelbare Nähe eines Gegenstandes mit einem anderen elektrischen Potentials kommt, ohne ihn wirklich zu berühren (Tenforde und Kaune 1987, UNEP/WHO/IRPA 1993). In einer Gruppe von Freiwilligen, die gegenüber dem Boden elektrisch isoliert war, und in der jeder die Fingerspitze in die Nähe eines geerdeten Gegenstands hielt, lag die Schwelle für die Wahrnehmung der Funkenentladung in 10 % der Fälle bei nur 0,6-1,5 kV m⁻¹. Die Schwellen, ab der unter diesen Expositionsbedingungen von Belästigung gesprochen wurde, beträgt ungefähr 2,0-3,5 kV m⁻¹. Starke Kontaktströme können zu Muskelkontraktionen führen. Bei männlichen Freiwilligen betrug die 50-Prozent-Schwelle für das Gefühl, unfähig zu sein, einen geladenen Leiter loszulassen, 9 mA bei 50/60 Hz, 16 mA bei 1 kHz, ungefähr 50 mA bei 10 kHz und ungefähr 130 mA bei 100 kHz (UNEP/WHO/IRPA 1993). Die Schwellenströme für verschiedene indirekte Auswirkungen von Feldern mit Frequenzen bis 100 kHz werden in Tabelle 2 zusammengefaßt (UNEP/WHO/IRPA 1993).

Tabelle 2. Bereiche der Schwellenströme für indirekte Effekte (einschließlich Kinder, Frauen und Männer)

Indirekter Effekt	Schwellenstrom (mA) bei Frequenz:		
	50/60 Hz	1 kHz	100 kHz
Berührungswahrnehmung	0,2-0,4	0,4-0,8	25-40
Schmerz bei Fingerkontakt	0,9-1,8	1,6-3,3	33-55

Richtlinien für die Begrenzung der Exposition durch zeitlich veränderliche elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (bis 300 GHz) · ICNIRP-Richtlinie				65
Schmerzhafter Schock / Loslaß-Schwelle	8-16	12-24	112-224	
Schwerer Schock / Atemprobleme	12-23	21-41	160-320	

Zusammenfassung der biologischen Auswirkungen und epidemiologischen Studien (bis 100 kHz)

Mit der möglichen Ausnahme von Brusttumoren gibt es aus den Laborversuchen nur wenig Beweise dafür, daß sich Magnetfelder mit Netzfrequenzen fördernd auf die Tumorbildung auswirken. Obwohl noch weitere Tierversuche notwendig sind, um die Rolle der möglichen Einwirkungen der ELF-Felder auf in Zellen produzierte Signale und auf eine endokrine Regulierung zu klären - wobei beide die Tumorentwicklung durch Förderung der Proliferation initiierten Zellen beeinflussen könnten -, kann nur darauf geschlossen werden, daß es zur Zeit keinen überzeugenden Beweis für die karzinogene Wirkung dieser Felder gibt, und daß diese Daten nicht als Grundlage für eine Ausarbeitung von Expositionsrichtlinien genutzt werden können. Laborversuche an Zellkulturen und Tieren haben keine begründeten Wirkungen nieder- frequenter Felder erbracht, die für negative Gesundheitsfolgen sprechen, wenn die induzierte Stromdichte 10 mA m⁻² oder weniger beträgt. Bei höheren induzierten Stromdichten (10- 100 mA m⁻²) wurden dementsprechend signifikantere Auswirkungen auf das Gewebe beobachtet, wie z. B. funktionale Veränderungen im Nervensystem und sonstige Gewebebeeinflüsse (Tenforde 1996). Daten über das mit der Exposition durch ELF-Felder verbundene Krebsrisiko bei Personen, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen leben, weisen offenbar auf ein geringfügig größeres Risiko für Kinder hin, an Leukämie zu erkranken, obwohl neuere Untersuchungen die zuvor beobachtete schwache Korrelation in Frage stellen. Die Untersuchungen weisen jedoch nicht auf ein ähnlich erhöhtes Risiko hinsichtlich sonstiger Krebsformen bei Kindern oder Erwachsenen hin. Die Grundlage für die hypothetische Verbindung zwischen Leukämie beim Kind und dem Wohnsitz in unmittelbarer Nähe von Hochspannungsleitungen ist nicht bekannt; bezieht sich der Zusammenhang nicht auf von Hochspannungsleitungen erzeugte elektrische und magnetische ELF-Felder, dann müssen unbekannte Risikofaktoren für Leukämie auf unbestimmte Weise mit Hochspannungsleitungen verbunden sein. Mangels Unterstützung durch Laborversuche reichen die vorliegenden epidemiologischen Daten nicht aus, Expositionsrichtlinien festzulegen.

Von in der Elektrotechnik Tätigen wurde berichtet, daß sie einem erhöhten Risiko der Erkrankung an unterschiedlichen Krebsarten, wie Leukämie, Tumoren des Nervengewebes und -bis zu einem gewissen Ausmaß - Brustkrebs ausgesetzt sind. In den meisten Studien wurden Berufsbezeichnungen verwendet, um die Versuchspersonen entsprechend dem angenommenen Umfang der Magnetfeldexposition einzustufen. Einige neuere Studien haben jedoch feinere, anspruchsvollere Methoden der Expositions- beurteilung angewandt; diese Untersuchungen ließen generell ein erhöhtes Leukämie- oder Hirntumorrisiko vermuten, sie waren allerdings weitgehend inkonsistent hinsichtlich der Krebsart, für die das Risiko erhöht ist. Die vorliegenden Daten sind unzureichend, um eine Grundlage für die Festsetzung von Richtlinien für eine Exposition in

ELF-Feldern zu bilden. Aus einer großen Reihe von epidemiologischen Studien konnte kein eindeutiger Beweis für nachteilige Einflüsse auf die Fortpflanzung abgeleitet werden. Die Messung biologischer Reaktionen in Laborversuchen und bei Freiwilligen haben nur wenige Hinweise darauf gegeben, wie sich niederfrequente Felder in einer Stärke, der Menschen üblicherweise ausgesetzt sind, negativ auf deren Gesundheit auswirken. Eine Stromdichte von 10 mA m⁻² bei Frequenzen bis 1 kHz wurde als Schwelle für eine geringe Beeinflussung der Funktionen des Nervensystems angenommen. Bei Freiwilligen äußerten sich die stimmigsten Auswirkungen der Exposition im Auftreten visueller Phosphene und einer geringfügigen Herabsetzung der Herzfrequenz während oder unmittelbar nach der Exposition durch ELF-Felder, aber es gibt keinen Beweis dafür, daß diese vorübergehenden Effekte mit einer langfristigen Gesundheitsgefährdung verbunden sind. Eine Herabsetzung der nächtlichen pinealen Melatonin synthese wurde bei mehreren Nagetierarten nach einer Exposition durch schwache elektromagnetische ELF-Felder beobachtet, aber bei Menschen, die unter kontrollierten Bedingungen ELF-Feldern ausgesetzt waren, konnten keine konsistenten Effekte ermittelt werden. Untersuchungen mit Expositionen in 60-Hz-Magnetfeldern bis 20 µT haben keine verlässlichen Auswirkungen auf die Melatoninwerte im Blut ergeben.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

BIOLOGISCHE GRUNDLAGE FÜR EINE EXPOSITIONSBEGRENZUNG (100 kHz-300 GHz)

Die folgenden Absätze geben einen allgemeinen Überblick über die im Bereich der biologischen Auswirkungen und potentiellen Gesundheitsgefährdungen durch elektromagnetische Felder mit Frequenzen von 100 kHz bis 300 GHz relevante Literatur. Detailliertere Übersichten können anderen Quellen entnommen werden (NRPB 1991; UNEP/WHO/IRPA 1993; McKinlay et al. 1996; Polk und Postow 1996; Repacholi 1998).

Direkte Wirkungen elektromagnetischer Felder Epidemiologische Studien.

Es wurde nur eine begrenzte Zahl von Untersuchungen über die Auswirkungen von Mikrowellenstrahlung auf die Fortpflanzung und das Krebsrisiko beim Menschen durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Literatur wurde von UNEP/WHO/IRPA (1993) veröffentlicht.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

[{J4Link:JUC0068007400740070003A002F002F007700770077002E00690063006E006900720070002E006F00720067002F0063006D0073002F00750070006C006F00610064002F007000750062006C00690063006100740069006F006E0073002F00490043004E0049005200500065006D006600670064006C006700650072002E007000640066}](#)

Krebsstudien. Es gibt nur wenige Untersuchungen über das Krebsrisiko durch Mikrowellenexposition, und im allgemeinen fehlen quantitative Expositionsdaten. Zwei epidemiologische Studien mit in der Radartechnik Tätigen, die in der Flugzeugindustrie und bei den US-Streitkräften beschäftigt waren, ergaben keinen Beweis für eine erhöhte strahlenbedingte Morbidität und Mortalität (Barron und Baraff 1958; Robinette et al. 1980; UNEP/WHO/IRPA 1993). Lillienfeld et al. (1978) erzielten in einer Untersuchung mit Beschäftigten der amerikanischen Botschaft in Moskau, die einer geringen Mikrowellenstrahlung chronisch ausgesetzt waren, ähnliche Ergebnisse. Selvin et al. (1992) berichteten über keinen Anstieg des Krebsrisikos bei Kindern, die durch einen in der Nähe ihrer Wohnung befindlichen großen Mikrowellensender chronisch exponiert waren. Neuere Untersuchungen konnten keinen signifikanten Anstieg der Tumorbildung im Nervengewebe bei durch Mikrowellen exponierten Arbeitern und Angehörigen des Militärs aufzeigen (Beall et al. 1996; Grayson 1996). Ferner trat bei Benutzern von Mobiltelefonen keine übermäßige Gesamtmortalitätsrate auf (Rothman et al. 1996a, 1996b), aber es ist noch zu früh, um eine Auswirkung über das Auftreten von Krebs oder krebsbedingte Mortalität beobachten zu können. Es gab einen Bericht über ein erhöhtes Krebsrisiko bei Angehörigen des Militärs (Szmigielski et al. 1988), aber es ist schwierig, die Untersuchungsergebnisse zu interpretieren, da weder die Größe der Zielgruppe noch die Expositionswerte genau bekannt sind. In einer späteren Studie fand Szmigielski (1996) erhöhte Leukämie- und Lymphomraten bei durch elektromagnetische Felder belasteten Angehörigen des Militärs, aber die Abschätzung der EMF-Exposition war nicht klar definiert. Einige neuere

Untersuchungen über Bevölkerungsgruppen, die in der Nähe von EMF-Sendern leben, lassen einen lokalen Anstieg von Leukämiefällen vermuten, (Hocking et al. 1996; Dolk et al. 1997a, b), aber die Ergebnisse sind nicht schlüssig. Generell gilt, daß die Ergebnisse der kleinen Zahl veröffentlichter epidemiologischer Studien nur eine begrenzte Information über das Krebsrisiko geben

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Besondere Berücksichtigung gepulster und amplitudenmodulierter Wellenformen

Im Vergleich zur CW-Strahlung sind gepulste Mikrowellenfelder mit derselben durchschnittlichen Rate der Energiedeposition in Geweben im allgemeinen bei der Erzeugung einer biologischen Reaktion wirksamer, insbesondere dann, wenn es sich um eine gut definierte Schwelle handelt, die überschritten werden muß, um die Wirkung auszulösen (ICNIRP 1996). Der "Mikrowellenhöreffekt" ist dafür ein sehr gut bekanntes Beispiel (Frey 1961; Frey und Messenger 1973; Lin 1978): Menschen mit normalem Hörvermögen können pulsmodierte Felder im Frequenzbereich zwischen rund 200 MHz und 6,5 GHz wahrnehmen. Je nach den Modulationscharakteristika des Feldes wurde der Höreindruck verschiedentlich als ein summender, klickender oder knackender Ton beschrieben. Die Mikrowellenhöreffekte wurden einer thermoelastischen Wechselwirkung des auditiven Bereichs des Großhirns mit einer Wahrnehmungsschwelle von ungefähr 100-400 mJ m⁻² für Pulslängen von weniger als 30 µs bei 2,45 GHz zugeschrieben (entspricht einer SA von 4-16 mJ kg⁻¹). Wiederholte und längere Belästigung durch Mikrowellenhöreffekte können belastend oder möglicherweise schädlich wirken. Einige Berichte lassen vermuten, daß die Retina, die Iris und das Hornhautendothel des Primatenauges auf geringe Dosen gepulster Mikrowellenstrahlung empfindlich reagieren (Kues et al. 1985; UNEP/WHO/IRPA 1993). Bei Absorption so geringer Energiemengen wie 26 mJ kg⁻¹ wurde über degenerative Veränderungen in den lichtempfindlichen Zellen der Retina berichtet. Nach Verabreichung von Timololmaleat, das zur Glaukombehandlung verwendet wird, sank die Schwelle für die Netzhautschädigung durch gepulste Felder auf 2,6 mJ kg⁻¹. Allerdings war ein in einem unabhängigen Labor durchgeführter Versuch, diese Ergebnisse für CW-Felder (d. h. nicht gepulste Felder) partiell zu bestätigen, nicht erfolgreich (Kamimura et al. 1994), und es ist daher zur Zeit nicht möglich, die potentiellen Gesundheitsgefährdungen, die ursprünglich von Kues et al. (1985) gefunden wurden, abzuschätzen. Es wurde berichtet, daß die Schreckreaktion bei wachen Mäusen durch die Exposition mit intensiven gepulsten Mikrowellenfeldern unterdrückt wird und Bewegungen des Körpers hervorgerufen werden (NRPB 1991; Sienkiewicz et al. 1993; UNEP/WHO/IRPA 1993). Die für die Energieabsorption im Zwischenhirn spezifische Schwelle, ab welcher Körperbewegungen ausgelöst wurden, betrug 200 J kg⁻¹ bei 10-µs-Pulsen. Der für diese Effekte der gepulsten Mikrowellen verantwortliche Mechanismus muß noch bestimmt werden, aber man nimmt an, daß er mit dem Mikrowellenhöreffekt in Verbindung steht. Die Hörschwellen bei Nagetieren liegen ungefähr eine Größenordnung unter der des Menschen, d. h. 1-2 mJ kg⁻¹ bei Pulslängen von < 30 µs. Von Pulsen dieser Größenordnung wird berichtet, daß sie den Neurotransmitter-Metabolismus und die Konzentration der neuronalen Rezeptoren beeinträchtigen, die bei Streß- und Angstreaktionen in verschiedenen Regionen des Rattenhirns beteiligt sind. Die Frage der nichtthermischen Wechselwirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder konzentrierte sich im wesentlichen auf Berichte über biologische Wirkungen amplitudenmodulierter Felder (AM-Felder) unter in-vitro-Bedingungen bei SAR-Werten, die weit unter denen lagen, die eine meßbare Erwärmung der Gewebe verursachen. Erste Untersuchungen in zwei voneinander unabhängigen Laboratorien ergaben, daß VHF-Felder mit extrem niederfrequenter Amplitudenmodulation (6-20 Hz) zu einer geringen, wenn auch statistisch signifikanten Freisetzung von Ca⁺⁺-Ionen aus der Oberfläche der Hirnzellen des Huhns führten (Bawin et al. 1975; Blackman et al. 1979). Ein späterer Versuch zur Bestätigung dieser Ergebnisse, bei dem dieselbe Art von AM-Feldern verwendet wurde, führte zu keinem Erfolg (Albert et al. 1987). Eine Reihe weiterer Untersuchungen über die Auswirkungen von AM-Feldern auf die Ca⁺⁺-Homöostase haben sowohl positive als auch negative Ergebnisse gebracht. So wurden z. B. Auswirkungen von AM-Feldern auf die Ca⁺⁺-Bindung in Zelloberflächen bei Neuroblastomzellen, Pankreaszellen, Herzwewebe und Hirnzellen von Katzen,

jedoch nicht bei kultivierten Nervenzellen von Ratten, der Skelettmuskulatur von Hühnern oder Hirnzellen von Ratten beobachtet (Postow und Swicord 1996). Es wurde ebenfalls berichtet, daß amplitudenmodulierte Felder die elektrische Aktivität des Gehirns verändern (Bawin et al. 1974), die zytotoxische Aktivität der T-Lymphozyten hemmen (Lyle et al. 1983), die Aktivitäten der nicht-cyclischen AMP-abhängigen Kinase in Lymphozyten herabsetzen (Byus et al. 1984) und eine vorübergehende Zunahme der zytoplasmischen Aktivität der Ornithin-Decarboxylase, einem wichtigen Enzym für die Zellproliferation, bewirken (Byus et al. 1988; Litovitz et al. 1992). Dagegen wurden keine Auswirkungen auf die große Vielfalt anderer Zellsysteme und funktionalen Endpunkte, einschließlich des Lymphozytenabsinkens, der neoplastischen Zelltransformation und verschiedener elektrischer und enzymatischer Eigenschaften von Membranen beobachtet (Postow und Swicord 1996). Von besonderer Bedeutung für die potentiellen karzinogenen Wirkungen der gepulsten Felder ist die Beobachtung von Balcer-Kubiczek und Harrison (1991), daß die neoplastische Transformation in C3H/10T1/2-Zellen, die mit 120 Hz pulsmodulierten 2450-MHz-Mikrowellen ausgesetzt waren, beschleunigt wurde. Der Effekt hing von der Feldstärke ab, trat aber nur auf, wenn ein chemischer Tumor-Promotor, TPA, im Zellkulturmedium vorhanden war. Dieses Ergebnis führt zu der Annahme, daß gepulste Mikrowellen in Verbindung mit einem chemischen Stoff, der die Proliferationsrate transformierter Zellen erhöht, co-carcinogene Auswirkungen haben können. Bis heute gab es keine Versuche, diese Ergebnisse zu bestätigen, und deren Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen bleiben unklar. Die Interpretation verschiedener beobachteter biologischer Wirkungen von elektromagnetischen AM-Feldern wird ferner durch das offensichtliche Vorhandensein von sogenannten Reaktionsfenstern sowohl im Bereich der Leistungsdichte als auch der Frequenzen erschwert. Es gibt keine anerkannten Modelle, die dieses Phänomen, das das traditionelle Konzept einer monotonen Beziehung zwischen der Feldintensität und dem Ausmaß der sich daraus ergebenden biologischen Wirkungen in Frage stellt, zufriedenstellend erklärt. Generell gilt, daß die Literatur über nichtthermische Auswirkungen von elektromagnetischen AM-Feldern so komplex ist, die aufgezeigten Wirkungen so wenig gesichert sind und die Relevanz für die Gesundheit des Menschen so unsicher ist, daß es unmöglich ist, diese Gesamtheit an Daten als Grundlage für die Festsetzung von Grenzwerten für die Exposition des Menschen heranzuziehen.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Indirekte Wirkungen elektromagnetischer Felde

Im Frequenzbereich von ungefähr 100 kHz-110 MHz können entweder durch Berühren eines ungeerdeten metallischen Objekts, das seine Ladung aus einem Feld bezogen hat oder durch Kontakt zwischen einer geladenen Person und einem geerdeten metallischen Objekt Schocks und Verbrennungen auftreten. Es sollte bemerkt werden, daß die obere Grenzfrequenz für den Kontaktstrom (110 MHz) eher durch fehlende Daten über höhere Frequenzen als durch das Ausbleiben von Wirkungen belegt ist. 110 MHz stellt jedoch die obere Frequenzgrenze für den FM-Sendebereich. Die Schwellenströme, die zu biologischen Wirkungen führen, die der Stärke nach von der Wahrnehmung bis hin zum Schmerz reichen, wurde in kontrollierten Versuchen mit Freiwilligen gemessen (Chatterjee et al. 1986; Tenforde und Kaune 1987; Bernhardt 1988); sie sind in Tabelle 3 zusammengefaßt. Generell ergab sich, daß die Schwellenströme, die Wahrnehmung und Schmerz verursachen, über den Frequenzbereich von 100 kHz-1 MHz kaum und im Frequenzbereich bis etwa 110 MHz wahrscheinlich nicht wesentlich variieren. Wie bereits für niedrige Frequenzen erwähnt, gibt es auch bei Feldern höherer Frequenz deutliche Unterschiede in den Empfindlichkeiten von Männern, Frauen und Kindern. Die in Tabelle 3 aufgeführten Daten stellen den Bereich der 50-Prozentwerte für Menschen unterschiedlicher Größe und Empfindlichkeitsstufen gegenüber Kontaktströmen dar.

Tabelle 3. Bereiche der Schwellenströme für indirekte Effekte (einschließlich Kinder, Frauen und Männer)

Indirekter Effekt	Schwellenstrom (mA) bei Frequenz:	
	100 kHz	1 MHz
Berührungswahrnehmung	25-40	25-40

Richtlinien für die Begrenzung der Exposition durch zeitlich veränderliche elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (bis 300 GHz) - ICNIRP-Richtlinie 75

Schmerz bei Fingerkontakt	33-55	28-50
Schmerzhafter Schock / Loslaß-Schwelle	112-224	nicht bestimmt
Schwerer Schock / Atemprobleme	160-320	nicht bestimmt

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

{J4Link:JUC0068007400740070003A002F002F007700770077002E00690063006E006900720070002E006F00720067002F0063006D0073002F00750070006C006F00610064002F007000750062006C00690063006100740069006F006E0073002F00490043004E0049005200500065006D006600670064006C006700650072002E007000640066}

Tabelle 4. Basisgrenzwerte für zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder bei Frequenzen bis zu 10 GHz^a

Art der Exposition	Frequenzbereich	Stromdichte für Kopf und Rumpf (mA m ⁻²) (Effektivwerte)	Durchschnittliche Ganzkörper-SAR (W kg ⁻¹)	Lokale SAR (Kopf und Rumpf) (W kg ⁻¹)	Lokale SAR (Gliedmaßen) (W kg ⁻¹)
Berufliche Exposition	bis 1 Hz	40	—	—	—
	1-4 Hz	40/ <i>f</i>	—	—	—
	4 Hz-1 kHz	10	—	—	—
	1-100 kHz	<i>f</i> /100	—	—	—
	100 kHz-10 MHz	<i>f</i> /100	0,4	10	20
	10 MHz-10 GHz	—	0,4	10	20
Exposition der Bevölkerung	bis 1 Hz	8	—	—	—
	1-4 Hz	8/ <i>f</i>	—	—	—
	4 Hz-1 kHz	2	—	—	—
	1-100 kHz	<i>f</i> /500	—	—	—
	100 kHz-10 MHz	<i>f</i> /500	0,08	2	4
	10 MHz-10 GHz	—	0,08	2	4

Anmerkungen:

1. *f* ist die Frequenz in Hertz.
2. Aufgrund der elektrischen Inhomogenität des menschlichen Körpers sollten die Stromdichten über einen Querschnitt von 1 cm 2 senkrecht zur Stromrichtung gemittelt werden.
3. Für Frequenzen bis 100 kHz können die Spitzenwerte für die Stromdichten erhalten werden, indem der Effektivwert mit $\sqrt{2}$ (~1,414) multipliziert wird. Für Pulse der Dauer *t_p* sollte die auf die Basisgrenzwerte anzuwendende Frequenz über $f = 1/(2 t_p)$ ermittelt werden.
4. Für Frequenzen bis 100 kHz und für gepulste Magnetfelder können die mit den Pulsen verbundenen maxi-malen Stromdichten aus den Anstiegs- und Abfallzeiten sowie der maximalen Änderungsrate der magneti-schen Flußdichte berechnet werden. Die induzierte Stromdichte läßt sich dann mit den entsprechenden Basisgrenzwerten vergleichen.
5. Sämtliche SAR-Werte sind über beliebige 6-Minuten-Zeitintervalle zu mitteln.
6. Die zu mittelnde Gewebemasse für lokale SAR-Werte beträgt 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Körpergewebes; die so ermittelten SAR-Maximalwerte sollten für die Expositionsermittlung verwendet werden.
7. Für Pulse der Dauer *t_p* sollte die auf die Basisgrenzwerte anzuwendende Frequenz über $f = 1/(2 t_p)$ ermittelt werden. Darüber hinaus wird für den Frequenzbereich von 3 bis 10 GHz und für die lokale Exposition des Kopfes ein zusätzlicher Basisgrenzwert empfohlen, um durch thermoelastische Expansion bedingte Hör- effekte einzuschränken oder zu vermeiden. Danach sollte die SA bei gepulsten Expositionen 10 mJ kg⁻¹ bei Beschäftigten und 2 mJ kg⁻¹ für die

Normalbevölkerung nicht überschreiten, gemittelt über je 10 g Gewebe.
<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Tabelle 6. Referenzwerte für die berufliche Exposition durch zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder (ungestörte Effektivwerte)^a

Frequenzbereich	Elektrische Feldstärke (V m ⁻¹)	Magnetische Feldstärke (A m ⁻¹)	B-Feld (μT)	Äquivalente Leistungs- dichte bei ebenen Wellen S _{eq} (W m ⁻²)
bis 1 Hz	—	1,63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	—
1-8 Hz	20 000	1,63 x 10 ⁵ /f ²	2 x 10 ⁵ /f ²	—
8-25 Hz	20 000	2 x 10 ⁴ /f	2,5 x 10 ⁴ /f	—
0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	—
0,82-65 kHz	610	24,4	30,7	—
0,065-1 MHz	610	1,6/f	2,0/f	—
1-10 MHz	610/f	1,6/f	2,0/f	—
10-400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2000 MHz	3f ^{1/2}	0,008f ^{1/2}	0,01f ^{1/2}	f/40
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50

Anmerkungen:

1. f wie in der Frequenzbereichs-Spalte wiedergegeben.
2. Vorausgesetzt, daß die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden und schädliche indirekte Wirkungen aus-geschlossen werden können, dürfen die Werte für die Feldstärke überschritten werden.
3. Für Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 GHz sind Seq , E 2, H 2 und B 2 über einen beliebigen 6-Minuten-Zeitraum zu mitteln.
4. Für Spitzenwerte bei Frequenzen bis 100 kHz siehe Tabelle 4, Anmerkung 3.
5. Für Spitzenwerte bei Frequenzen über 100 kHz siehe die Abbildung 1 und 2. Zwischen 100 kHz und 10 MHz werden die Spitzenwerte der Feldstärken durch Interpolation zwischen dem 1,5-fachen Spitzenwert bei 100 kHz und dem 32-fachen Spitzenwert bei 10 MHz erhalten. Für Frequenzen über 10 MHz wird vorgeschlagen, daß der Spitzenwert der äquivalenten Leistungsdichte ebener Wellen, gemittelt über die Puls-dauer, das 1000-fache der Seq -Grenzwerte nicht überschreitet, bzw. daß die Feldstärke das 32-fache der in der Tabelle angegebenen Feldstärken-Expositionswerte nicht überschreitet.
6. Für Frequenzen über 10 GHz sind Seq , E 2 , H 2 und B 2 über einen beliebigen 68/f 1,05 -Minuten-Zeitraum zu mitteln (f in GHz).
7. Für Frequenzen < 1 Hz sind keine E-Feld-Werte angegeben, da es sich effektiv um statische elektrische Felder handelt. Elektroschocks durch niederohmige Quellen werden durch anerkannte Sicherheits maß-nahmen für derartige Anlagen verhindert.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Tabelle 7. Referenzwerte für die Exposition der Bevölkerung durch zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder (ungestörte Effektivwerte)^a

Frequenzbereich	Elektrische Feldstärke (V m ⁻¹)	Magnetische Feldstärke (A m ⁻¹)	B-Feld (μT)	Äquivalente Leistungsdichte bei ebenen Wellen S_{eq} (W m ⁻²)
bis 1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10 000	$4000/f$	$5000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Anmerkungen:

1. f wie in der Frequenzbereichs-Spalte wiedergegeben. 2. Vorausgesetzt, daß die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden und schädliche indirekte Wirkungen ausgeschlossen werden können, dürfen die Werte für die Feldstärke überschritten werden.
3. Für Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 GHz sind S_{eq} , E^2 , H^2 und B^2 über einen beliebigen 6-Minuten-Zeitraum zu mitteln.
4. Für Spitzenwerte bei Frequenzen bis 100 kHz siehe Tabelle 4, Anmerkung 3.
5. Für Spitzenwerte bei Frequenzen über 100 kHz siehe Abbildung 1 und 2. Zwischen 100 kHz und 10 MHz werden die Spitzenwerte der Feldstärken durch Interpolation zwischen dem 1,5-fachen Spitzenwert bei 100 kHz und dem 32-fachen Spitzenwert bei 10 MHz erhalten. Für Frequenzen über 10 MHz wird vorgeschlagen, daß der Spitzenwert der äquivalenten Leistungsdichte ebener Wellen, gemittelt über die Pulsdauer, das 1000-fache der S_{eq} -Grenzwerte nicht überschreitet, bzw. daß die Feldstärke das 32-fache der in der Tabelle angegebenen Feldstärken-Expositionswerte nicht überschreitet.
6. Für Frequenzen über 10 GHz sind S_{eq} , E^2 , H^2 und B^2 über einen beliebigen $68/f^{1,05}$ -Minuten-Zeitraum zu mitteln (f in GHz).
7. Für Frequenzen < 1 Hz sind keine E-Feld-Werte angegeben, da es sich effektiv um statische elektrische Felder handelt. Bei den meisten Menschen wird die störende Wahrnehmung elektrischer Oberflächenladungen bei Feldstärken unter 25 kV m⁻¹ nicht auftreten. Funkenentladungen, die Streß oder Belästigungen verursachen, sollten vermieden werden.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

ANHANG Glossar

Absorption: Bei der Ausbreitung von Radiowellen die Schwächung der Radiowellen durch Dissipation ihrer Energie, d. h. die Umwandlung ihrer Energie in eine andere Form wie z. B. Wärme.

Berufliche Exposition: Jede Exposition durch EMF, die Personen während der Ausübung ihrer Arbeit erfahren.

Blut-Hirn-Schranke: Funktionelles Konzept, das entwickelt wurde, um zu erklären, warum viele vom Blut transportierte Stoffe zwar leicht in andere Gewebe, nicht jedoch in das

Gehirn gelangen; diese Barriere funktioniert wie eine permanente Membran, die das Gefäßsystem des Gehirns auskleidet. Die Endothelzellen der Hirnkapillare bilden die nahezu dauerhafte Schranke, die verhindert, daß Substanzen vom Blut in das Gehirn gelangen.

CW (continuous wave): Kontinuierliche Welle mit konstanter Amplitude. Im Gegensatz zu

pulsförmigen Wellenpaketen oder amplitudenmodulierten Wellen.

Dielektrizitätskonstante: Siehe Permittivität.

Dosimetrie: Messung oder Berechnung der internen elektrischen Feldstärke oder der induzierten Stromdichte, der spezifischen Energieabsorption oder der Verteilung der spezifischen Energieabsorptionsrate bei Menschen oder Tieren, die elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind.

Ebene Welle: Elektromagnetische Welle, bei der die elektrischen und magnetischen Feldvektoren in einer zur Wellenausbreitungsrichtung senkrecht stehenden Ebene liegen und deren magnetische Feldstärke (multipliziert mit der Impedanz der Umgebung) gleich der elektrischen Feldstärke ist.

Eindringtiefe: Bei ebenen Wellen eines elektromagnetischen Feldes (EMF), die auf die Grenzfläche eines guten Leiters auftreffen, ist die Eindringtiefe dieser Welle jene Tiefe, bei der die Feldstärke der Welle auf $1/e$ oder rund 37 % des ursprünglichen Wertes abgesunken ist.

Elektrische Feldstärke: Die Kraft (E) auf eine ruhende positive Einheitsladung an einem bestimmten Ort in einem elektrischen Feld; gemessen in Volt pro Meter ($V\ m^{-1}$).

Elektromagnetische Energie: Die in einem elektromagnetischen Feld gespeicherte

Energie; ausgedrückt in Joule (J).

ELF: Extrem niedrige Frequenz; Frequenzen unter 300 Hz.

EMF: Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder.

Feldwellenwiderstand: Das Verhältnis der komplexen Zahl (Vektor), die das transversale elektrische Feld an einem bestimmten Ort repräsentiert, zu der, die das transversale Magnetfeld an diesem Ort repräsentiert; ausgedrückt in Ohm (Ω).

Fernfeld: Der Bereich, in dem der Abstand von einer abstrahlenden Antenne größer ist als die Wellenlänge der abgestrahlten EMF; im Fernfeld stehen sowohl die Feldkomponenten (E und H) als auch die Ausbreitungsrichtung senkrecht aufeinander, und die Form des Feldes ist unabhängig vom Abstand von der Quelle.

Frequenz: Anzahl der vollen sinusförmigen Schwingungen elektromagnetischer Wellen pro Sekunde; gewöhnlich in Hertz (Hz) ausgedrückt.

Leistungsdichte: Die Leistung, die bei der Ausbreitung von Radiowellen durch eine Einheitsfläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Wellen geht; ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ($W\ m^{-2}$).

Leitfähigkeit, elektrische: Der Skalar oder Vektorbetrag, der, multipliziert mit der elektrischen Feldstärke die Leitungsstromdichte ergibt; sie ist der Kehrwert des Leitungswiderstands. Ausgedrückt in Siemens pro Meter ($S\ m^{-1}$).

Leitwert: Kehrwert des Widerstands. Ausgedrückt in Siemens (S).

Magnetische Feldstärke: Eine axiale Vektorgröße (H), die neben der magnetischen Flußdichte ein Magnetfeld irgendwo im Raum spezifiziert und in Ampere pro Meter ($A\ m^{-1}$) ausgedrückt wird.

Magnetische Flußdichte: Eine Vektorgröße (B), die aus der Kraft resultiert, die auf eine bewegte Ladung oder bewegte Ladungen wirkt und in Tesla (T) ausgedrückt wird.

Magnetische Permeabilität: Der Skalar oder Vektorbetrag, der, multipliziert mit der magnetischen Feldstärke, die magnetische Flußdichte ergibt; ausgedrückt in Henry pro Meter ($H\ m^{-1}$). Anmerkung: Bei isotropen Medien ist die magnetische Permeabilität ein Skalar, bei anisotropen Medien eine Tensorgröße.

Mikrowellen: Elektromagnetische Strahlung genügend kurzer Wellenlänge, zu deren praktischen Gebrauch Wellenleiter und verwandte Hohlraumtechniken für Übertragung und Empfang genutzt werden können. Anmerkung: Der Terminus dient zur Bezeichnung von Strahlungen oder Feldern im Frequenzbereich von 300 MHz-300 GHz.

Nahfeld: Der Bereich, in dem der Abstand von der abstrahlenden Antenne kleiner ist als die Wellenlänge der abgestrahlten EMF. Anmerkung: Die Magnetfeldstärke (multipliziert mit der Impedanz der Umgebung) und die elektrische Feldstärke sind verschieden und variieren bei Abständen von weniger als einem Zehntel der Wellenlänge von einer Antenne umgekehrt mit dem Quadrat oder der dritten Potenz des Abstands, wenn die Antenne im Vergleich zu diesem Abstand kurz ist.

Nichtionisierende Strahlung (NIR): Umfaßt alle Strahlungen und Felder des elektromagnetischen Spektrums, die normalerweise nicht genügend Energie besitzen, um in Stoffen eine Ionisierung zu bewirken; charakterisiert durch eine Energie pro Photon von unter rund 12 eV, Wellenlängen von über 100 nm und Frequenzen von unter 3×10^{15} Hz.

Nichtthermischer Effekt: Die Wirkung elektromagnetischer Energie auf einen Körper, die nicht mit Wärme verbunden ist.

Öffentliche Exposition: Jegliche Exposition durch EMF, die Mitglieder der Normalbevölkerung erfahren, ausgenommen der beruflichen Exposition sowie der Exposition während medizinischer Untersuchungen.

Permittivität: Eine Konstante, die den Einfluß eines isotropen Mediums auf die Anziehungs- und Abstoßungskräfte zwischen elektrisch geladenen Körpern definiert und in Farad pro Meter ($F\ m^{-1}$) ausgedrückt wird; die relative Permittivität ist die Permittivität eines Stoffes oder Mediums dividiert durch die Permittivität des Vakuums.

Quadratisches Mittel: Bestimmte elektrische Effekte sind proportional zur Quadratwurzel des Durchschnitts des Quadrats einer periodischen Funktion (über eine Periode). Das quadratische Mittel, auch Effektivwert genannt, wird gebildet, indem die Funktion zunächst quadriert, sodann der Durchschnitt der erhaltenen Quadrate und schließlich die Quadratwurzel dieses Durchschnitts gebildet wird.

Radiofrequenz (RF): Alle Frequenzen, bei denen elektromagnetische Strahlung für die Telekommunikation nützlich ist. Anmerkung: In dieser Publikation bezieht sich der Begriff Radiofrequenz auf den Frequenzbereich von 300 Hz-300 GHz.

Resonanz: Die Änderung der Amplitude, die eintritt, wenn sich die Frequenz der Welle der Eigenfrequenz des Mediums annähert oder mit ihr identisch ist; die Ganzkörper-Absorption elektromagnetischer Wellen bildet ihren Höchstwert, d. h. die Resonanz bei Frequenzen (in MHz) von ungefähr $114/L$, wobei L die Größe der betreffenden Person in Meter ist.

Spezifische Energieabsorption: Die pro Masseneinheit eines biologischen Gewebes absorbierte

Energie (SA), ausgedrückt in Joule pro Kilogramm (J kg^{-1}); die spezifische Energieabsorption ist das Zeitintegral der spezifischen Energieabsorptionsrate.

Spezifische Energieabsorptionsrate (SAR): Die Rate, mit der Energie vom Körper- gewebe absorbiert wird, ausgedrückt in Watt pro Kilogramm (W kg^{-1}); die SAR ist das dosi- metrische Maß, das bei Frequenzen von über rund 100 kHz weitgehend anerkannt ist.

Stromdichte: Ein Vektor, dessen Integral über eine gegebene Fläche gleich dem elektrischen Strom ist, der durch diese Fläche tritt; die mittlere Dichte in einem linearen Leiter ist gleich dem Strom dividiert durch die Fläche des Leiterquerschnitts. Ausgedrückt in Ampere pro Quadratmeter (A m^{-2}).

Wellenlänge: Der Abstand zwischen zwei in Ausbreitungsrichtung einer periodischen Welle aufeinanderfolgenden Punkten, an denen die Schwingung die gleiche Phase besitzt.

<http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlger.pdf>

Elektromagnetische Wellen (also das, was Du mit "Strahlung" beschreibst) werden unterschieden zwischen ionisierend und nicht-ionisierend. Das hängt nur von der Frequenz ab, nicht von der Flussdichte. Ionisierende Wellen wie Röntgenstrahlung können Elektronen aus dem Atom herauslösen. Dann gehen Moleküle kaputt und Krebs kann entstehen. Die sind also gefährlich. Handys nutzen natürlich Frequenzen weit darunter, können also den Molekülen in Deinem Körper nicht direkt etwas antun. Sie können aber - wie alle elektromagnetischen Wellen - den Körper erwärmen. So wie eine Mikrowelle es ja auch tut. Nur hat eine Mikrowelle tausend Watt und Dein Handy maximal zwei.

<https://www.gutefrage.net/frage/wieviel-microtesla-ist-gefaehrlich>

3.4 Medizinische Anwendungen

Tabelle 3.4 Beispiele für Frequenzbereiche medizinischer Anwendungen

Quelle	Frequenz	Abstand	Typische Werte	Bemerkungen
Kurzwellendiathermie	27,12 MHz	0,2 m	Bis 1.000 V/m	Behandlungspersonal
		0,5 m	Bis 500 V/m	
		1 m	Bis 200 V/m, bis 0,4 A/m 100-1.000 V/m, bis 1,6 A/m	Patient, unbehandelte Körperstellen
Mikrowellenerwärmung	433 MHz	0,5 m	25 W/m ²	Behandlungspersonal
	2450 MHz	1	10 W/m ²	
	433 MHz	0,3 – 3 m	6 -100 W/m ²	Hyperthermiebehandlung von Patienten
	2450 MHz		20-140 W/m ²	Unbehandelte Körperstellen
Magnetfeldtherapie	50-500Hz		50-500 μT	Nahbereich Patient (Magnetfeldmatten, Spulen)
Magnetische Resonanz	6 – 127 MHz	Im Untersuchungs- gerät Patient	Bis 1 W/kg	Patient, gemittelt über den ganzen Körper
Lamorfrequenz für H ₂ f _L = 42,58 MHz / T	0 Hz	Personal im Raum	3 T	
	20 – 2.000 Hz (Gradientfeld)		10 mT 500 μT – 10 mT	

Wirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen

4.1 Einführung

Als „Biologische Wirkung“ elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder (EMF) auf einen Organismus wird sowohl die Wahrnehmung dieser Felder, als auch die Beeinflussung der Physiologie definiert. Beispiele hierfür sind das Aufstellen von Haaren in statischen Feldern oder auch die Erwärmung von Gewebe in hochfrequenten Feldern. Die Wirkung der Felder auf biologische Systeme wird maßgeblich durch die Feldstärke, Frequenz, Einwirkdauer und Leistungsdichte bzw. Energiedichte bestimmt. Treten die Felder impulsförmig auf, so sind zusätzlich die Impulswiederholrate, die Impulsdauer und auch der zeitliche Verlauf der Impulse von Bedeutung. Darüber hinaus können individuelle Eigenschaften (z. B. Körpergröße) und physikalische Randbedingungen (z. B. Erdung, Ausrichtung zum Feld) auch eine Rolle spielen. Bei

der Wirkung auf den Menschen wird in drei Frequenzbereiche unterschieden: statische Felder, nieder- und hochfrequente Felder. Diese drei Bereiche werden im Hinblick auf biologische Wirkungen im Folgenden kurz umrissen: Statische Felder: Bei statischen elektrischen Feldern können Effekte wie Kribbeln und Aufrichten der Haare auftreten. Bei statischen magnetischen Feldern können Kräfte auf Implantate wirken oder auch deren Funktion stören. Auch wirken statische Felder im Körper oft ähnlich wie niederfrequente Felder, da der Körper fast nie in Ruhe ist (Blutfluss, kleine Bewegungen) und somit ein sich veränderndes Feld wahrnimmt. Niederfrequente Felder (NF): Als rein akute Wirkung dominiert hier die Reizung von Nerven- und Muskelzellen, die zu den nichtthermischen Wirkungen zählt. Hochfrequente Felder (HF): Hier sind die thermischen Wirkungen (Erwärmung von Gewebe) vorherrschend.

Wissenschaftlicher Nachweis: Wissenschaftlich nachgewiesen ist ein Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern, wenn wissenschaftliche Studien voneinander unabhängiger Forschungsgruppen diesen Zusammenhang reproduzierbar zeigen und das wissenschaftliche Gesamtbild das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs stützt. 2. Wissenschaftlich begründeter Verdacht: Ein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf einen Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern liegt vor, wenn die Ergebnisse bestätigter wissenschaftlicher Untersuchungen einen Zusammenhang zeigen, aber die Gesamtheit der wissenschaftlichen Untersuchungen das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs nicht ausreichend stützt. Das Ausmaß des wissenschaftlichen Verdachts richtet sich nach der Anzahl und der Konsistenz der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeiten. 3. Wissenschaftliche Hinweise: Wissenschaftliche Hinweise liegen vor, wenn einzelne Untersuchungen, die auf einen Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern hinweisen, nicht durch voneinander unabhängige Untersuchungen bestätigt sind und durch das wissenschaftliche Gesamtbild nicht gestützt werden. Andere Organisationen verwenden inhaltlich sehr ähnliche Einteilungen. Neben der Unterscheidung anhand verschiedener Frequenzbereiche kann auch in direkte und indirekte Wirkungen differenziert werden. Direkte Wirkung ist eine Wirkung unmittelbar auf den Organismus durch ein Feld (z. B. induzierter Körperstrom). Im Gegensatz dazu verursacht die indirekte Wirkung ein Ereignis, das sich negativ auf den Menschen auswirken kann. Man denke an die Projektilwirkung von metallischen Gegenständen in starken statischen magnetischen Feldern. Bei Feldern mit Feldstärken unterhalb der Reizschwelle im HF- und NF-Bereich werden Effekte diskutiert, die zu den nichtthermischen Wirkungen zählen. Dazu gibt es umfangreiche Untersuchungen an Zellen, Tieren und Menschen. Die bisherigen Ergebnisse deuten nicht auf eine biologische oder gesundheitliche Relevanz für den Menschen hin. Untersuchungen an Zellen und Tieren sind oft nicht ohne Weiteres auf den Menschen zu übertragen. Sie ermöglichen jedoch zu erforschen und zu verstehen ob ein bestimmter Wirkmechanismus existiert und wie dieser genau aussehen könnte. Die dabei verwendeten Feldstärken liegen oftmals weit oberhalb der üblichen Alltagsexposition. Eventuelle Auswirkungen von Langzeitexpositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern wie sie im Alltag auftreten, werden seit etwa 40 Jahren mit Hilfe epidemiologischer Studien untersucht. Zu den in Tabelle 4.1 genannten Themen sind schon Untersuchungen zu biologischen Wirkungen von EMF in der wissenschaftlichen Literatur dokumentiert. Da die aufgeführten Effekte meist nur bei Überschreitung der von ICNIRP derzeit empfohlenen Grenzwerte auftreten, sind diese für Fragen des Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzes irrelevant. Die Betrachtung biologischer Wirkung ist auch mit biologischen Reaktionen verknüpft. Generell gilt hierbei Folgendes zu beachten: Biologische Reaktionen können grundsätzlich zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen, müssen dies aber keineswegs. Beeinträchtigungen liegen dann vor, wenn die körperliche Unversehrtheit, die Leistungsfähigkeit oder das Wohlbefinden beeinträchtigt sind. Eine Verschlechterung des psychischen, physischen und sozialen Wohlbefindens sowie das Gefühl der Beeinflussung subjektiver Leistungsfähigkeit sind als Befindlichkeitsstörungen zu betrachten. Aus der Sicht der Strahlenschutzkommission (SSK) setzt eine Gesundheitsbeeinträchtigung eine biologische Reaktion voraus, der ein Effekt als Folge einer physikalischen Einwirkung vorausgeht. Menschen können ganz verschieden auf externe physikalische Einwirkungen reagieren. Mögliche Wirkungen physikalischer Einwirkungen, zu

denen auch EMF zählt, müssen daher im Hinblick auf eine gesundheitliche Auswirkung betrachtet werden. Tabelle 4.1 Schematische Darstellung von Studienarten und den untersuchten möglichen Wirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (EMF) an Zellen, Tieren und an Menschen in der Literatur. Viele dieser Arbeiten können über den Internetauftritt www.emf-portal.org gefunden werden.

Studien an Probanden
• Wahrnehmung und Belästigung • Kognitive Leistungen, Lernverhalten • „Elektro-Sensibilität“ • Einfluss auf den Hormonhaushalt (Melatonin, Hypophysenhormone etc.) • EEG-Änderungen, Schlaf, Biorhythmen
Epidemiologische Studien
• Wahrnehmung und Belästigung • Kognitive Leistungen [4], Lernverhalten [5] • Alzheimer [6] • Kinderleukämie [7] • „Elektro-Sensibilität“ [8] • Einfluss auf den Hormonhaushalt (Melatonin, Hypophysenhormone etc.) • EEG-Änderungen, Schlaf, Biorhythmen • Neurodegenerative Erkrankungen (ALS, Alzheimer etc.)
Studien an Tieren
• Einflüsse auf Neuroendokrines System und Zentralnervensystem • Beeinflussung des Hormonhaushaltes (insbes. Melatonin) • Genetische Einflüsse • Einflüsse auf Fortpflanzung, Wachstum und Entwicklung • Verhaltensänderungen • Krebs-Entstehung und -Promotion • Einfluss auf die Blut-Hirn-Schranke
Studien an Pflanzen
• Wachstum und Entwicklung
Studien an Zell- und Gewebekulturen
• Änderung von Membran-Potentialen und Ionenverteilung • Einfluss auf Proliferation und Differenzierung von Zellen • Modulation von biochemischen Reaktionen • Einfluss auf die Zell-Kommunikation (Gap-Junctions) • Immunreaktionen • Genetische und epigenetische Effekte
Studie im Hochfrequenzbereich: Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF)
• Biologie: Elektrosensibilität, Schlafqualität, Einflüsse auf Sinnesorgane (Ohr, Auge), zelluläre Wechselwirkungsmechanismen, Kanzerogenität, Langzeiteffekte, Epidemiologie • Dosimetrie: Exposition im Alltag (Sendeanlagen, Endgeräte, altersabhängige Wirkungen), Ermittlung intrakorporaler SAR-Verteilungen • Risikokommunikation

25

Das vorliegende Kapitel beginnt mit der Betrachtung statischer Felder (Kap. 0). Hieran schließen Abschnitte über zeitlich veränderliche Felder im NF-Bereich (Kap. 4.3) und HF-Bereich (Kap. 4.4) an. In Kap. 4.5 wird der Übergangsbereich zwischen NF- und HF-Feldern (Zwischenfrequenzbereich) betrachtet. Im Anschluss daran werden indirekte Wirkungen (Kap. 4.6) und die Beeinflussung von Körperhilfsmitteln (4.7) behandelt. Gegenstand des Kapitels 4.8 sind nicht eindeutig nachgewiesene Effekte, wie z. B. mutagene Effekte oder Elektrosensibilität. In jedem Frequenzbereich wirken generell die Felder unterschiedlich. Den einzelnen Kapiteln sind daher auch Abschnitte über Wirkungen beigelegt, die primär in diesem Frequenzbereich auftreten. Diese Zuordnung ist jedoch nicht immer eindeutig: Herzschrittmacher können sowohl durch statische als auch niederfrequente Felder in ihrer Funktion gestört werden. Metallische Implantate können in starken statischen Feldern eine Kraftwirkung erfahren oder in anderen Frequenzbereichen induktiv erwärmt werden

4.2 Biologische Wirkungen statischer Felder Statische Felder sind Felder, die sich nicht mit der Zeit ändern. Jede zeitliche Änderung der Felder gehört somit per Definition bereits in den niederfrequenten Bereich. Allerdings ist ein Körper, der sich in einem rein statischen Feld befindet, nie in sich bewegungsfrei. Zum Beispiel zirkuliert Blut und „sieht“ damit das statische Feld als ein sich veränderndes Feld. Bezogen auf die Quelle ist jedoch diese Trennung möglich. Die beiden folgenden Abschnitte gehen kurz auf statische elektrische und statische magnetische Felder ein.

4.2.1 Wirkungen statischer Magnetfelder Hohe statische Magnetfelder können Reizwirkungen (periphere Nervenstimulationen) verursachen. Daneben wurden Kurzzeiteffekte auf sensorische Funktionen während akuter Exposition beobachtet. Eine konsistente Evidenz für anhaltende Gesundheitseffekte aufgrund von Kurzzeitexpositionen bis zu einigen Tesla gibt es jedoch nicht. Bewegungen in statischen Magnetfeldern (~ 2 T) können Schwindel oder Übelkeit verursachen. Diese sind jedoch durch anerkannte Wechselwirkungsmechanismen erklärt. Die Relevanz dieser Effekte in Bezug auf die Gesundheit bleibt aber unklar. Es wird als unwahrscheinlich erachtet, dass Felder von unterhalb 8 T die Pulsfrequenz oder den Herzrhythmus beeinflussen können [9]. Nach Sicht von [10], [11] ist weitere Forschung zur Klärung der manchmal widersprüchlichen Ergebnisse

erforderlich. Bei einigen hypothetischen Effekten fehlt bislang der experimentelle Beleg [11]. Die in statischen Magnetfeldern auftretenden Wirkungen lassen sich in direkte und in indirekte Wirkungen unterscheiden (siehe beide nachstehende Abschnitte).

4.2.1.1 Direkte Wirkung statischer Magnetfelder (Reizwirkung)

Die Reizwirkung durch Erregung von Nerven- und Muskelzellen kann auf die von Feldern verursachten elektrischen Stromdichten bezogen werden (siehe auch Abschnitt 4.3.4). Im Folgenden wird eine Formel zur Abschätzung der im Körper erzeugten Stromdichte erläutert. Ein statisches Magnetfeld kann in einem Körper einen elektrischen Strom induzieren, wenn dieser sich bewegende Ladungsträger enthält (Hall-Effekt). Auch ist dies möglich, wenn sich der gesamte Körper in einer Weise bewegt, dass sich die Durchflutung mit Magnetfeldlinien ändert (Induktion). Im Falle des Menschen geschieht dies in nennenswertem Ausmaß in den großen Blutgefäßen des Kreislaufes mit rasch fließendem Blut bzw. im schlagenden Herzen oder wenn sich Gliedmaßen oder der ganze Körper in Relation zum Magnetfeld bewegen. Die dadurch induzierte Stromdichte J kann mit der Bewegungsgeschwindigkeit v des Objektes relativ zum Magnetfeld und dem spezifischen Widerstand abgeschätzt werden zu: $J = (B \cdot v) \cdot \sigma$ mit B magnetische Flussdichte in T, v Bewegungsgeschwindigkeit in m/s, σ spezifische Leitfähigkeit in $(1/(\Omega \cdot m))$, $\sigma = 1/\rho$. Auf Grund vergleichbarer Mechanismen im niederfrequenten Bereich wird in Abschnitt 4.3.4 näher auf die Reizwirkungen eingegangen.

4.2.2 Statische elektrische Felder

Statische elektrische Felder können aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit des Körpers nicht in das Innere eindringen. Eine Neuordnung elektrischer Ladungen in ursprünglich ungeladenen Körpern ist jedoch möglich. Dies führt dann zu lokalen Aufladungen in diesen Körpern. Dies gilt auch für die Körperoberfläche. Eine Folge kann eine reizauslösende Wirkung, wie z. B. das Aufstellen von Haaren sein. Auch das Entladen dieser Körperbereiche an geerdeten Objekten ist möglich. Umgekehrt kann sich ein geladenes Objekt natürlich auch über den Körper als Erdung entladen. Diese Entladungsvorgänge können als Mikroschocks wahrgenommen und auch als störend empfunden werden. Verursacht das häufige Auftreten von Mikroschocks Stress, so kann sich dies wiederum indirekt negativ auswirken.

4.3 Wirkung niederfrequenter Felder

Unter niederfrequenten Feldern werden zeitlich veränderliche Felder bis zu einer Frequenz von bis zu 10 MHz verstanden. Als rein akute Wirkung dominiert hier die Reizung von Nerven und Muskelzellen, die zu den nichtthermischen Wirkungen zählt. Auch in diesem Bereich kann zwischen direkten und indirekten Wirkungen unterschieden werden. Zu erster Gruppe zählen Oberflächeneffekte in starken elektrischen Feldern und auch die Wirkungen im Körperinneren, die von elektrischen und magnetischen Feldern verursacht werden. Indirekte (mittelbare) Wirkungen entstehen z. B. bei der Berührung von Metallkörpern in elektrischen Feldern. Dazu zählen aber auch die Auswirkungen, die aus der Beeinflussung von medizinischen Implantaten resultieren. Im Folgenden wird auf verschiedene Effekte eingegangen: Körperströme, Kontaktströme/Entladungen, Oberflächenwirkung und Reizwirkung. Der Abschnitt erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sollte aber ein grundlegendes Verständnis der auftretenden Mechanismen ermöglichen.

4.3.1 Körperströme

Durch unterschiedliche Kopplungsmechanismen (kapazitiv, induktiv und galvanisch) können Körperströme induziert werden. In den drei nachfolgenden Abbildungen sind diese Mechanismen dargestellt. Die kapazitive Einkopplung eines induzierten Körperstroms durch ein zeitlich veränderliches elektrisches Feld ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Hieran schließt sich die induktive Kopplung eines Magnetfeldes (Abbildung 4.2) an. In der letzten Abbildung dieses Abschnitts ist die galvanische Kopplung skizziert. Durch Berühren eines sich im elektrischen Feld befindlichen, isolierten Metalls entsteht ein Körperstrom (Abbildung 4.3).

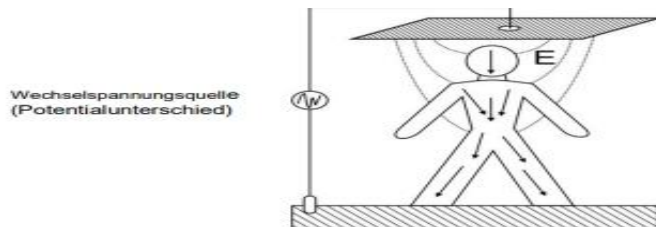


Abbildung 4.1: Beispiel für eine kapazitive Einkopplung eines induzierten Körperstromes (unmittelbare Feldwirkung) bei einem zeitlich veränderlichen Feld.

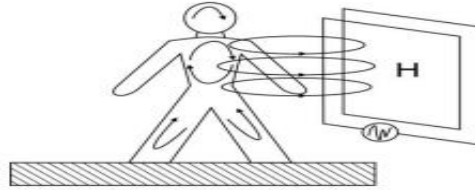


Abbildung 4.2: Beispiel für eine induktive Einkopplung eines induzierten Körperstromes (unmittelbare Feldwirkung) bei einem zeitlich veränderlichen Feld.

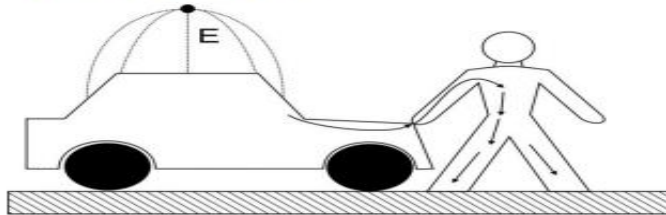


Abbildung 4.3: Beispiel für eine galvanische Einkopplung eines induzierten Körperstromes (mittelbare Feldwirkung) durch Berührung von Metall in einem elektrischen Feld.

4.3.2 Kontaktströme / Entladungen Körperströme und Berührungsspannungen sind Ursache für indirekte Wirkungen. Sie ergeben sich durch Annäherung oder Berührung von elektrisch leitfähigen Teilen (siehe z. B. Abbildung 4.3). Auch die Störung und Beeinflussung von Körperhilfen (z. B. Herzschrittmacher) kann als mittelbare Feldwirkung angesehen werden. In elektrischen Feldern können sich isolierte leitfähige Objekte (z. B. Kraftfahrzeuge unter Hochspannungsleitungen) aufladen, und wenn sie berührt werden, gibt es eine Wechselspannungsquelle (Potentialunterschied) 29 Entladung (Mikroschock). Die Wahrnehmungsschwellen für Funkenentladungen und die Ströme sind abhängig von der Empfindlichkeit der betreffenden Person und den Eigenschaften des berührten Gegenstandes. So können im elektrischen Feld einer Hochspannungsleitung unter ungünstigen Umständen schon Feldstärken von bis zu 5,0 kV/m wahrgenommen werden. Bei diesen Effekten zeigte sich, dass Frauen und Kinder empfindlicher als Männer sind. Auch wenn die im Alltag auftretenden Effekte durch indirekte Wirkungen nicht sehr häufig sind und in der Regel als nicht gesundheitsschädlich angesehen werden, so können sie doch als Belästigung empfunden werden. In Tabelle 4.2 sind Wirkungen von Strömen und jeweilige Schwellenwerte zusammengetragen. Tabelle 4.2 Wirkungen elektrischer Ströme (50/60 Hz), die durch den Körper fließen (aufgrund experimenteller Daten für 50% aller Männer). Zu beachten ist, dass die Schwellenwerte für Frauen etwa 2/3, die für Kinder nur die Hälfte der angegebenen Werte betragen. Bei einem geringen Prozentsatz aller Personen liegen die Schwellenwerte deutlich niedriger [12].

4.4 Wirkungen hochfrequenter Felder 4.4.1 Einleitung Unter hochfrequenten Feldern werden zeitlich veränderliche Felder ab einer Frequenz von 100 kHz verstanden. Es besteht somit eine Überlappung mit der Definition von niederfrequenten Feldern (siehe Abschnitt 4.3). Dieser Überlapp wird betrachtet, da bereits ab 100 kHz Erwärmungen im Körper auftreten können. Im Hochfrequenzbereich ist eine getrennte Betrachtung von elektrischen und magnetischen Feldern oftmals nicht mehr möglich. Daher wird hier auch der Begriff elektromagnetische Felder verwendet. Dieses Kapitel beschreibt die Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Menschen und teilweise auch auf die Technik. Die ersten beiden Abschnitte dieses Kapitels beschäftigen sich mit der thermischen Wirkung und Mikrowellenhören. 33 Hieran schließen sich Teile über Kontaktströme, Entladungen und die Entzündung von brennbaren Materialien an. 4.4.2 Thermische Wirkungen Geladene Teilchen und polare Moleküle können durch elektromagnetische Felder zum Schwingen angeregt werden. Mit anderen Worten sie bewegen sich, stoßen mit anderen zusammen und versetzen diese damit auch in Bewegung. Physikalisch ist die Temperatur eines Körpers mit dieser Bewegung verknüpft. Je stärker sich die Atome oder Moleküle bewegen,

desto wärmer ist der betrachtete Körper. Wasser besteht aus polaren Molekülen und lässt sich damit durch hochfrequente Felder in Schwingung versetzen bzw. erwärmen. Der Mensch besteht grob zu 80% aus Wasser und lässt sich damit auch durch HF-Felder erwärmen. Für eine mögliche gesundheitliche Wirkung (schädlich oder nicht) ist beim Menschen die Wärmewirkung wichtig. Diese hängt davon ab, wo der menschliche Körper erwärmt wird und wie gut von dort aus die Wärme abtransportiert werden kann. Gut durchblutete Bereiche des Körpers können eine lokale Erwärmung besser ausgleichen als Bereiche, die weniger gut durchblutet sind. Auch kann durch Schwitzen eine gewisse Temperaturregulation erfolgen. Mit einer gesundheitlichen Auswirkung ist erst dann zu rechnen, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden und der Körper dies nicht regulieren kann. So wird z. B. die Entstehung von grauem Star durch eine langanhaltende Überwärmung im Augenbereich begünstigt. Als Maß für die im Körper aufgenommene Energie dient die spezifische Absorptionsrate (SAR). Sie gibt die Leistung (Energie pro Zeit) an, die pro Kilogramm Gewebe absorbiert wird. Erzeugt hochfrequente Strahlung einen SAR-Wert von 4 W/kg im Mittel auf den ganzen menschlichen Körper, so wird dieser um 1 °C erwärmt. Bei körperlicher Anstrengung können auch SAR-Werte von 3 bis 5 W/kg erreicht werden. Felder unterschiedlicher Frequenzen können unterschiedlich tief in den Körper eindringen: Rundfunkbereich (~100 MHz) - 30 cm, Mobilfunk (~1 GHz) – wenige Zentimeter, Radar (~10 GHz) – weniger als ein Millimeter (siehe Abbildung 2.9). Auch die Geometrie und Ausrichtung des Körpers im elektromagnetischen Feld (z. B. Sitzen oder Stehen) spielen eine Rolle: Bei Teil- oder Ganzkörperresonanzen nimmt der Körper besonders gut Energie auf.

4.4.3 Mikrowellenhören

Unter bestimmten Umständen können kurze, starke Impulse hochfrequenter elektromagnetischer Felder als Summen oder Klicken wahrgenommen werden. Diese Wirkung wird als Mikrowellenhören bezeichnet und basiert nach gegenwärtigen Kenntnissen auf thermoelastischen Eigenschaften des exponierten Gewebes im Ohr. Diese Gewebeareale werden erwärmt und dehnen sich aus. Dadurch werden mechanische Wellen erzeugt, die im hörbaren Bereich das Innenohr stimulieren können. Für diese Wirkung sind jedoch sehr hohe Energiewerte pro Einzelimpuls notwendig, die nur in unmittelbarer Nähe zu Radaranlagen vorkommen können.

4.4.4 Kontaktströme/Entladungen

Diese indirekten Wirkungen sind in vorangegangenen Abschnitt betrachtet worden. Auch im HF-Bereich können diese auftreten. Es kann beim Berühren von leitfähigen Gebilden zu Verbrennungen (sog. Hochfrequenzverbrennungen) oder Schocks kommen.

4.5 Zwischenfrequenzbereich

Der Zwischenfrequenzbereich ist in diesem Leitfaden als der Frequenzbereich zwischen 300 Hz und 10 MHz definiert (nach WHO). In diesem Bereich können sowohl thermische als auch nichtthermische Effekte auftreten. Welcher der Effekte dominant ist hängt unter anderem sowohl von der Frequenz, als auch von der zeitlichen Form des vorliegenden EMF Signals ab. Bei der Bewertung von Feldern in diesem Frequenzbereich werden sowohl Grenzwerte für den NF-Bereich, als auch für den HF Bereich berücksichtigt. Im Frequenzbereich zwischen 300 Hz und 100 kHz treten in Haushalten immer mehr Anwendungen auf. Gerade bei geringen Abständen können einige Geräte, teilweise auch Spielzeug, Grenzwerte überschreiten. Besonders stechen hier Induktionsherde hervor. Ursache hierfür ist, dass ihr Sicherheitsstandard bei der Bewertung einen Abstand von 30 cm vorsieht und nicht die verschiedenen möglichen Anwendungsfälle [11].

4.6 Indirekte Wirkungen

4.6.1 Indirekte Wirkung statischer Magnetfelder

Die relevante indirekte Wirkung in Zusammenhang mit statischen Magnetfeldern ist die Projektilwirkung. Sind die Magnetfelder ausreichend stark, so können Kräfte auf Ferromagnetika ausgeübt werden. Beispielsweise benötigt die Technologie der Magnetresonanz(MR)-Tomographie hohe statische Magnetfelder, um eine gemeinsame Ausrichtung des Kernspins im menschlichen Körper in Feldrichtung zu ermöglichen. Das Magnet-Streufeld um solche Großmagneten (meist supraleitende Magneten von 0,1 T – 4 T, in Versuchsanlagen bis zu 10 T) erzeugt erhebliche Kraftwirkungen auf Ferromagnetika, aber auch mechanische Momente auf im Streufeld bewegte Leiter, also z. B. Aluminium- oder Kupferbehälter. Die nicht zu vernachlässigende Gefahr ergibt sich aus der bei der Annäherung unerwartet schnell ansteigenden Kraftwirkung, die in [13] mit einem „1/r⁴ -Gesetz“ hergeleitet wurde. Dies bedeutet, dass bei der Halbierung der Entfernung die Kraftwirkung um das 16-fache ansteigt. Ist die Anziehungskraft auf einen Gegenstand durch den Magneten größer als die wirkende Reibungskraft, so „fliegt“ dieser zu dem Magneten und kann damit Personen verletzen. Starke statische Magnetfelder können somit Kräfte auf ferromagnetische Objekte ausüben. Diese Objekte können

sich außer- oder innerhalb des Körpers befinden. Gerade für Implantatträger kann letzter Punkt kritisch sein (siehe auch Abschnitt 7). Auch ist es denkbar aktive Implantate, die über einen tragbaren Magneten gesteuert werden können, in starken statischen Feldern unbeabsichtigt zu „steuern“.

4.6.2 Entzündung von brennbaren Materialien in HF-Feldern

Als eine indirekte Wirkung ist die Entzündung von brennbaren Materialien zu erwähnen. Hierbei können durch die Verwendung von HF-Feldern Funken entstehen und zündfähige Gasgemische zur Entzündung oder zur Explosion bringen. Als Beispiel sei hier ein Hochfrequenz-Chirurgiegerät erwähnt, dass bei bestimmungsgemäßem Gebrauch Funken erzeugt. Brennbares Desinfektionsmittel kann dadurch entzündet werden. Generell hängt die Möglichkeit Funken zu bilden oft von der Geometrie des jeweiligen leitfähigen Gebildes ab.

4.7 Beeinflussung von Körperhilfsmitteln

Körperhilfsmittel kommen immer häufiger als Ersatz oder zur Unterstützung von geschädigten Körperteilen zur Anwendung. Inzwischen können Menschen nahezu jeder Altersstufe Körperhilfsmittel implantiert bekommen. Im Alltag und am Arbeitsplatz können elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder aufgrund unterschiedlicher physikalischer Mechanismen Implantatträger beeinflussen oder sogar schädigen. Zum Schutz von Implantatträgern wird daher sowohl in der EMFV [2] als auch in der Unfallverhütungsvorschrift DGUV-Vorschrift 15 (vormals BGV B11) bzw. DGUV-Vorschrift 16 (vormals GUV-V B11) [14] die Einhaltung besonderer Maßnahmen gefordert. Bei implantierbaren Körperhilfsmitteln wird zwischen Implantaten ohne und mit Energiequelle, d. h. zwischen passiven und aktiven Implantaten unterschieden.

4.7.1 Passive Implantate

Passive Implantate übernehmen fast immer eine mechanische Funktion des Körpers. Sie haben den Zweck beeinträchtigte Körperteile ganz oder teilweise zu ersetzen, so dass die Funktion eines Körperteils verbessert oder wiederhergestellt wird. Die Implantate verbleiben entweder für einen bestimmten Zeitraum oder auf Dauer im Körper des Patienten. Die wichtigsten passiven Implantate sind: Endoprothesen (Künstliche Hüft-, Knie- und Schultergelenke) Platten, Schienen sowie Nägel und Schrauben zur Knochenstabilisation Stabilisatoren für Blutgefäße („Stent“), Aneurysma-Clips Herzklappen Gegenwärtig werden passive Implantate überwiegend aus Metall (Edelstahl, Titan, Gold) hergestellt. In zunehmendem Maße werden aber speziell entwickelte Materialien aus Kunststoffen, Keramik oder Verbundmaterial verwendet. Sie sind mechanisch stark beanspruchbar und weisen eine gute Gewebeverträglichkeit auf. Implantate aus Metall erwärmen sich bei sehr starken niederfrequenten Magnetfeldern und bei elektromagnetischen Feldern. Bei zu starker Erwärmung kann das am Implantat angrenzende Gewebe geschädigt werden. Mit der Schädigung einhergehend tritt oftmals auch eine Lockerung des Implantates auf. Bei starken statischen magnetischen Feldern (größer 100 mT), kann es speziell bei Implantaten mit ferromagnetischen Bestandteilen (z. B. Eisen, Nickel oder Cobalt) aufgrund der Kraftwirkung des Feldes zu einer Dislokation des Implantates kommen.

4.7.2 Aktive Implantate

Aktive Implantate werden als Ersatz oder Unterstützung von Organfunktionen eingesetzt. Die am häufigsten implantierten Geräte sind Herzschrittmacher und Defibrillatoren. Sie verbleiben in der Regel für eine Dauer von 8 bis 10 Jahren im Körper, bis sie aufgrund der erschöpften Batterie ausgetauscht werden müssen. Beispiele für aktive Implantate sind: Herzschrittmacher Defibrillator Cochlea-Implantat Neurostimulator (z.B. Hirnschrittmacher) Medikamentenpumpe

36 Aktive Implantate sind meist aufgrund ihres elektrischen und mechanischen Aufbaus empfindlich gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern. Durch ein magnetisches Wechselfeld können z. B. Ströme direkt in die Elektronik des Implantates induziert werden und so die Funktion des Implantats störend beeinflussen. Bei Herzschrittmachern und Defibrillatoren können Funktionsstörungen auch indirekt über die Beeinflussung der Wahrnehmung erfolgen, in dem die durch Wechselfelder im Körper erzeugten Ströme (siehe Abschnitt 4.3.1) die Wahrnehmung der Herzerregung störend beeinflussen. Dies kann z. B. ein verlängertes Stimulationsintervall, eine Verhinderung der Impulsabgabe des Herzschrittmachers oder eine inadäquate Schockabgabe des Defibrillators zur Folge haben. Beeinflussungen von Herzschrittmachern und Defibrillatoren aufgrund elektrischer und magnetischer Felder sind u. a. durch Elektrohandwerkzeuge, Warensicherungsanlagen, Schweißeinrichtungen möglich (siehe hierzu auch die DGUV Information 203-043 „Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder“, Anhang 1 [15]). Statische magnetische Felder von etwa 1 mT können die in vielen aktiven Implantaten speziell eingebauten elektrischen Schalter,

z. B. Reed-Kontakte oder Hall-Effekt Schalter, auslösen und so eine Funktionsänderung bewirken. Auch im hochfrequenten Bereich kann es zu indirekten Feldwirkungen kommen. So können Sender oder Mobiltelefone aktive Implantate unter ungünstigen Bedingungen wie z. B. bei nur geringem Abstand beeinflussen. Es gilt generell, dass bei Geräten des täglichen Lebens Beeinflussungen durch Einhaltung eines Abstandes von mindestens 30 cm zum Gerät verhindert werden können. Im beruflichen Umfeld dagegen, insbesondere an Anlagen und Maschinen, bei denen u. U. höhere Feldstärken vorliegen, können größere Abstände erforderlich sein. Weitere konkrete Schwellenwerte für passive und aktive Implantate zur Vermeidung von Beeinflussungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder finden sich im BMAS Forschungsbericht 451 [16].

4.8 Nicht eindeutig nachgewiesene Effekte und Wirkungen

Dieser Abschnitt behandelt Effekte, Wirkungen und Phänomene, die wissenschaftlich nicht eindeutig nachgewiesen sind. Gerade vor diesem Hintergrund werden diese hier eigenständig beschrieben. Oft sind in der Bevölkerung große Ängste mit diesen Aspekten verbunden. Es soll jedoch nicht der Eindruck entstehen, dass die hier behandelten Themen irrelevant seien oder gar reine Spinnereien von Betroffenen. Vielmehr besteht hier ein großer Forschungsbedarf, um in diesen Gebieten offene Fragen zu klären und Klarheit für Betroffene schaffen zu können. Die Abschnitte dieses Kapitels behandeln elektromagnetische Hypersensibilität, zelluläre Effekte außerhalb der Reizwirkung, mutagene und teratogene Effekte, Krebs, andere Erkrankungen, athermische Effekte und gesundheitliche Effekte.

4.8.1 Mutagene und teratogene Effekte

Mutagene Effekte führen zu Erbgutveränderung, teratogene Effekte beziehen sich auf Fehlbildungen durch Umwelteinflüsse. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass HF Felder bei Tieren teratogen wirken, wenn die Körperkerntemperatur deutlich ($>1^{\circ}\text{C}$) durch diese erhöht wird. Es gibt allerdings keinen konsistenten Beweis für eine negative Wirkung bei elektromagnetischen Feldern unterhalb der thermischen Wirkung. Auch konnten aktuelle Studien keinen weiteren Erkenntnisgewinn bringen.

37 Es besteht daher weiterhin die Meinung, dass alles gegen eine teratogene Wirkung von HF-Feldern spricht [11]. In Bezug auf erbgutverändernde Effekte gibt es keine experimentellen oder epidemiologischen Hinweise. Studien haben den Zusammenhang zwischen der Exposition von Vätern und Krebserkrankungen der Kinder untersucht und keine verwertbare Aussage ergeben.

4.8.2 Krebs

Eine oft geäußerte Sorge betrifft die Entstehung von Krebs im Zusammenhang mit der Exposition von EMF. Um die Frage zu beantworten, ob schwache niederfrequente elektrische und/oder magnetische Felder zu einer Erhöhung der Häufigkeit von Krebserkrankungen beitragen, wurden in den letzten Jahrzehnten etliche epidemiologische Studien durchgeführt. Die meisten Studien betrafen Beschäftigte in Berufen, bei denen eine höhere EMF-Exposition angenommen wurde. Ein zweiter Schwerpunkt waren Kinder in ihrer häuslichen Umgebung. Die durchgeführten Studien sind in ihrem Design sehr uneinheitlich, dennoch wurde am häufigsten folgende Frage gestellt: Hat eine langandauernde Exposition gegenüber erhöhten Magnetfeldern innerhalb der zulässigen Grenzwerte zu einer Häufung von Krebs geführt? Einige Arbeiten differenzierten dabei nicht nach der Art des Krebses, andere suchten nach einer Häufung von Leukämie oder Gehirntumoren. Eine Reihe von Studien zeigte einen schwachen Zusammenhang zwischen der Feldexposition und der untersuchten Krebsart. Die Betrachtung mehrerer Studien zusammen (Metastudie) zeigt häufig eine Erhöhung des betrachteten Krebsrisikos. Auf der anderen Seite gibt es auch eine Reihe von Studien, die keinen Zusammenhang finden konnten. Die Ergebnisse der Studien müssen aber sehr differenziert betrachtet werden und geben keinen eindeutigen Hinweis auf einen möglichen Zusammenhang. Generell kann festgestellt werden, dass bei einer Bewertung der Ergebnisse der epidemiologischen Studien, insbesondere deren statistische Aussagekraft, die Art und Weise der Expositionsbestimmung und allgemein das Fehlen von Modellvorstellungen für eine Krebsverursachung problematisch sind. International besteht daher Übereinstimmung mit der Konsequenz, dass in den Grenzwertüberlegungen die Ergebnisse der epidemiologischen Studien keine relevanten Schlussfolgerungen zulassen. Es gibt kein Indiz dafür, dass elektrische und magnetische Felder bei Feldstärken niederfrequenter Felder, wie sie an Arbeitsplätzen oder auch in der Wohnumgebung auftreten, Krebs auslösen können. Es wurde aber zusätzlich untersucht, ob diese Felder nicht vielleicht in der Lage sein könnten, das Wachstum von Krebs zu beschleunigen, der durch andere Ursachen ausgelöst wurde („Krebs Promotion“, siehe z. B. [17]).

4.8.2.1

Epidemiologische Studien – Hochfrequente Felder Für die meisten Menschen ist die Exposition durch hochfrequente Felder am größten bei Verwendung eines Mobiltelefons. Dies hat seine Ursache darin, dass beim Telefonieren meist das Gerät direkt an den Kopf (an das Ohr) gehalten wird. In [11] werden auch Studien betrachtet, die die Nutzung von Mobiltelefonen und das Auftreten von Tumorbildung untersuchen: Es gibt nur eine geringe Beweiskraft (little evidence) zwischen moderater Nutzung von Mobiltelefonen und dem Risiko in Kopf oder Nackenregion irgendeine Art von Krebs zu bekommen. Unterstützt wird dies durch große epidemiologische Studien mit unterschiedlichen Designs. Nur eine Fallstudie zeigt eine Risikozunahme bei moderater Nutzung. Allerdings sind die Daten 38 dieser Studie unvollständig und können daher nicht für die Beurteilung der Gefahr benutzt werden. Der Zusammenfassung von [11] kann entnommen werden, dass epidemiologische Studien im Zusammenhang mit Mobilfunk keine Zunahme des Risikos erkennen an anderen bösartigen Erkrankungen, einschließlich Krebs bei Kindern, zu erkranken. Insgesamt haben zu wenige der publizierten Studien ausreichende statistische Aussagekraft und Beobachtungsdauer, um ein potentiell geringes Risiko für Krebs über Perioden von 15 Jahren und mehr zu identifizieren.

4.8.2.2 In Vivo Studien – Hochfrequente Felder Hierbei handelt es sich um Studien, die im lebenden Organismus (z. B. Nagern) stattfinden. Der Großteil der durchgeführten Studien hat gezeigt, dass die Exposition durch Mobilfunksignale mit keiner Zunahme von Tumorbildungen verbunden ist. Auf Basis dieser Studien an Tieren (Stand 2015, [11]) wird keine krebserzeugende Wirkung angenommen („strong evidence“). Dem gegenüber steht eine NTP-Studie (2018) zur Auswirkung von Mobilfunkfeldern auf Mäuse und Ratten [18], [19]. Nach dieser Studie konnte unter anderem eine Tumorbildung (abhängig von Art der Tumore und Position im Körper) bei Ratten festgestellt werden. Die lebenslangen Ganzkörperexpositionen der Tiere lagen weit oberhalb der beim Mobilfunk typischerweise vorliegenden Werte. Kritisch gesehen wird, ob die als signifikant im Hinblick auf eine Evidenz ermittelten Ergebnisse nicht doch durch erhöhte Körpertemperaturen und dadurch bewirkten Stress zumindest beeinflusst wurden. In einer weiteren geplanten Studie sollen solche Effekte untersucht werden. Darüber hinaus wurden in einer anderen Studie im Ramazzini-Institut in gewisser Hinsicht die Ergebnisse der NTP-Studie bestätigt, und zwar bei Expositionen, die denjenigen durch Basisstationen entsprechen [20]. Die Ergebnisse werden aber zum Teil kontrovers diskutiert.

4.8.2.3 In Vitro Studien – Hochfrequente Felder Bei In Vitro Studien wird an Zellen geforscht. In Bezug auf die Exposition durch hochfrequente Felder bei typischen für die Allgemeinbevölkerung zugänglichen Werten konnten keine Effekte festgestellt werden, obwohl in manchen Fällen Brüche im DNA-Strang und Störungen in der Helix (spindle disturbance) beobachtet werden konnten.

4.8.2.4 Studien im Bereich zwischen 300 Hz und 100 kHz In diesem Bereich sind immer noch zu wenige Studien verfügbar. Es wurden auch keine epidemiologischen Studien durchgeführt. Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Exposition wäre dies allerdings wünschenswert.

4.8.2.5 Studien im Bereich unterhalb von 300 Hz Niederfrequente elektrische oder magnetische Felder, die bei der Übertragung elektrischer Energie (Hochspannungs-Freileitungen) vorhanden sind, werden in Zusammenhang mit einem vergrößerten Risiko für Leukämie bei Kindern gebracht. Neue epidemiologische Studien sind konsistent mit früheren Erkenntnissen: Sie zeigen eine Korrelation zwischen magnetischen Feldern und Kinderleukämie. Das Risiko erhöht sich bei Überschreitung täglicher Exposition von über 0,3-0,4 μT (ca. 5% der Bevölkerung). Ein Wirkungsmechanismus konnte jedoch nicht identifiziert werden. Sollte ein kausaler Zusammenhang existieren, könnten weniger als 1-4 % der Fälle 39 von Kinderleukämie in Zusammenhang mit der Exposition durch niederfrequente magnetische Felder gebracht werden [11], [21]. Niederfrequente Magnetfelder werden von der IARC seit 2001 in Gruppe 2B „möglicherweise karzinogen“ eingestuft [22]. Diese Einstufung basiert auf epidemiologischen Studien zu Kinderleukämie. Anmerkung: Die Einordnung in Gruppe 2B erfolgt vor dem Hintergrund, dass Evidenz beim Menschen vorliegt, die als glaubwürdig gilt, wofür aber andere Erklärungen nicht ausgeschlossen werden können.

4.8.3 Elektromagnetische Hypersensibilität Es berichten immer wieder Menschen darüber, dass sie überempfindlich auf nieder und hochfrequente elektromagnetische Felder reagieren, die von Handys, Computern, WLAN-Routern, Mikrowellengeräten, Funkmasten, Radargeräten oder Stromleitungen erzeugt werden. Die betroffenen Personen gehen davon aus, dass elektromagnetische Felder unspezifische körperliche Symptome wie beispielsweise Kopfschmerzen, Schlafstörungen,

Appetitlosigkeit, Hautirritationen, Reizbarkeit, Konzentrationsschwäche oder Muskelschmerzen verursachen. Dieses Phänomen wird als elektromagnetische Hypersensibilität (auch Elektrosensibilität oder Elektroallergie) bezeichnet und wird – wie das chronische Erschöpfungssyndrom oder die vielfache Chemikalienunverträglichkeit – von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zu den Umwelterkrankungen ohne erkennbare Ursache (medizinisch: idiopathisch) gezählt. In dieser Gruppe werden Erkrankungen zusammengefasst, die sich durch das Auftreten von unspezifischen Symptomen auszeichnen, für die bisher keine pathophysiologische Ursache bzw. kein Wirkmechanismus gefunden werden konnte. Dennoch stellen die Beschwerden für die Betroffenen meist eine große Belastung dar. Sie fühlen sich häufig in ihrem Alltag und in ihrer Leistungsfähigkeit stark eingeschränkt. Als Folge dessen ziehen sich einige der betroffenen Personen immer weiter aus ihrem Arbeitsumfeld sowie ihrem sozialen Umfeld zurück. Für Personen, die sich als elektrosensibel bezeichnen, ist es besonders problematisch, dass es bisher keine zuverlässigen diagnostischen Kriterien gibt, anhand derer abgegrenzt werden kann, ob die Symptome durch die Wirkungen von elektromagnetischen Feldern oder durch andere Ursachen hervorgerufen werden. Betroffene wenden sich meist an Hausärzte, Heilpraktiker und/oder Baubiologen, die allerdings häufig nur unzureichende Kenntnis über die Wirkungen von elektromagnetischen Feldern besitzen. Bereits zwischen 1996 und 1997 hat die Europäische Kommission ein Projekt über „Possible Health Implications of Subjective Symptoms and Electromagnetic Fields“ gefördert [23]. Damit sollte ein Statusbericht über mögliche Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf die Gesundheit erstellt werden, der die Lage in den verschiedenen europäischen Ländern beschreibt. Außerdem erwartete die Europäische Kommission Empfehlungen für ein weiteres Vorgehen. Die Projektgruppe setzte sich aus elf Wissenschaftlern aus sechs europäischen Ländern zusammen. Anhand von Fragebögen, die an entsprechende Selbsthilfegruppen sowie an spezialisierte umwelt- und arbeitsmedizinische Zentren in den verschiedenen europäischen Ländern gerichtet wurden, konnten Daten zur Häufigkeit von elektromagnetischer Hypersensibilität in der Bevölkerung, zur Art der Symptome, zum Ausmaß der Beeinträchtigung der betroffenen Personen und zu Situationen, in denen die Beschwerden auftreten, erhoben werden. Dem EU-Bericht sind folgende Schlussfolgerungen zu entnehmen (vgl. [23]): 40 Wissenschaftliche Untersuchungen konnten keinen ursächlichen Zusammenhang zwischen gesundheitlichen Beeinträchtigungen und den Wirkungen von elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern nachweisen. Gleichmaßen konnte bisher kein Wirkmechanismus identifiziert werden, der die Symptome hervorruft. Es fehlen zuverlässige, diagnostische Kriterien. Die Häufigkeit von Personen in der Bevölkerung, die sich als elektrosensibel beschreiben, variiert beträchtlich zwischen den einzelnen Ländern. Die Betroffenen führen ihre Beschwerden auf unterschiedliche elektromagnetische Quellen zurück.

Verantwortlich für das Auftreten der Symptome ist wahrscheinlich eine Kombination aus internen und externen Faktoren. Da elektromagnetische Hypersensibilität ein offensichtlich multifaktorielles, heterogenes Syndrom ist, sollte bei der Behandlung ein breiter Ansatz gewählt und möglichst viele Faktoren berücksichtigt werden. Es gibt Hinweise, dass psychosomatische Erkrankungen bzw. Prädispositionen eine wichtige Rolle für das Auftreten bzw. die weitere Ausprägung des Syndroms spielen. Medizinische Untersuchungen von Personen, die sich als elektrosensibel bezeichnen, haben ergeben, dass bisweilen andere Erkrankungen vorliegen, die oft behandelbar sind. Das Beschwerdebild entwickelt sich weniger ausgeprägt, wenn frühzeitig Therapiemöglichkeiten angeboten werden. In Nordeuropa richtet sich ein wesentlicher Teil der Forschung zu elektromagnetischer Hypersensibilität auf das Auftreten von Symptomen in Verbindung mit Bildschirm-Arbeitsplätzen. In anderen Ländern wie der Schweiz, Österreich und Deutschland konzentriert man sich vorwiegend auf die Untersuchung des Einflusses von Hochspannungsleitungen und Mobilfunk Sendestationen auf Belastungen im privaten Bereich. In den letzten 25 Jahren sind zahlreiche weitere Studien durchgeführt worden, die elektromagnetische Hypersensibilität sowohl experimentell als auch anhand von Umfragen in der Bevölkerung untersucht haben. Die meisten Schlussfolgerungen des EU-Berichtes wurden durch die neugewonnenen Erkenntnisse bestätigt. Nach Bewertung der wissenschaftlichen Studienlage hat die WHO in ihrem im Jahr 2005 veröffentlichten Fact Sheet No 296 [24] dargelegt, dass es keinen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen

Feldern und dem Auftreten der Symptome gibt, über die Elektrosensible berichten. Gleichmaßen weisen auch die Deutsche Strahlenschutzkommission und der Wissenschaftliche Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ (SCENIHR) der Europäischen Kommission in ihren Stellungnahmen von 2009 [25], 2011 [26] und 2015 [11] darauf hin, dass die Beschwerden mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf elektromagnetische Felder zurückzuführen sind. Allerdings ergaben epidemiologische Studien, die in verschiedenen Ländern durchgeführt wurden, dass die Zahl der Personen, die sich als elektrosensibel bezeichnen, zugenommen hat. Demzufolge berichten 1,5 % bis 13,3 % der Bevölkerung über unspezifische Beschwerden, die sie mit den Wirkungen von elektromagnetischen Feldern in Verbindung bringen. Eine Rolle bei dieser Entwicklung könnte die in der Öffentlichkeit und in den Medien stärker in den Vordergrund gerückte Diskussion über potentielle Gefahren 41 elektromagnetischer Felder auf die Gesundheit spielen. Allerdings werden diese Diskussionen mit unterschiedlicher Sachkenntnis geführt und lösen in der Bevölkerung zunehmend eine Verunsicherung aus. Viele Menschen sehen daher eine Gefahr in elektrischen Geräten, drahtlosen Anwendungen, Funkmasten oder Hochspannungsleitungen und ziehen in Betracht, dass körperliche Beschwerden ungeklärter Ursache auf die Wirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern zurückgeführt werden können. Demgegenüber stehen jedoch zahlreiche wissenschaftliche Befunde [24] [27], dass die Symptome bei einem nicht unerheblichen Teil der Betroffenen durch psychosomatische Erkrankungen hervorgerufen werden können. Einige Forscher haben in diesem Zusammenhang insbesondere die Rolle des sogenannten Nocebo Effekts diskutiert. Bei diesem Effekt treten die Symptome als Folge einer negativen Erwartungshaltung der betroffenen Person auf: Sie verstärken sich, sobald die Person annimmt, einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt zu sein. Weiterhin werden Neigungen zu Angststörungen, psychosoziale Probleme, Stress, ein generell verschlechterter Gesundheitszustand und ein Ungleichgewicht in der Regulierung des autonomen Nervensystems als mögliche Ursachen der Symptome diskutiert. Fragebogenstudien haben zudem ergeben, dass Betroffene ein erhöhtes Risikobewusstsein für elektromagnetische Felder aufweisen und Frauen häufiger als Männer angeben, unter elektromagnetischer Hypersensibilität zu leiden [23], [24], [28]. Bestätigt wurde weiterhin, dass Personen, die sich als elektrosensibel bezeichnen, eine sehr heterogene Gruppe bilden und sich hinsichtlich der Art und Intensität der Symptome sowie der Zeitspanne im Auftreten bzw. Abklingen der Symptome stark unterscheiden. In den letzten Jahren wurde mehrfach diskutiert, dass nicht auszuschließen ist, dass es einige wenige Personen gibt, die tatsächlich überempfindlich auf elektromagnetische Felder reagieren und bei denen ein ursächlicher Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und gesundheitlichen Beschwerden besteht. Da in den meisten Studien die selbst diagnostizierte Elektrosensibilität meist das einzige Kriterium für die Teilnahme war, ist anzunehmen, dass solche Einzelfälle – sofern es sie gibt – in heterogenen Studiengruppen weitgehend unentdeckt geblieben sind. Allein die Tatsache, dass es einzelne Menschen gibt, die unter schweren gesundheitlichen Problemen leiden, ist Grund genug für eine entsprechende medizinische Betreuung. Auch die Tatsache, dass die meisten Menschen, die sich als elektrosensibel bezeichnen, nur schwache Symptomausprägungen zeigen, erfordert ein entsprechendes Vorgehen. Besonders wichtig ist, dass diese Personen ernst genommen und ihre Beschwerden analysiert und entsprechend behandelt werden. Es konnte mehrfach gezeigt werden, dass die Kognitive Verhaltenstherapie (englisch: cognitive behavioural therapy) ein vielversprechendes Instrument bietet, die Beschwerden der betroffenen Personen zu lindern. Die Therapieform basiert auf der Annahme, dass bestimmte Überzeugungen und negative Stimmungslagen der Betroffenen das Auslösen der Symptome begünstigen können. Den Betroffenen werden während der Therapie Strategien vermittelt, um mit ihren Beschwerden besser im Alltag zurechtzukommen. Ebenso werden sie dabei unterstützt, ihre Verhaltensweisen und Grundeinstellungen zu korrigieren und andere Ursachen als elektromagnetische Felder für ihre Beschwerden in Betracht zu ziehen. Da bisher keine abschließenden Erkenntnisse zu den Ursachen und Wirkmechanismen der elektromagnetischen Hypersensibilität vorliegen, besteht weiterhin Forschungsbedarf auf diesem Gebiet. Dieser setzt sich vor allem aus folgenden Punkten zusammen (vgl. [23]): 42 umfassende Charakterisierung der Betroffenengruppe (Art und Intensität der Symptome, zeitlicher Verlauf des Auftretens und Abklingens der Symptome, mögliche andere zugrundeliegende Krankheitsursachen)

Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zu anderen idiopathischen Umwelterkrankungen wie das Amalgamsyndrom, das chronische Erschöpfungssyndrom, das Sick-Building-Syndrom oder die vielfache Chemikalienunverträglichkeit effiziente Therapieformen, mit denen die Beschwerden der betroffenen Personen behandelt werden können

kombinierte Datenerhebung, bei der gleichzeitig die Belastung durch elektromagnetische Felder im Alltag gemessen wird und die Symptome dokumentiert werden. Zusätzlich zur Bearbeitung von Forschungsfragen sollte das Bewusstsein, dass die Symptome auch durch andere Ursachen als elektromagnetische Felder hervorgerufen werden können, sowohl bei Betroffenen, Ärzten, Medienvertretern als auch Entscheidungsträgern im Gesundheitswesen und in der Politik gestärkt werden.

4.8.4 Weitere gesundheitliche Effekte

In den vorangegangenen Abschnitten liegt ein Hauptaugenmerk auf Krebs und ähnlichen Erkrankungen. Dieser Abschnitt soll noch andere Effekte ergänzen. Ein Teil der aufgeführten Effekte kann auch wieder mit Krebs in Verbindung stehen (z. B. Zellwachstum oder DNA-Strangbrüche). Ein DNA-Strangbruch ist jedoch nicht mit Krebs gleich zu setzen. Die möglichen Effekte werden auch als athermische Effekte bezeichnet, da sie in ihrer biologischen Wirkung mit keiner Wärmewirkung verbunden sind, jedoch eine Reaktion des Körpers hervorrufen können. Was wurde bisher untersucht? Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen, die sich mit athermischen Effekten beschäftigen. Nachfolgend sind exemplarisch einige Themen aufgeführt, mit denen sich Studien beschäftigt haben: Bestimmung der Expositionsdauer, bis sich ein Effekt zeigt [29] Festlegung, ob aktive Zellen sensibler auf Strahlung reagieren als inaktive Zellen [29] Klärung, ob bestehende Zell- oder DNA-Schäden durch EMF-Exposition verstärkt werden [29] DNA-Strangbrüche, Genexpression, Chromatin-Konformation [29], [30] Veränderung im EEG (Hirnaktivität) [31] Zellwachstum, Zellüberleben, Verteilung des Zellzyklus [32] Schlaf [33] Es gibt eine Reihe von Publikationen, in denen teilweise über Veränderungen der o. g. Parameter nach Applikation von elektromagnetischen Feldern berichtet wurde, ohne dass dabei eine Erwärmung des Systems messbar war. Dabei sind allerdings nur solche Veränderungen als gesundheitlich relevant anzusehen, die über die Auslenkung der physiologischen Normen hinausgehen.

4.8.4.1 Mobilfunk – Erkenntnisse außerhalb der Krebsthematik

Im Frequenzbereich oberhalb von ca. 10 MHz, also auch beim Mobilfunk, liegen die Schwellenwerte für nicht-thermische Mechanismen (z. B. Membraneffekte, Kraftwirkungen auf Zellen und molekulare Strukturen) weit oberhalb der 43 Schwellenwerte für thermische Reaktionen. Die Grenzwerte in diesem Frequenzbereich wurden aufgrund thermischer Reaktionen festgelegt und decken diese somit ab. Gerade mit dem zunehmenden Ausbau der Mobilfunknetze wird von Symptomen und gesundheitlichen Effekten berichtet. Hierzu zählen oft unspezifische Beschwerden wie z. B. Kopfschmerzen, Migräne, physische und psychische Leistungsschwäche, chronische Erschöpfung, leichte Reizbarkeit, allgemeines Krankheitsgefühl, Schwindelgefühl, Schlaf-, Konzentrationsstörungen und Appetitlosigkeit. Diskutiert wird dabei insbesondere die Wirkung niederfrequent modulierter Felder des Mobilfunks, wobei ein besonderes Augenmerk vor allem auf den Langzeiteffekten liegt, weitere Infos siehe im obigen Abschnitt über Elektromagnetische Hypersensibilität.

4.8.4.2 Neurodegenerative Erkrankungen und Reproduktion

Es wurden epidemiologische Untersuchungen publiziert, die sich mit dem Zusammenhang zwischen dem Auftreten verschiedener neurodegenerativer Erkrankungen und der Exposition mit Magnetfeldern befassen. Die Studien zeigen keinen klaren Effekt, allerdings ist ihre Beweiskraft begrenzt. Weitere Studien stützen auch keinen kausalen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Feldern und den selbst-berichteten Symptomen (Erfahrungsberichte). Auch gibt es keinen Beweis für die negative Beeinflussung von Schwangerschaften durch niederfrequente Magnetfelder. Gleiches gilt für die Reproduktion [11].

4.8.5 Bewertung der aktuellen Forschung

Wie schon in den vorangegangenen Kapiteln angesprochen wird von Teilen der Allgemeinbevölkerung der Ausbau des Mobilfunknetzes mit Sorgen und Ängsten betrachtet. Daher werden in diesem Kapitel aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse in Bezug auf die Exposition mit Hochfrequenzfeldern kurz zusammengestellt. Die dargestellten Erkenntnisse erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, jedoch soll verdeutlicht werden welcher Erkenntnisstand zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Leitfadens vorlag. Die Forschung an einem Aspekt elektrischer oder magnetischer Felder bedeutet für viele, dass dabei etwas gefährlich oder schädlich sein muss. Es ist jedoch nötig bestehendes Wissen zu überprüfen

und auch neue Erkenntnisse sammeln zu können. Die aktuelle Forschung wird durch wissenschaftliche Ausschüsse bewertet und dann in Form einer Meinung oder eines Berichtes veröffentlicht. Zwei seien hier nochmal genannt: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR, jetzt SCHEER) und die Weltgesundheitsorganisation (WHO). Die aktuellsten Dokumente sind der Weltkrebsreport der WHO [21] und die SCENIHR Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields [11]. Der SCENIHR Opinion [11] können folgende Aussagen entnommen werden: Epidemiologische Studien zeigen in Bezug auf die Exposition durch Mobiltelefone kein erhöhtes Risiko von Gehirntumoren. Auch deutet nichts auf eine Risikoerhöhung von Krebs in der Kopf- und Nackenregion hin. Einige Studien werfen Fragen bzgl. einer Risikoerhöhung von Gliomen und akustischen Neuromen bei Vielnutzern von Mobiltelefonen. Weitere Studien konnten eine Risikozunahme für Gliome nicht bestätigen; für akustische Neuromen besteht noch Unklarheit. Ein möglicher Einfluss auf die Gehirnaktivität durch die Exposition mit hochfrequenten Feldern wird weiter gestützt. 44 Insgesamt besteht ein Mangel an Beweisen, dass Exposition mit hochfrequenten Feldern kognitive Funktionen der Menschen beeinflusst. Die konsistenten Ergebnisse von mehreren Doppelblindexperimenten deuten stark darauf hin, dass mit Kurzzeitexposition von hochfrequenten Feldern ausgelöste Symptome nicht durch HF-Felder verursacht werden. Für Symptome, die mit einer Langzeitexposition zusammenhängen, ist der Beweis von Beobachtungsstudien konsistent und steht gegen einen kausalen Effekt. Es bestehen allerdings Lücken, meist in der objektiven Aufzeichnung der Exposition. Studien zu neurologischen Erkrankungen und Symptomen zeigen keine klare Wirkung, allerdings ist die Beweiskraft begrenzt. Studien zu einem Einfluss auf die männliche Fruchtbarkeit sind bisher von geringer Qualität und haben geringe Beweiskraft. Bei hochfrequenten Feldern mit nichtthermischem Expositionsniveau bestehen keine negativen Effekte auf die Reproduktion und Entwicklung. Studien am Menschen in Bezug auf die Entwicklung und Verhaltensprobleme von Kindern haben widersprüchliche Ergebnisse ergeben und haben auch Einschränkungen in der gewählten Untersuchungsmethode. In [21] sind folgende Punkte in Bezug auf hochfrequente EMF dargestellt: Hochfrequente elektromagnetische Felder werden als möglicherweise krebserzeugend (Gruppe 2B) beim Menschen eingestuft. Studien bei sehr starker Nutzung von Mobiltelefonen haben ein erhöhtes Risiko von Gliomen und akustischen Neuromen festgestellt. Eine dänische landesweite Studie zeigt kein erhöhtes Risiko bei der Entstehung von Gehirntumoren bei Nutzern von Mobiltelefonen. Eine starke Zunahme von Hirntumoren und Nutzung von Mobiltelefonen konnte ausgeschlossen werden, und zwar zumindest bei relativer Kurzzeitznutzung. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Benutzung von Mobiltelefonen und anderen Krebsarten beobachtet. Einige großangelegte Studien im Zusammenhang mit Krebs bei Kindern und elektromagnetischen Feldern, die durch Hochleistungsfernsehsender und oder Radiosender erzeugt werden, ergab Inkonsistenzen oder keinen Zusammenhang. Anhand der oben aufgeführten Punkte wird deutlich, dass viele Ängste in der Bevölkerung nach bisherigem Erkenntnisstand unbegründet sind. Allerdings wird auch klar, dass viele Fragen noch offen sind und weitere Forschung nötig ist