

## **Fachverband für Strahlenschutz e.V.**

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)  
für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz

---



# Leitfaden „Elektromagnetische Felder“

**FS-2019-180-AKNIR**

Eines der Hauptziele der Arbeit des Arbeitskreises "Nichtionisierende Strahlung" (AKNIR) des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. (FS) ist es, Unterlagen in Form von Leitfäden für die in diesem Arbeitskreis fachlich abgedeckten Themengebiete zu erstellen. Darin werden die physikalischen Grundlagen und der derzeitige wissenschaftliche Erkenntnisstand über die biologischen Wirkungen der einzelnen Teilbereiche vermittelt. Darüber hinaus werden die zulässigen Expositionsgrenzwerte und durchzuführenden Schutzmaßnahmen aufgeführt.

Die Leitfäden sollen sowohl den im Arbeitsschutz tätigen Experten als auch jedermann die notwendigen Hilfestellungen geben, um sich über das jeweilige Thema sachlich zu informieren, eventuell die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, aber auch die mitunter von anderer Seite geschürten Ängste in der Öffentlichkeit vor nichtionisierender Strahlung durch sachliche Informationen auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik objektiv darzustellen.

Der vorliegende Leitfaden „Elektromagnetische Felder“ soll allen Interessierten die notwendigen Informationen an die Hand geben, um mit elektromagnetischen Feldern richtig umgehen zu können.

Der Leitfaden „Elektromagnetische Felder“ wurde vom Arbeitskreis "Nichtionisierende Strahlung" des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. (Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA) für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz) erarbeitet.

Dem Arbeitskreis gehören Experten auf dem Gebiet der nichtionisierenden Strahlung aus den Niederlanden, Österreich, der Schweiz und Deutschland an.

Der Arbeitskreis "Nichtionisierende Strahlung" hat außerdem Leitfäden zu folgenden Themen erstellt:

- Sonnenstrahlung
- Inkohärente ultraviolette Strahlung von künstlichen Quellen
- Inkohärente sichtbare und infrarote Strahlung von künstlichen Quellen
- Laserstrahlung
- Lichteinwirkungen auf die Nachbarschaft

Stand: November 2019

Verfasser: Ralf Bodemann  
Jörg Finke  
Joachim von Freeden  
Thomas Gritsch  
Hannah Heinrich  
Mathias Hoffmann  
Peter Jeschke  
Stephan Joosten  
Roland Krischek  
Hans-Dieter Reidenbach  
Klaus Schiessl  
Martin Schreiber  
Eberhard Schühle  
Daniel Storch  
Dominik Stunder

Redaktion und Bezug:  
Prof. Dr. Hans-Dieter Reidenbach  
Sekretär des AKNIR

Technische Hochschule Köln - Forschungsbereich Medizintechnik und  
Nichtionisierende Strahlung

Betzdorfer Str. 2

50679 Köln

Telefon: +49 221 - 8275 2003

Telefax: +49 221 – 8275 2836

E-Mail: [hans.reidenbach@th-koeln.de](mailto:hans.reidenbach@th-koeln.de)

Diesen Leitfaden sowie weitere Publikationen des Fachverbandes für Strahlenschutz  
finden Sie auch unter

<http://www.fs-ev.org/arbeitskreise/nichtionisierende-strahlung/> (Leitfäden)

# Inhalt

1	Einleitung	7
2	Physikalische Grundlagen	9
2.1	Statische Felder	9
2.1.1	Elektrische Felder	9
2.1.2	Magnetische Felder	10
2.2	Periodisch veränderliche Felder	12
2.2.1	Niederfrequenzbereich	14
2.2.2	Hochfrequenzbereich	15
3	Quellen und Anwendungen	17
3.1	Einleitung	17
3.2	Quellen statischer und niederfrequenter Felder	17
3.3	Quellen hochfrequenter Felder	19
3.4	Medizinische Anwendungen	22
4	Wirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen	23
4.1	Einführung	23
4.2	Biologische Wirkungen statischer Felder	26
4.2.1	Wirkungen statischer Magnetfelder	26
4.2.2	Statische elektrische Felder	27
4.3	Wirkung niederfrequenter Felder	27
4.3.1	Körperströme	27
4.3.2	Kontaktströme / Entladungen	28
4.3.3	Oberflächeneffekte	29
4.3.4	Reizwirkung	29
4.4	Wirkungen hochfrequenter Felder	32
4.4.1	Einleitung	32
4.4.2	Thermische Wirkungen	33
4.4.3	Mikrowellenhören	33
4.4.4	Kontaktströme/Entladungen	33
4.5	Zwischenfrequenzbereich	34
4.6	Indirekte Wirkungen	34
4.6.1	Indirekte Wirkung statischer Magnetfelder	34
4.6.2	Entzündung von brennbaren Materialien in HF-Feldern	34
4.7	Beeinflussung von Körperhilfsmitteln	35
4.7.1	Passive Implantate	35
4.7.2	Aktive Implantate	35
4.8	Nicht eindeutig nachgewiesene Effekte und Wirkungen	36
4.8.1	Mutagene und teratogene Effekte	36
4.8.2	Krebs	37
4.8.3	Elektromagnetische Hypersensibilität	39
4.8.4	Weitere gesundheitliche Effekte	42
4.8.5	Bewertung der aktuellen Forschung	43

5	Nationale, europäische und internationale Regelungen zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern	45
5.1	Einleitung und Problemdarstellung	45
5.1.1	Erstellungsprozess von Grenzwerten	46
5.2	Regelungen auf europäischer Ebene	47
5.2.1	Allgemeinbevölkerung	47
5.2.2	Berufliche Exposition	48
5.3	Regelungen in Deutschland	51
5.3.1	Allgemeine Bevölkerung	51
5.3.2	Berufliche Exposition	56
5.3.3	Bundeswehr	57
5.4	Regelungen in der Schweiz	57
5.4.1	Zuständigkeiten	57
5.4.2	Allgemeinbevölkerung	59
5.4.3	Berufliche Exposition	59
5.5	Regelungen in Österreich	62
5.5.1	Allgemeinbevölkerung	62
5.5.2	Berufliche Exposition – die VEMF als Umsetzung der RL 2013/35/EU	62
5.6	Regelungen in anderen Ländern	66
5.7	Vorsorge	66
5.8	Normen	67
5.8.1	Personenschutz mittels Produktnormen (Emissionsbeschränkung)	67
5.8.2	Messungen nach Produktnormen	68
6	Expositionsbewertung, Sachkunde, Fachkunde und sachverständige Stellen	69
6.1	Grundlegender Ansatz zur Expositionsbewertung	69
6.2	Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren	69
6.3	Nachweise zur Sicherheit der Allgemeinbevölkerung	70
6.3.1	Nachweis nach 26. BImSchV	70
6.3.2	Nachweis nach 26. BImSchVVwV	70
6.3.3	Nachweis nach BEMFV	71
6.4	Messungen zur Sicherheit am Arbeitsplatz	71
6.4.1	Messungen nach EMFV	71
6.4.2	Messungen nach DGUV-Vorschrift 15 und DGUV-Regel 103-013	72
6.4.3	Messungen nach Richtlinie 2013/35/EU	72
6.4.4	Messungen zur Beurteilung der Störbeeinflussung aktiver Implantate	73
6.4.5	Ermittlung der Kontakt- und induzierten Körperströme	74
6.5	Berechnung elektrischer und magnetischer Felder	74
6.5.1	Physikalische Grundlagen	74
6.5.2	Rechenverfahren	76
6.5.3	Körpermodelle	76
6.5.4	Unsicherheiten und Grenzen der Einsetzbarkeit	77
6.5.5	Fazit zur Anwendung von Berechnungen	78

6.6	Anforderungen an den Mess- und Berechnungsbericht	78
6.7	Fachkunde, Sachkunde und sachverständige Stellen	79
6.7.1	Beschäftigte in Deutschland	79
6.7.2	Allgemeinbevölkerung in Deutschland	80
6.7.3	Fachkunde in Österreich	81
7	Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen	83
7.1	Einleitung	83
7.2	Ermitteln der Quellen	83
7.3	Beurteilung und individuelle, besondere Gefährdung	83
7.3.1	Träger passiver, metallischer Implantate	84
7.3.2	Träger aktiver, medizinischer Implantate	85
7.3.3	Beruflich Exponierte	85
7.3.4	Allgemeinbevölkerung	85
7.4	Maßnahmen zur Vermeidung oder Minimierung der Gefährdung	85
7.4.1	Substitution (S)	86
7.4.2	Technische Maßnahmen (T)	86
7.4.3	Organisatorische Maßnahmen (O)	87
7.4.4	Personenbezogene Maßnahmen (P)	88
8	Literatur	89
9	Anhang	95
9.1	Messgeräte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder	95
9.1.1	Messgeräte- Auswahl	95
9.1.2	Messgeräte für niederfrequente Felder	95
9.1.3	Messgeräte für hochfrequente Felder	97
9.1.4	Prüfung und Kalibrierung von Messgeräten	99
9.2	Größen und Größenordnungen	100
10	Adressen	101
10.1	Adressen in Deutschland	101
10.2	Adressen in Österreich	102
10.3	Adressen in der Schweiz	102
11	Abkürzungen und Glossar	103

# 1 Einleitung

In den letzten hundert Jahren hat sich das elektrische, magnetische und elektromagnetische Umfeld der Menschen wesentlich verändert. Mit der breiten Nutzung elektrischer Energie sowie elektromagnetischer Strahlung - zum Beispiel für Funkanwendungen - sind zu den seit jeher vorhandenen natürlichen elektromagnetischen Feldern die vom Menschen künstlich erzeugten hinzugekommen. Die Bezeichnung „elektromagnetische Felder“ wird im Folgenden der Einfachheit halber auch als Überbegriff für getrennt vorliegenden elektrische und magnetische Felder benutzt.

Wenn heute über die Frage der gesundheitlichen Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern gesprochen wird, denken einige Menschen an neuere Technologien wie mobile Kommunikation, und sie verknüpfen damit unter Umständen Sorgen um die eigene Lebensqualität und um das Wohl von Kindern. Vom „Elektrosmog“ ist dann häufig die Rede. Ein weiteres Gebiet, in dem bei Menschen Ängste aufgetreten sind, wird in Einrichtungen der elektrischen Energieversorgung und hier insbesondere bei den Hochspannungsleitungen und den damit verbundenen Magnetfeldern gesehen.

In der Öffentlichkeit ist dabei zum Teil die Meinung verbreitet, dass diese Felder für den Organismus schädlich sein könnten. Gefördert wird diese Verunsicherung durch die Tatsache, dass unsere Sinne diese Felder trotz ihres Vorhandenseins (z. B. Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunk) nicht unmittelbar wahrnehmen können und eine Messung oder Berechnung nur von Experten erfolgen kann. Die technischen Unterschiede zwischen Rundfunk und Radar, Mobilfunk und Mikrowellenofen sind für Laien nur schwer verständlich.

In diesem Leitfaden wird das Ziel verfolgt die verschiedenen Erscheinungsformen von elektromagnetischen Feldern, deren Auftreten im Alltag sowie den Stand der Wissenschaft zu den möglichen Wirkungen auf den Menschen zu beschreiben. Aufgrund dieses Wissenstandes wurden in nachvollziehbarer Weise Richtlinien und Grenzwerte ermittelt und zum Teil auch gesetzlich festgelegt, da in der Tat eine Begrenzung zum Schutz der Gesundheit notwendig ist. Werden allerdings Richtlinien und Grenzwerte eingehalten, sind nach allgemeiner Auffassung gesundheitsschädliche Auswirkungen nach heutigem Wissensstand nicht denkbar. Das Spektrum der elektromagnetischen Felder bzw. Wellen umfasst neben den nieder- und hochfrequenten Feldern zwischen den Frequenzen von 0 Hz bis 300 GHz auch das Licht und die Röntgen- bzw. Gammastrahlung. Dieser Leitfaden beschäftigt sich nur mit Feldern im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz (Abbildung 1.1 u. 1.2). Der Frequenzbereich 0 Hz – 100 kHz umfasst die statischen und niederfrequenten Felder (NF). Der Bereich 100 kHz – 300 GHz wird als Hochfrequenz (HF) bezeichnet. Der Bereich oberhalb von 300 MHz ist in der Vergangenheit oft den Mikrowellen zugeordnet worden. Heute ist diese Unterscheidung nicht mehr üblich (Tabelle. 1.1). International sind die Abgrenzungen der Bereiche nicht einheitlich definiert.



Abbildung 1.1: Elektromagnetisches Spektrum mit für die jeweiligen Frequenzbereiche typischen Quellen und Zuordnungen

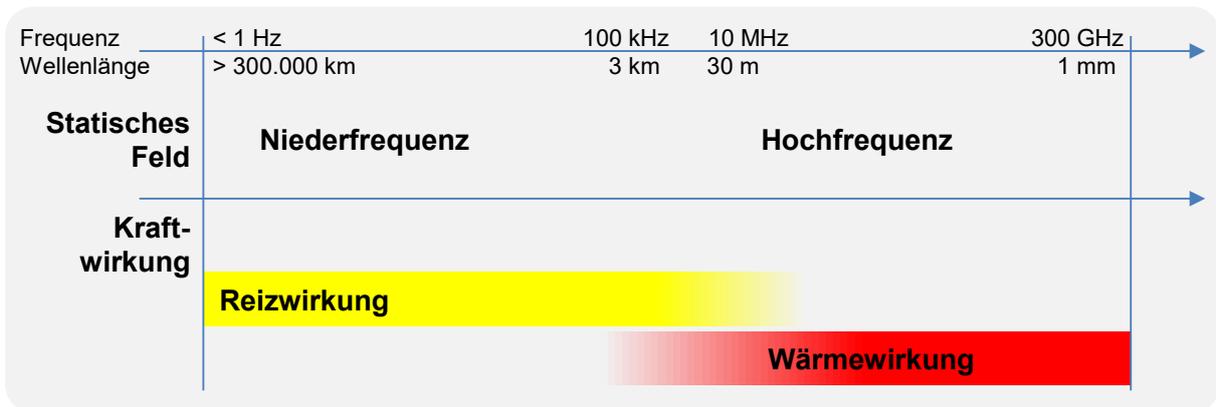


Abbildung 1.2: Frequenzbereiche und Wirkungen elektromagnetischer Felder

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	

## 2 Physikalische Grundlagen

Der Begriff Feld wird im physikalisch-technischen Sinn für Raumgebiete verwendet, in denen sich eine physikalische Größe als Funktion der Raum- und Zeitkoordinaten darstellen lässt. Die hier betrachteten elektrischen und magnetischen Felder sind Vektorfelder, bei denen jedem Ort und jedem Zeitpunkt in einem betrachteten Raum ein Vektor der Feldstärke zugeordnet wird. Falls sich die Größen nicht mit der Zeit ändern spricht man von statischen Feldern.

### 2.1 Statische Felder

#### 2.1.1 Elektrische Felder

Statische elektrische Felder werden durch die Anwesenheit von elektrischen Ladungen im Raum hervorgerufen. Bringt man eine kleine ruhende Ladung  $q$  in ein elektrisches Feld, das durch diese Ladung nicht verändert wird, so wirkt auf  $q$  die Coulomb-Kraft  $\vec{F}$ .

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Die elektrische Feldstärke  $\vec{E}$  am Ort der Probeladung ist dabei ein Maß für die Stärke der auf die Probeladung wirkenden Kraft. Die Einheit der elektrischen Feldstärke  $\vec{E}$  ist Volt pro Meter (V/m), sie ist wie die Kraft ein Vektor, d. h. sie besitzt einen Betrag und eine Richtung. Sowohl die Coulomb-Kraft als auch die elektrische Feldstärke zeigen in die gleiche Richtung.

Die Abbildung 2.1 zeigt ein schematisches Feldlinienbild zwischen zwei Kugelladungen. Die Dichte der Feldlinien ist dabei ein Maß für den Betrag der Feldstärke, die an der Kugeloberfläche am größten ist. Gleichzeitig gibt die Tangente der Feldlinien die Richtung des Feldstärkevektors in jedem Punkt an. Vereinbarungsgemäß ist dieser stets von der positiven zur negativen Ladung gerichtet. Elektrische Feldlinien beginnen und enden somit auf Ladungen.

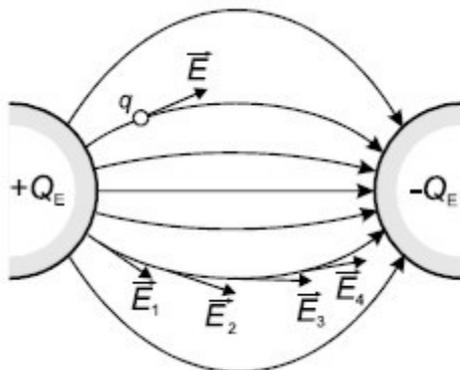


Abbildung 2.1: Feldbild zur Definition der elektrischen Feldstärke  $\vec{E}$

Wird die Probeladung von einem Punkt im Raum zu einem anderen bewegt, so ist hierfür aufgrund der auf die Ladung wirkenden Kraft eine Arbeit notwendig. Die potentielle Energie der bewegten Ladung ändert sich entsprechend:

$$\Delta W = q \cdot \Delta\varphi$$

Die auftretende Potentialdifferenz  $\Delta\varphi$  wird als elektrische Spannung  $U$  bezeichnet. Bei Bewegungen senkrecht zur Krafrichtung ist keine Arbeit notwendig, es tritt keine Veränderung der potentiellen Energie auf. Diese Orte konstanten Potentials werden Äquipotentiallinien oder Äquipotentialflächen genannt. Sie können zusätzlich zu den Feldlinien in die Feldbilder eingetragen werden und stehen stets senkrecht auf den Feldlinien. Abbildung 2.2 zeigt eine Kugelladung mit radial nach außen gerichteten Feldlinien und den zugehörigen Äquipotentiallinien.

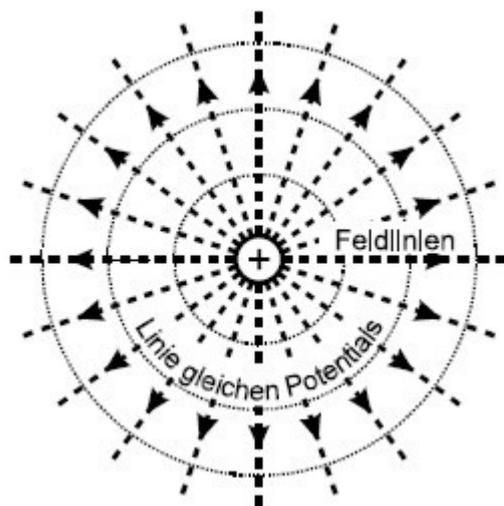


Abbildung 2.2: Darstellung des elektrostatischen Feldes durch Feldlinien und Äquipotentiallinien

Elektrische Felder sind immer dann vorhanden, wenn zwischen zwei Punkten eine Potentialdifferenz, also eine elektrische Spannung besteht oder Ladungen im Raum vorhanden sind. In einem homogenen Feld kann die Feldstärke direkt als der Quotient aus der Spannung ( $U$  in Volt) zwischen zwei Äquipotentiallinien und deren Abstand  $d$  angegeben werden.

$$E = U/d$$

Im inhomogenen Feld gilt die differentielle Beziehung

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi \quad .$$

Das elektrostatische Feld ist ein Quellenfeld, wobei die Ladungen die Quellen darstellen.

### 2.1.2 Magnetische Felder

Werden Ladungen in einem magnetischen Feld bewegt, so wird eine elektrische Feldstärke induziert, die senkrecht auf dem Geschwindigkeitsvektor  $\vec{v}$  und dem Vektor

der magnetischen Induktion  $\vec{B}$  steht. Dieser Zusammenhang lässt sich mathematisch mit einem Kreuzprodukt ausdrücken.

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

Der Betrag der elektrischen Feldstärke kann auch mit dem Winkel  $\alpha$  zwischen dem Geschwindigkeitsvektor und dem Induktionsvektor berechnet werden.

$$E = v \cdot B \cdot \sin(\alpha)$$

Mit der Gleichung für die vom elektrischen Feld vermittelte Kraft gilt entsprechend:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

Für eine positive Ladung lässt sich dieser Zusammenhang mit der Abbildung 2.3 verdeutlichen.

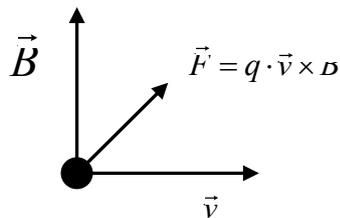


Abbildung 2.3 Kraft auf eine bewegte negative Ladung im magnetischen Feld

Gleichförmige Bewegungen von Ladungsträgern verursachen statische magnetische Felder, wie z. B. in einem von Gleichstrom durchflossenen Leiter, und lassen sich wie elektrische Felder durch Feldbilder veranschaulichen. Lange gerade Leiter werden von kreisförmigen magnetischen Feldlinien umschlossen, siehe Abbildung 2.4.

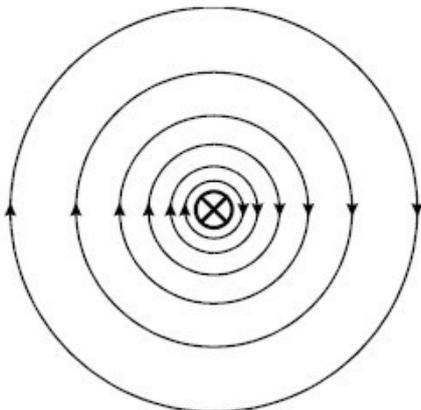


Abbildung 2.4 Magnetische Feldlinien um einen stromdurchflossenen Leiter

Das Wegintegral über einen geschlossenen Umlauf um den Leiter liefert den dort fließenden Strom.

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = I$$

Entlang einer Feldlinie mit dem Radius  $r$  ist die magnetische Feldstärke konstant. Für einen geschlossenen Umlauf entlang des Umfangs der Feldlinie ergibt sich:

$$H \cdot 2\pi \cdot r = I.$$

Dadurch folgt für den Betrag der magnetischen Feldstärke:

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}.$$

Im Gegensatz zu elektrischen Feldern gibt es für magnetische Felder keine Quellen. Magnetische Feldlinien sind in sich geschlossen und umschließen gleichzeitig den sie ursächlichen Strom, sie werden deshalb als Wirbelfelder bezeichnet. Der Betrag und die Richtung der magnetischen Feldstärke sind ein Maß für die Kraftwirkung. Ihr Betrag ist dabei proportional zum umschlossenen Strom. Diese Möglichkeit zur Feldverstärkung macht man sich in Magnetspulen mit vielen Windungen zunutze.

Die Einheit der magnetischen Feldstärke  $H$  ist Ampere pro Meter (A/m).

Zur Beschreibung von Magnetfeldern im Niederfrequenzbereich wird auch die magnetische Flussdichte (magnetische Induktion)  $B$  verwendet, welche die Materialeigenschaft des Mediums berücksichtigt. Die Einheit der magnetischen Flussdichte ist Tesla (T oder V·s/m<sup>2</sup>). Diese hat die ältere Einheit Gauß (G) abgelöst, wobei gilt: 1 G = 0,1 mT = 100 µT.

Die magnetische Flussdichte  $B$  ist über die Materialkonstante Permeabilität  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$  ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (~1,257·10<sup>-6</sup>) Vs/Am für das Vakuum) mit der magnetischen Feldstärke verknüpft:

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

In Luft und auch in biologischem Gewebe ist die relative Permeabilität  $\mu_r \approx 1$ , so dass eine magnetische Feldstärke von 1 A/m einer magnetischen Flussdichte von 1,257 µT entspricht. Für die biologische Bewertung von magnetischen Feldern muss immer nur eine der beiden Größen angegeben werden.

Bei statischen Magnetfeldern nimmt, ebenso wie bei entsprechenden statischen elektrischen Feldern, die Feldstärke mit zunehmendem Abstand  $r$  von der Quelle ab. Abhängig von der Konfiguration nehmen die Feldstärken mit mindestens  $1/r$  ab, bei benachbarten Hin- und Rückleitern, bzw. Punktladungen und ebenen Schleifen mit  $1/r^2$  (s. Abb. „Abstandsquadratgesetz“, Abbildung 2.7).

## 2.2 Periodisch veränderliche Felder

Ändern sich Strom und Spannung zeitlich, so schlagen sich diese Änderungen auch in den Feldern nieder. Die Abbildung 2.5 bzw. 2.6 zeigen den zeitlichen Verlauf der elektrischen Feldstärke, die durch eine sinusförmige Wechselspannung verursacht wird.

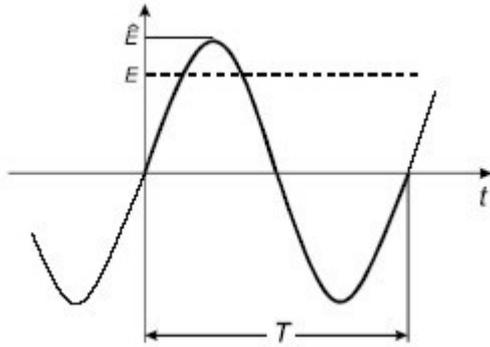


Abbildung 2.5 Harmonische Schwingungen am Beispiel der elektrischen Feldstärke (Effektivwert  $E$ , Maximalwert  $\hat{E}$ , Periodendauer  $T$ )

Zur Beschreibung von Wechselfeldern sind weitere Kenngrößen notwendig, die im Folgenden eingeführt werden.

Als Frequenz  $f$  bezeichnet man die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, was dem Kehrwert der Periodendauer  $T$  entspricht:

$$f = 1/T$$

Die Lichtgeschwindigkeit als Ausbreitungsgeschwindigkeit der Felder im jeweiligen Medium ergibt sich aus:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \varepsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \varepsilon_0 \sqrt{\mu_r \cdot \varepsilon_r}}} = \frac{c_0}{\sqrt{\mu_r \cdot \varepsilon_r}}$$

Darin ist  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

Als Wellenlänge wird die Strecke bezeichnet, die das Feld während einer Periodendauer  $T$  zurücklegt.

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

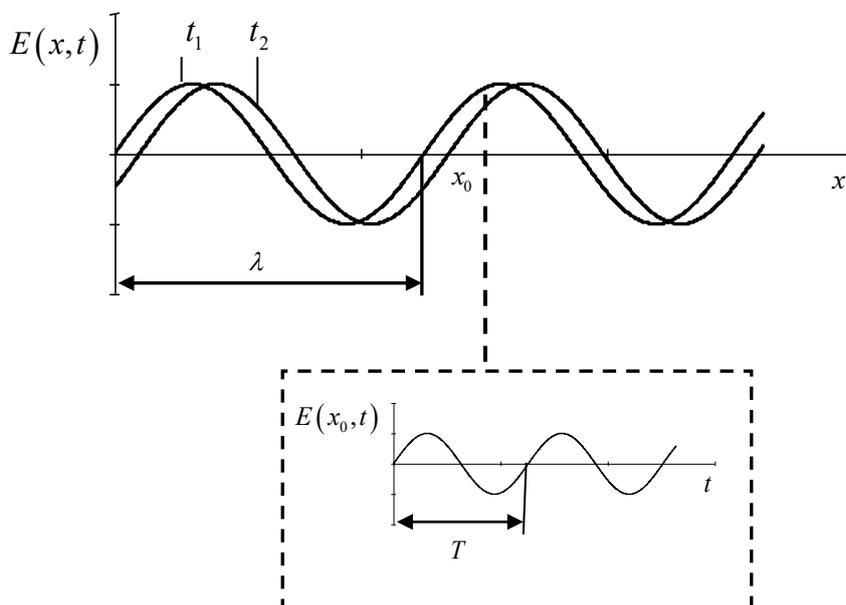


Abbildung 2.6: Ausbreitung einer Welle (räumliche Ausbreitung und zeitliche Schwingung am Ort  $x_0$ )

Alle zeitabhängigen Größen werden durch ihre Effektivwerte oder Spitzenwerte beschrieben.

Bei statischen und niederfrequenten Feldern können das elektrische und magnetische Feld getrennt bzw. als entkoppelt voneinander betrachtet werden. Dies bedeutet, dass das elektrische Feld nur von der Spannung  $U$  und das magnetische Feld nur vom Strom  $I$  abhängt. Mit zunehmender Frequenz ( $f > 30$  kHz) ist diese Betrachtungsweise immer weniger zulässig, da jede Änderung des elektrischen Feldes ein Magnetfeld bedingt und gleichzeitig jede Änderung des Magnetfeldes ein elektrisches Feld verursacht.

Da im Fernfeld bei hohen Frequenzen keine Trennung von elektrischem und magnetischem Feld mehr vorgenommen werden kann, spricht man hier von elektromagnetischen Feldern.

Während niederfrequente Felder bedingt durch die geometrischen Abmessungen im Wesentlichen an ihre Quellen gebunden sind, kann es im hochfrequenten Bereich zu einer Ablösung und Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen in den Raum kommen. Das ist immer dann der Fall, wenn die von den zeitlich veränderlichen Strömen durchflossenen Gebilde Abmessungen haben, die in der Größenordnung der Wellenlänge liegen („Antennenbedingung“). Man spricht dann von der Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung.

Sowohl niederfrequente als auch hochfrequente elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder können in leitfähigen Körpern Ströme influenzieren bzw. induzieren (siehe Abschnitt 4).

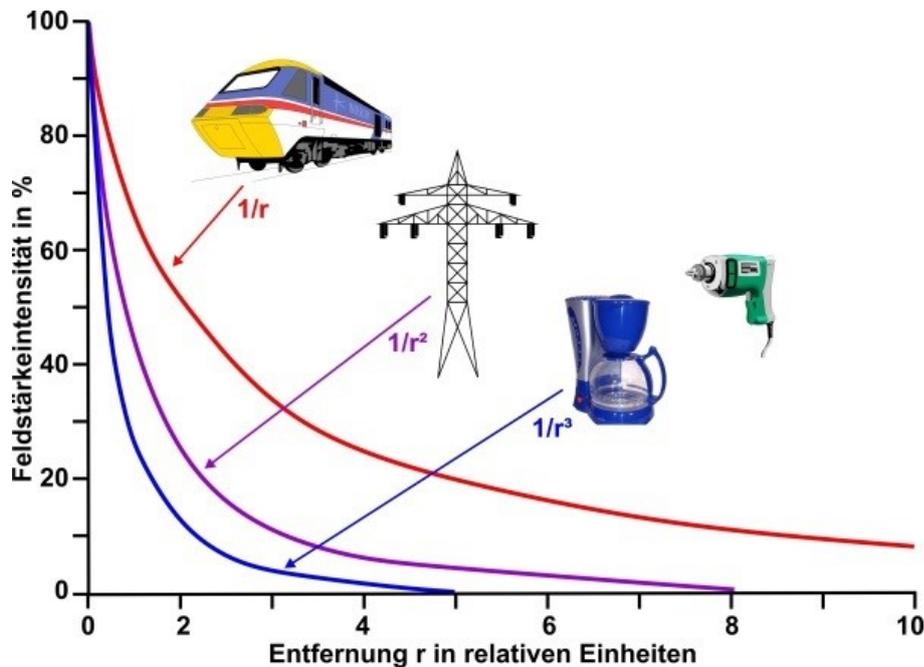
Manche Wirkungen elektromagnetischer Wechselfelder lassen sich nur mit Hilfe des Dualitätssprinzips veranschaulichen, indem sie nicht nur als wellenförmige Vorgänge, sondern auch als Strahlungsquanten (Photonen) betrachtet werden. Die Quanten- oder Photonenenergie  $W$  ergibt sich als Produkt aus dem Planckschen Wirkungsquantum  $h$  (mit  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  J·s =  $4,14 \cdot 10^{-15}$  eVs) und der Frequenz  $f$ .

$$W = h \cdot f$$

Da die Quantenenergie mit steigender Frequenz zunimmt, erhält man den größten Wert für die höchste Frequenz im definierten Frequenzbereich für elektromagnetische Felder. Mit  $f = 300$  GHz ergibt sich eine maximale Quantenenergie von  $2 \cdot 10^{-22}$  W·s, die um etwa 4 Größenordnungen unterhalb der zur Ionisation erforderlichen Energie liegt. Deshalb rechnet man diesen Frequenzbereich auch der nichtionisierenden Strahlung (Abbildung 1.1) zu.

## 2.2.1 Niederfrequenzbereich

Im gesamten Niederfrequenzbereich, aber insbesondere bei den in der elektrischen Energieversorgung eingesetzten Frequenzen, sind elektrische und magnetische Felder weitestgehend entkoppelt, so dass jede Feldkomponente getrennt gemessen/berechnet und bewertet werden kann. Dabei ist das elektrische Feld mit der Spannung und das magnetische Feld mit dem Strom verknüpft. Die Feldstärken verhalten sich je nach Art der Quelle mindestens umgekehrt proportional zum Abstand (linienhafter Leiter), umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes (Mehrleitersysteme) und umgekehrt proportional zur dritten Potenz des Abstands – z. B. bei Spulen (vgl. Abbildung 2.7).



$1/r$ : Feld eines geraden langen stromdurchflossenen Leiters (z. B. Bahnstromleitung)  
 $1/r^2$ : Feld durch Überlagerung zweier Leiter mit hin- und rückfließendem Strom  
 $1/r^3$ : Feld einer Zylinderspule (z. B. Elektromotor)

Abbildung 2.7 Beispiel für die Abnahme der magnetischen Feldstärke mit zunehmender Entfernung von der Feldquelle (willkürliche Einheiten) (Quelle: EMF-Portal ([www.emf-portal.org](http://www.emf-portal.org)))

## 2.2.2 Hochfrequenzbereich

In diesem Frequenzbereich können sich elektromagnetische Wellen von der Quelle ablösen und anders als im Niederfrequenzbereich in den Raum ausbreiten, da hier die „Antennenbedingung“ (wenn die von den zeitlich veränderlichen Strömen durchflossenen Gebilde Abmessungen haben, die in der Größenordnung der Wellenlänge liegen) wesentlich einfacher zu erfüllen ist. Durch diesen Prozess wird Energie in den elektrischen und magnetischen Anteilen des elektromagnetischen Feldes von der Quelle in den Raum abgestrahlt. Die Strahlungsleistung pro Flächeneinheit wird auch als Leistungsdichte  $\vec{S}$  bezeichnet und ist gleich dem Betrag des vektoriellen Produktes aus elektrischer und magnetischer Feldstärke.

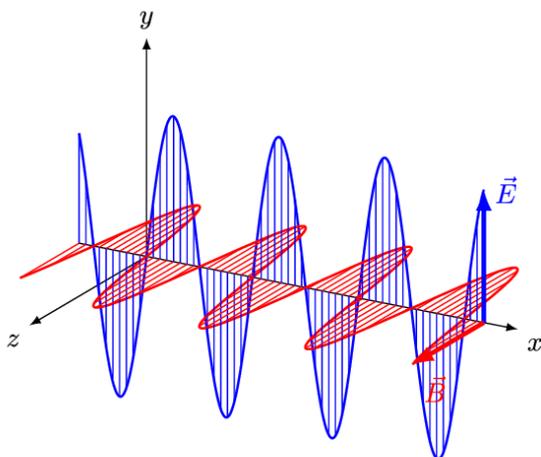


Abbildung 2.8 Elektromagnetische Transversalwelle (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)

Die Einheit der Leistungsdichte  $S$  ist Watt pro Quadratmeter ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Häufig findet man auch Angaben in Milliwatt pro Quadratcentimeter ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ), dabei gilt:  $1 \text{ W}/\text{m}^2 = 0,1 \text{ mW}/\text{cm}^2$ .

Beim Durchgang durch Materie kann je nach Frequenz und Material Strahlungsenergie der elektromagnetischen Welle in unterschiedlichem Maße absorbiert und in Wärme umgewandelt werden. Der Begriff Eindringtiefe kennzeichnet jene Weglänge in der Materie, nach der die Leistungsdichte auf ca. 37% ihres Ausgangswertes (entsprechend  $1/e$ ) abgenommen hat. Die Eindringtiefe nimmt mit steigender Frequenz ab und begrenzt sich bei einigen GHz nur noch auf oberflächennahe Gewebeschichten (siehe Abbildung 2.9).

Wird die in Wärme umgewandelte Strahlungsenergie auf die Masse des betrachteten Körpers bezogen, so erhält man die spezifische Absorptionsrate  $SAR$  (in Watt pro Kilogramm ( $\text{W}/\text{kg}$ )).

Das Abstrahlverhalten einer Strahlungsquelle wird im Wesentlichen vom Verhältnis der größten Abmessung der Strahlungsquelle zur Wellenlänge bestimmt, wobei die Bündelung bei Flächenantennen umso stärker ist, je größer die Antennenabmessung im Vergleich zur Wellenlänge ist.

Die Eigenschaften des Strahlungsfeldes hängen aber auch von der Entfernung zur Antenne ab. Man unterscheidet hier Nahfeld und Fernfeld. Ist der Abstand von der Antenne groß gegenüber der Wellenlänge der Strahlung, so befindet man sich im Fernfeld. Hier sind elektrische und magnetische Feldstärke in Phase und ihre Vektoren stehen senkrecht aufeinander (Abbildung 2.8). Das Verhältnis aus elektrischer und magnetischer Feldstärke ist eine reelle konstante Größe und wird als Feldwellenwiderstand bezeichnet.

Zur Beschreibung der Strahlungsbedingungen genügt im Idealfall im Fernfeld die Angabe der Leistungsdichte nach Betrag und Richtung. Durch Reflexionen und Überlagerungen können sich jedoch auch im Fernfeld örtlich stark unterschiedliche Feldbedingungen (Feldstärken) ergeben.

Im Nahfeld sind die Verhältnisse wesentlich komplizierter. In diesem Fall sind das elektrische und das magnetische Feld getrennt zu betrachten. Die Ausdehnung des Nahfelds hängt im Allgemeinen von der Wellenlänge und der Geometrie der Feldquelle ab und kann 1 bis 6 Wellenlängen, beispielsweise bei Flächenantennen aber auch wesentlich mehr betragen.

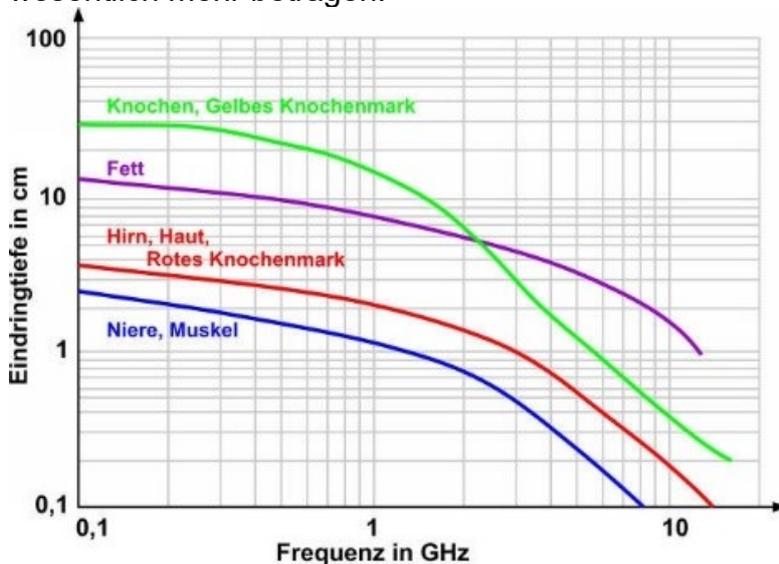


Abbildung 2.9: Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Frequenz und Gewebeart (Quelle: EMF-Portal ([www.emf-portal.org](http://www.emf-portal.org)))

### 3 Quellen und Anwendungen

#### 3.1 Einleitung

Die Anwendungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder in der Industrie und der Kommunikationstechnik sind sehr vielseitig. Dabei wird in vielfältiger Weise der gesamte Frequenzbereich zwischen 0 Hz und 300 GHz ausgenutzt. Eine Übersicht über die unterschiedlichen Anwendungsgebiete enthält Tabelle 3.1. Die genehmigte Nutzung von Frequenzen kann bei der Bundesnetzagentur eingesehen werden.

Tabelle 3.1 Frequenzbereiche und Anwendungsgebiete

Frequenzbereich	Anwendungsgebiete / Quellen
Statische Felder / Gleichfeld	Medizin, Elektrolyse, Galvanotechnik, Hochenergiebeschleunigertechnologie, Metallurgie, Hochspannungsgleichstromübertragung
< 30 kHz	Energieversorgung, Bahnstromleitungen, Induktionswärme
< 3 MHz	Schweißen, Schmelzen, Rundfunk, Funkverkehr, Radionavigation, induktive Energieübertragung
3 MHz – 30 MHz	Industrie, Aufwärmen, Trocknen, HF-Schweißen, Leimen, Polymerisieren, Sterilisieren, Landwirtschaft, Medizin, Radioastronomie, Rundfunk
300 MHz – 3000 MHz	Fernsehen, Radar, Richtfunk, Mobilfunk, Telemetrie, Medizin, Mikrowellenöfen, Nahrungsmittelindustrie
3 GHz – 30 GHz	Radar, Navigation, Richtfunk, Satelliten
30 GHz – 300 GHz	Radioastronomie, Radiometrologie, Raumforschung, Radiospektroskopie

Es gibt eine Vielzahl von Quellen für elektrische und magnetische Felder. Ob und in welcher Stärke diese Geräte und Anlagen Felder emittieren, hängt stark von der jeweiligen technischen Ausführung ab. Die Tabellen 3.2 bis 3.4 geben einen Überblick über die Feldstärken von typischen Quellen im Alltag, in der Industrie und der Medizin. An einer konkreten Anlage/Gerät können die realen Expositionswerte durch spezifische Besonderheiten der Exposition um mehr als eine Größenordnung abweichen.

#### 3.2 Quellen statischer und niederfrequenter Felder

Tabelle 3.2 Beispiele für Feldstärken statischer und niederfrequenter Felder

Messbedingungen	Frequenz	Abstand	Elektrische Feldstärke	Magnetische Flussdichte
380 kV Hochspannungsfreileitung 50 Hz (6 Leiter, 1300 A/Phase, Spannfeldmitte)	50 Hz	Unter den Leitungen	10.000 V/m	15 µT
		50 m zur Trassenmitte	250 V/m	2,5 µT
		200 m zur Trassenmitte	-	0,1 µT
110 kV Hochspannungsfreileitung 50 Hz (6 Leiter, 325 A/Phase)	50 Hz	Unter den Leitungen	2.000 V/m	4,2 µT
		50 m zur Trassenmitte	<100 V/m	0,5 µT
		200 m zur Trassenmitte	-	0,05 µT

Messbedingungen	Frequenz	Abstand	Elektrische Feldstärke	Magnetische Flussdichte
Freiluftschaltanlage	50 Hz	Innerhalb der Anlage	< 12 kV/m	<150 $\mu$ T
Ortsnetztrafostation	50 Hz	Außenwand 2 m		100 $\mu$ T 2 $\mu$ T
Hintergrundfeldstärke in Haushalten	50 Hz			0,01 – 0,3 $\mu$ T
Haushaltsgeräte	50 Hz	30 cm 3 cm	10 – 250 V/m	0,01 – 1 $\mu$ T 0,3 – 2.000 $\mu$ T
Induktionskochherd	25 kHz	Hände Körper		450 $\mu$ T 36 $\mu$ T
Niederspannungskabel (3 Leitungen, 50 A/Phase, unsymmetrische Belastung 5 A)	50 Hz	In der unmittelbaren Nähe des Leiters , auf dem Leiter 3 m		1-2 $\mu$ T Ca. 80 $\mu$ T 0,3 $\mu$ T
Eisenbahn	16,7 Hz	Am Bahnsteig Anfahren E-Lok , 1m Fahrgastraum		12 $\mu$ T 5-70 $\mu$ T
Handgeführte elektr. Betriebsmittel (Bohrmaschine)	50 Hz	Oberfläche 0,2 m		100 – 500 $\mu$ T <10 $\mu$ T
Induktionsschmelzofen (Industriearbeitsplatz)	50 Hz- 10 kHz	0,5 – 1 m		100 $\mu$ T – 1.000 $\mu$ T
Induktives Erwärmen (Industriearbeitsplatz)	0,15 – 10 kHz	0,1 – 1 m		15 – 1.250 $\mu$ T
Glühen von Schweißnähten (Industriearbeitsplatz)	10 kHz	0,3 m		2.200 $\mu$ T
Elektroschweißgerät (100 A)	50 Hz	0,7 m Oberfläche Kabel 0,2 m		62 $\mu$ T 200 $\mu$ T 20 $\mu$ T
Magnetabscheider	50 Hz	Oberfläche 0,5 m		10.000 $\mu$ T 2.500 $\mu$ T
Entmagnetisieranlage		An der Entmagnetisierplatte Ort der Bedienerperson		10.000 $\mu$ T 500 – 5.000 $\mu$ T
Punktschweißanlage (10 – 30 kA)	50 Hz	0,1 m Ort der Bedienerperson		5.000 – 10.000 $\mu$ T 500 – 5.000 $\mu$ T
Rissprüfanlage	50 Hz	Oberfläche Spule Ort der Bedienerperson		5.000 – 15.000 $\mu$ T 500 – 5.000 $\mu$ T
Artikelsicherungsanlage	58 kHz	für Detektion an der Antenne (10 cm – 20 cm) Deaktivator		ca. 100 $\mu$ T – 200 $\mu$ T 1.000 – 2.000 $\mu$ T
Erdmagnetfeld	0 Hz			30 – 60 $\mu$ T
Magnetspannplatte	0 Hz	Oberfläche 0,2 m		50.000 – 150.000 $\mu$ T 500 – 2.500 $\mu$ T
Permanentmagnet Schönwetter	0 Hz	Oberfläche	100 – 500 V/m	3.000.000 $\mu$ T
Gewitter	0 Hz		3.000 – 20.000 V/m	

### 3.3 Quellen hochfrequenter Felder

Tabelle 3.3 Beispiele für Feldstärken hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Quelle	Frequenz	Abstand	Typische Werte	Bemerkungen
Mikrowellen-Kochgeräte	2,45 GHz	5 cm 30 cm	0,62 W/m <sup>2</sup> 0,06 W/m <sup>2</sup>	Gerätestandard
Artikelsicherungsanlagen	39,5 kHz	10cm	125 A/m	Gepulst
	132 kHz	10 cm	21 A/m	Gepulst mit 85 Hz
	2,05 MHz	10 cm	0,24 A/m	Gewobbelt 141 Hz
	8,2 MHz	10 cm	0,17 A/m	Gewobbelt 85 Hz
UKW Rundfunk	87,5 – 108 MHz	3 km	0,6 V/m	Sendeleistung 30 kW
	100 MHz	80 m	8 V/m	100 kW
TV-Sender (UHF)	470 – 790 MHz	1 km	0,1 V/m	100 kW
		1 km	2 V/m	300 kW
Kurzwellen	3,95 – 26,1 MHz	220 m	27,5 V/m	500 kW
		50 m	121 V/m	
Langwelle	200 kHz	120 km	0,02 V/m	500 kW
		50 m	450 V/m	
Mittelwelle	830 kHz	100 m	10 V/m	100 kW
		3,2 km	0,8 V/m	150 kW
BOS-Funk	162-174 MHz	2 m	10 W	Basisstation Mobilteil
	380-410 MHz	0,75 m	45 W 3 W	
Amateurfunk	2,4 GHz	80 m	50 mV/m	150 W
	27 MHz	200 m	50 mV/m	200 W
CB-Funk	27 MHz	5 cm	1.000 V/m, 0,2 A/m	4 W
		12 cm	200 V/m, 0,1 A/m	
Powerline	4,8 MHz	1 cm	15 mV/m	
WLAN	2,4 GHz	10 cm	0,1 W/m <sup>2</sup>	Accesspoint
	5 GHz	1 m	0,01 W/m <sup>2</sup>	100 mW
DECT-Basisstation	1,9 GHz	1 m	0,02 W/m <sup>2</sup>	250 mW
DECT-Telefon	1,9 GHz	10 cm	1 mW/m <sup>2</sup>	
Bluetooth	2,4 GHz	1 m	0,2 mW/m <sup>2</sup>	1 mW
Flugsicherungsradar	1 – 10 GHz	Nahbereich	0,01 – 10 W/m <sup>2</sup>	CW-Leistung: Hauptstrahl 0,2 – 20 kW
		>1 km	<0,5 W/m <sup>2</sup>	
		23 cm	132 m	100 W/m <sup>2</sup> (während Puls)
Verkehrsradar	9 – 35 GHz	33 m	100 W/m <sup>2</sup> (Puls)	300 W (200 kW Puls)
		3 m	250 µW/m <sup>2</sup>	Leistung: 0,5 – 10 mW
Autoabstandsradar	24 GHz	10 m	10 µW/m <sup>2</sup>	
		30 m	15 µV/m	
Richtfunk	10 – 20 GHz	500 m	0,4 mW/m <sup>2</sup>	Leistung 0,5 W, im Hauptstrahl

Quelle	Frequenz	Abstand	Typische Werte	Bemerkungen
Handy – GSM (2G)	D-Netz (900 MHz)	2,2 cm	2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ < 100 V/m,	20 m unter Hauptstrahl Leistung 2 W)
Smartphone (2G, 3G, 4G)	700 MHz – 2,7 GHz	2,2 cm	< 60 V/m, 0,6 – 1,6 W/kg	Leistung 0,25 W < 1,6 W/kg (SAR)
Mobilfunk-Basisstation 2G – GSM 3G – UMTS 4G – LTE 5G – LTE	700 MHz – 3,6 GHz (zukünftig bis 26 GHz bei 5G)	50 m	0,6 V/m -8 V/m	Leistung 300 W – 1000 W, inkl. Richtwirkung der Antennen bis 100 kW EIRP <sup>1</sup>
Grundrauschen	10 kHz		2 mV/m	Weltweite Gewittertätigkeit / Schwarzkörperstrahlung der Erde
	100 kHz		500 $\mu\text{V}/\text{m}$	
	1 MHz		2 $\mu\text{V}/\text{m}$	
	100 MHz		1 $\mu\text{V}/\text{m}$	
Induktive Erwärmung	100 kHz – 10 MHz	0,5 – 1 m	1.000 V/m, 250 A/m 0,2 – 12 A/m	Leistung 2 – 100 kW
		Ort der Bedienungsperson		
Induktives Löten	300 – 600 kHz	Ort der Bedienungsperson	800 V/m	abgeschirmt
Dielektrisches Plastikschiweißen	27,12 MHz	Rumpf	50 – 1.000 V/m, bis 8 A/m	Leistung 1 – 10 kW
		Hände	Bis 1.500 V/m, bis 7 A/m	
Dielektrische Pressmaschinen: - Vorwärmung - Verleimung - Trocknung	27,12 MHz	0,5 m	170 V/m	Leistung 2 kW Leistung 1,5 kW
		0,5 m	200 V/m	
		Ort der Bedienungsperson	6 – 8 V/m	
Induktives Härten	27,12 MHz	Ort der Bedienungsperson	0,43 A/m	Leistung 4 kW
Dielektrisches Vulkanisieren	915 MHz – 2,45 GHz	Ort der Bedienungsperson	0,7 – 5 W/m <sup>2</sup>	

Die Mobilfunktechnik war in den letzten Jahren einer ständigen Modernisierung unterworfen. 1992 gingen die ersten modernen 2G-GSM-Mobilfunknetze in Betrieb. Damals waren noch Sendeleistungen von weniger als 50 W für einen Mobilfunkstandort üblich. Mit der Einführung von Funksystemen wie UMTS (3G), LTE (4G) und zukünftig 5G sowie der Modernisierung der bestehenden Techniken wie GSM durch EDGE hat sich die Sendeleistung eines Mobilfunkstandorts deutlich erhöht. Von einem Netzbetreiber beträgt die typisch installierte Sendeleistung heutzutage 300 W bis 1000 W. Für die Immissionsbewertung im Umfeld eines Mobilfunkstandorts ist neben Abstand und Höhenunterschied zum Immissionspunkt zusätzlich der Bündelungseffekt (typisch Faktor 30 bis 60) durch die Richtwirkung der Mobilfunk-Sektorantennen zu berücksichtigen. Die bei 5G geplanten "massiv MIMO"-Antennen<sup>2</sup> können die bisher breitgefächerte Abstrahlung einer Mobilfunkbasisstation gezielt auf bestimmte

<sup>1</sup> Equivalent Isotropic Radiation Power

<sup>2</sup> MIMO steht für Multiple In und Multiple Out

Bereiche fokussieren, in denen einzelne Nutzer z. B. eine hohe Datenbandbreite benötigen. Durch diese Fokussierung werden Antennenverstärkungsfaktoren bis zum Faktor 250 erreicht. Diese bedarfsgesteuerte Fokussierung ermöglicht wiederum in Bereichen in denen kein oder nur geringer Bedarf besteht einer Reduktion der Exposition.

Die bei Mobilfunkendgeräten (Handys) in der Typenprüfung (DIN EN 50360 / 50361) ermittelten Werte für die spezifische Absorptionsrate (SAR) können für alle gängigen Gerätetypen im Internet auf verschiedenen Seiten z. B. [www.bfs.de](http://www.bfs.de), [www.handywerte.de](http://www.handywerte.de) eingesehen werden. Bei einer Untersuchung von 111 Handys lag der Mittelwert bei 1 W/kg. Der geringste Wert betrug 0,2 W/kg, der höchste 1,4 W/kg. Für TETRA-Handgeräte (TETRA = terrestrial trunked radio) liegen z. Z. erst wenige Daten vor. Bei 1 W-Geräten wurden ca. 1 W/kg gemessen, bei 3 W-Geräten bis zu 2,88 W/kg (gemittelt über 10 g). TETRA ist allerdings ein Funkstandard für behördliche Anwendungen und daher nicht privat erhältlich.

Durch die Bundesnetzagentur werden jedes Jahr über 1000 Messungen der elektromagnetischen Felder im Frequenzbereich 9 kHz bis 3 GHz an unterschiedlichen öffentlich zugänglichen Plätzen über ganz Deutschland verteilt durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen können im Internet auf der Seite [www.bundesnetzagentur.de](http://www.bundesnetzagentur.de) eingesehen werden. In dieser Internet - Datenbank sind auch die Daten der in Deutschland nach dem Standortbescheinigungsverfahren genehmigten Funksendeanlagen einsehbar.

Die Ergebnisse von Messungen in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen können durch die örtlichen Gegebenheiten wie Abstand, Ausrichtung der Antenne, Sendeleistung, Auslastung der Station und Abschirmung um mehr als eine Größenordnung unterschiedlich sein. So wurden in 50 m Abstand Werte von 10 mW/m<sup>2</sup> bis 0,1 µW/m<sup>2</sup> gemessen. Die Ergebnisse von systematischeren Untersuchungen sind z. B. im [Internet](#) veröffentlicht.

In Baden-Württemberg sind in den Jahren 2001-2003 an 895 Messpunkten in einem 2x2 km Raster die elektrische Feldstärke im Frequenzbereich 9 kHz – 3 GHz gemessen worden. Alle Funkdienste schöpfen den Grenzwert im Mittel zu 1% aus. Davon haben Lang-, Mittel- und Kurzwelle einen Anteil von 47%, UKW 15%, TV 18% und Mobilfunk 20 %. Im Jahr 2009 wurde das Messprojekt wiederholt. Die Daten sind im [Internet](#) einzusehen. Ein ähnlichen EMF-Monitoring wird seit 2002 vom Landesamt für Umwelt in Bayern durchgeführt. Die Daten der ersten drei Messreihen sind im [Internet](#) einzusehen. Die vierte Messreihe endete 2018 und wird derzeit (Stand 10/2019) ausgewertet und aufbereitet.

Die frequenzabhängige Dämpfung elektromagnetischer Wellen verschiedener Baustoffe ist im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz untersucht worden. Die Ergebnisse sind im Internet auf der Seite des [Landesamtes](#) aufgeführt.

### 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  Patient, unbehandelte Körperstellen	
		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		
Mikrowellenerwärmung	433 MHz	0,5 m	25 W/m <sup>2</sup>	Behandlungspersonal	
	2450 MHz	1	10 W/m <sup>2</sup>		
	433 MHz	0,3 – 3 m	6 -100 W/m <sup>2</sup>	Hyperthermiebehandlung von Patienten	
	2450 MHz			Unbehandelte Körperstellen	
Magnetfeldtherapie	50-500Hz		50-500 µT	Nahbereich Patient (Magnetfeldmatten, Spulen)	
Magnetische Resonanz	6 – 127 MHz	Im Untersuchungs- gerät Patient  Personal im Raum	Bis 1 W/kg	Patient, gemittelt über den ganzen Körper	
	Lamorfrequenz für H <sub>2</sub> f <sub>L</sub> = 42,58 MHz / T		0 Hz		3 T
			20 – 2.000 Hz (Gradientfeld)		10 mT  500 µT – 10 mT

## 4 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.

In den Verordnungen 26. BImSchV [1] und EMFV [2] erstreckt sich der Frequenzbereich niederfrequenter Felder von 0,0175 Hz bis 10 MHz und hochfrequenter Felder von 100 kHz bis 300 GHz. Beide Bereiche überschneiden sich, da im Bereich von 100 kHz – 10 MHz sowohl Reizwirkungen als auch Wärmewirkungen auftreten können.

Die bestehenden Rechtsvorschriften beinhalten für die verschiedenen Frequenzbereiche Grenzwerte für die Wirkung von EMF. Es wird dabei auch zwischen Werten für die Allgemeinbevölkerung und für Arbeitnehmer unterschieden. Werden diese eingehalten, so ist von keiner gesundheitlichen Gefährdung auszugehen. Die Grenzwerte basieren auf wissenschaftlichen Erkenntnissen. Letztere gelten als gesichert, wenn sie wiederholt durch unabhängige Untersuchungen und Institutionen bestätigt werden und durch Organisationen wie z. B. die ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) empfohlen werden. Die ICNIRP ist eine internationale unabhängige Kommission, die die Auswirkung nicht ionisierender Strahlung auf den Menschen bewertet und Grenzwertempfehlungen gibt.

Zur Bewertung wissenschaftlicher Erkenntnisse teilt die Strahlenschutzkommission (SSK) in folgende drei Kategorien ein [3] :

### 1. 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](http://www.emf-portal.org) gefunden werden.

<b>Studien an Probanden</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wahrnehmung und Belästigung</li> <li>• Kognitive Leistungen, Lernverhalten</li> <li>• „Elektro-Sensibilität“</li> <li>• Einfluss auf den Hormonhaushalt (Melatonin, Hypophysenhormone etc.)</li> <li>• EEG-Änderungen, Schlaf, Biorhythmen</li> </ul>
<b>Epidemiologische Studien</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wahrnehmung und Belästigung</li> <li>• Kognitive Leistungen [4], Lernverhalten [5]</li> <li>• Alzheimer [6]</li> <li>• Kinderleukämie [7]</li> <li>• „Elektro-Sensibilität“ [8]</li> <li>• Einfluss auf den Hormonhaushalt (Melatonin, Hypophysenhormone etc.)</li> <li>• EEG-Änderungen, Schlaf, Biorhythmen</li> <li>• Neurodegenerative Erkrankungen (ALS, Alzheimer etc.)</li> </ul>
<b>Studien an Tieren</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einflüsse auf Neuroendokrines System und Zentralnervensystem</li> <li>• Beeinflussung des Hormonhaushaltes (insbes. Melatonin)</li> <li>• Genetische Einflüsse</li> <li>• Einflüsse auf Fortpflanzung, Wachstum und Entwicklung</li> <li>• Verhaltensänderungen</li> <li>• Krebs-Entstehung und -Promotion</li> <li>• Einfluss auf die Blut-Hirn-Schranke</li> </ul>
<b>Studien an Pflanzen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wachstum und Entwicklung</li> </ul>
<b>Studien an Zell- und Gewebekulturen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Änderung von Membran-Potentialen und Ionenverteilung</li> <li>• Einfluss auf Proliferation und Differenzierung von Zellen</li> <li>• Modulation von biochemischen Reaktionen</li> <li>• Einfluss auf die Zell-Kommunikation (Gap-Junctions)</li> <li>• Immunreaktionen</li> <li>• Genetische und epigenetische Effekte</li> </ul>
<b>Studie im Hochfrequenzbereich: Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biologie: Elektrosensibilität, Schlafqualität, Einflüsse auf Sinnesorgane (Ohr, Auge), zelluläre Wechselwirkungsmechanismen, Kanzerogenität, Langzeiteffekte, Epidemiologie</li> <li>• Dosimetrie: Exposition im Alltag (Sendeanlagen, Endgeräte, altersabhängige Wirkungen), Ermittlung intrakorporaler SAR-Verteilungen</li> <li>• Risikokommunikation</li> </ul>

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 beigefügt, 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 ( $\sim 2$  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  $\rho$  abgeschätzt werden zu:

$$J = (B \cdot v) \cdot \sigma$$

mit

$B$  magnetische Flussdichte in T  
 $v$  Bewegungsgeschwindigkeit in m/s  
 $\sigma$  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).

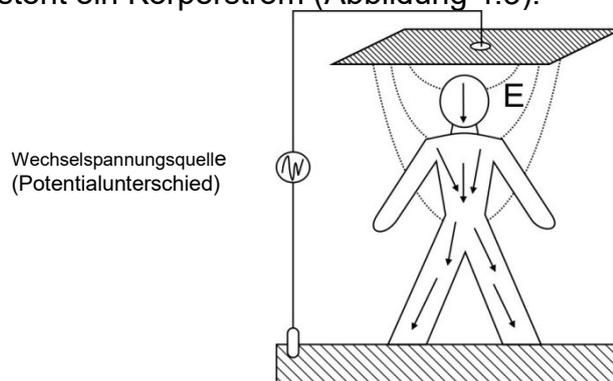


Abbildung 4.1: Beispiel für eine kapazitive Einkopplung eines induzierten Körperstromes (unmittelbare Feldwirkung) bei einem zeitlich veränderlichen Feld.

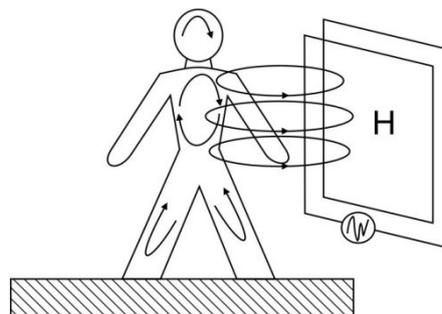


Abbildung 4.2: Beispiel für eine induktive Einkopplung eines induzierten Körperstromes (unmittelbare Feldwirkung) bei einem zeitlich veränderlichen Feld.

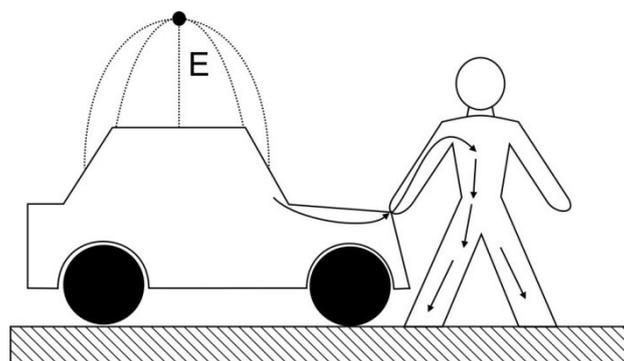


Abbildung 4.3: Beispiel für eine galvanische Einkopplung eines induzierten Körperstromes (mittelbare Feldwirkung) durch Berührung von Metall in einem elektrischen Feld.

### 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

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].

Wirkung	Schwellenwerte des Stroms in mA
Herzkammerflimmern (Einwirkzeit länger als 1 Sekunde) für 0,5% der Personen	100
Schwerer elektrischer Schlag (Loslassen unmöglich)	23
Schmerzhafter elektrischer Schlag, unwillkürliche Muskelkontraktion (Griffkontakt; Stromstärke, die bei 50% aller Männer das Loslassen nicht mehr gestattet)	16
Schmerzhafter elektrischer Schlag, unwillkürliche Muskelkontraktion (Griffkontakt; Stromstärke, die bei 0,5% aller Männer das Loslassen nicht mehr gestattet)	9
Elektrischer Schlag, nicht schmerzhaft (Griffkontakt)	1,8
Wahrnehmung (Griffkontakt)	1,1
Berührungswahrnehmung (Fingerkontakt)	0,36

### 4.3.3 Oberflächeneffekte

In starken elektrischen Wechselfeldern werden Körperhaare durch Influenz und elektrostatische Abstoßungsvorgänge zu Bewegungen angeregt, wodurch diese Felder wahrnehmbar sind. Empfindliche Personen können dies als belästigend empfinden. Empfindungen können auch von Mikroentladungen zwischen scharfkantigen Objekträndern wie z. B. Brillenfassungen, Krägen, Manschetten u. dgl. und der Haut ausgehen. Entladungsvorgänge wirken sich jedoch lediglich als Schreckreaktion aus und können höchstens als solche zu möglichen Gefährdungen führen.

### 4.3.4 Reizwirkung

Die biologische Wirkung niederfrequenter Felder besteht in der Erregung (Stimulation) von Nerven- und Muskelzellen und kann auf die von den Feldern influenzierten bzw. induzierten, intrakorporalen, elektrischen Stromdichten oder die damit verknüpften Feldstärken im Gewebe (*in situ* induziertes, elektrische Feld; abgekürzt  $E_i$ ) bezogen werden. Mittlerweile ist es üblich, Grenzwerte auf der induzierten elektrischen Feldstärke im Gewebe statt auf Stromdichten aufzubauen, da diese physikalische Größe am Ort der Zellen letztlich als fundamentale, treibende Kraft für deren Stimulation betrachtet wird. Des Weiteren wird zur Berechnung der Stromdichten die elektrische Leitfähigkeit jeder Gewebeschicht als zusätzlicher Parameter benötigt, der nicht immer ausreichend genau bekannt ist. Berechnungen des induzierten,

elektrischen Felds im Gewebe weisen daher eine geringere Unsicherheit und weniger numerische Artefakte auf als jene der Stromdichte.

Viele experimentelle Untersuchungen zur elektrischen Stimulation von Nerven- und Muskelzellen, nämlich bei der Analyse von Elektrounfällen und bei der medizinischen Anwendung der Reizstromtherapie, sind allerdings unter dem Gesichtspunkt der eingebrachten Stromdichte diskutiert worden. Da die Stromdichte im Prinzip in eine elektrische Feldstärke sowie eine Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten umgerechnet werden kann, können auf diese Weise ebenfalls wichtige Erkenntnisse zur Reizwirkung abgeleitet werden.

Letztlich ist die Reizung einer Zelle mit einer Potentialdifferenz (Spannung) zwischen Innen- und Außenseite einer Membran verbunden. Daher sind Reizwirkungen unmittelbar an die Präsenz des elektrischen Feldes gebunden und ergeben sich aus einer Polarisation der entsprechenden Zellmembranen. Zwischen der Innen- und Außenseite einer Zellmembran liegt ein sogenanntes Ruhemembranpotential (etwa minus 80 mV) vor. Die Zelle gibt eine Anregung weiter, wenn dieses Potential positiver wird (z. B. minus 50 mV). Diese Änderung des Potentials wird auch als Depolarisation bezeichnet. Das erneute Einstellen des Ruhemembranpotentials wird Repolarisation genannt. Kommt es dabei kurzfristig zu einem Potential das kleiner ist als das Ruhemembranpotential (z. B. minus 100 mV), so spricht man von der Hyperpolarisation.

Für Reizwirkungen sind die Existenz einer Schwelle und die Frequenzabhängigkeit charakteristisch:

1. Es existiert für jedes Gewebe eine Reizschwelle, die überschritten werden muss, um eine Erregung auszulösen. Eine Mindestspannung muss dafür also zwischen den verschiedenen Seiten einer Zellmembran anliegen. Die Erregung selbst lässt sich jedoch nicht durch größere Reizstärken oberhalb der Reizschwelle steigern.

2. Der Schwellenwert ist frequenzabhängig (siehe Abbildung 4.4). Eine gereizte Nervenzelle braucht immer eine gewisse Zeit, bis sie auf Reize genauso reagiert wie zuvor. Diese Zeit wird als Refraktärzeit bezeichnet. Folge davon ist, dass elektrische Reize mit kürzer werdendem zeitlichem Abstand auf eine erregbare Membran immer ineffektiver wirken. Reizfolgen höherer Frequenz benötigen steigende Stromdichten und können schließlich überhaupt keine Erregung mehr auslösen.

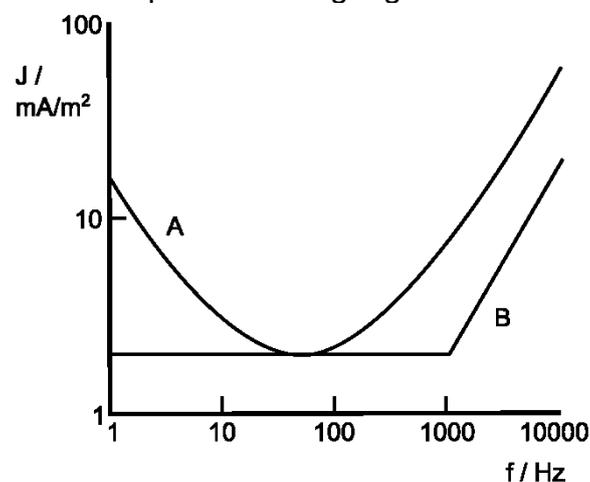


Abbildung 4.4: Prinzipielle Abhängigkeit der reizwirksamen Stromdichte von der Frequenz.

Als Bezugswert dient der Basiswert 2 mA/m<sup>2</sup>. Kurve A: Ausgleichsvorgänge in der Membran, die das Lapicquesche Gesetz beschreibt. Kurve B: Für die Festlegung zulässiger Werte verwendeter vereinfachter Geradenzug.

Die Frequenzabhängigkeit ist jedoch nicht nur durch die Refraktärzeit der Membranen, sondern auch durch den Skin-Effekt (Stromdichte ist außen größer als im Inneren) bei höheren Frequenzen, und durch zunehmende kapazitive Überbrückung der Membran gegeben, so dass keine Änderung des Membranpotentials auftritt. In Abhängigkeit von der Stromdichte bzw. der Gewebefeldstärke können bei niedrigen Frequenzen die in Tabelle 4.3 angegebenen Wirkungsbereiche unterschieden werden.

Tabelle 4.3 Stromdichten und Gewebefeldstärken, die zwischen 3 Hz und 300 Hz zu den angegebenen biologischen Wirkungen führen. . (Anm.: Die Gewebefeldstärken wurden aus den Stromdichtewerten für eine elektrische Leitfähigkeit  $\kappa = 0,2 \text{ A}/(\text{V}\cdot\text{m})$  berechnet.)

Wirkungen	Stromdichten in mA/m <sup>2</sup>	Gewebefeldstärke in V/m
Extrasystolen und Herzkammerflimmern möglich, deutliche Gesundheitsgefahren	>1000	> 5
Veränderung in der Erregbarkeit des zentralen Nervensystems bestätigt; Reizschwellen; Gesundheitsgefahren möglich	100 – 1000	0,5 – 5
Gut bestätigte Effekte, visuelle Effekte (Magnetophosphene) und mögliche Nervensystemeffekte; Berichte über beschleunigte Knochenbruchheilung	10 - 100	0,05 – 0,5
Berichte über subtile biologische Wirkungen	1 - 10	0,005 – 0,05
Keine gesicherten Effekte	< 1	< 0,005

Diese Wirkungen lassen sich auf Stromdichten beziehen, und zwar als Folge der Einwirkung von elektrischen und magnetischen Feldern. Daher kann auch eine Gewebefeldstärke angegeben werden. Die Stromdichten und Gewebefeldstärken können mit Hilfe von Modellrechnungen aus den zu ihrer Induktion erforderlichen äußeren Feldstärken in Luft berechnet werden. Die Angaben verschiedener Autoren über den Zusammenhang zwischen den äußeren Feldstärken und den durch sie im Körperinneren verursachten Stromdichten unterscheiden sich jedoch. Der Grund dafür liegt in der Wahl unterschiedlicher Modelle zur Nachbildung des menschlichen Körpers, seiner äußeren Form, der tatsächlichen Impedanzen (zumeist nur an totem Gewebe gemessen) sowie seiner inneren geometrischen und dielektrischen Komplexität. Bei der Festlegung von Grenzwerten wird den Vereinfachungen der Modellrechnungen und der eingeschränkten Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse, die der Tabelle 4.3 zugrunde liegen, mit Hilfe von zusätzlichen Faktoren Rechnung getragen.

Je nach Feldart und Frequenz ergeben sich folgende Zusammenhänge:

a) Elektrische Wechselfelder

Der Gesamtstrom durch den Körper infolge der kapazitiven Ankopplung lässt sich sowohl messtechnisch als auch theoretisch gut ermitteln. Die abgeschätzten Stromdichten  $J$  im Körperinneren hängen jedoch von der gewählten Modellvorstellung und dem betrachteten Körperbereich ab. In erster Näherung lässt sich bei Mittelung über nicht zu kleine Flächen folgender Zusammenhang angeben:

$$J = k \cdot 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot E_0$$

- $J$  Körperstromdichte in A/m<sup>2</sup>
- $k$  Formfaktor Mensch: 13 - 18; Kugel: 3
- $f$  Frequenz in Hz
- $\epsilon_0$  elektrische Feldkonstante  $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ A}\cdot\text{s}/(\text{V}\cdot\text{m})$
- $E_0$  ungestörte Feldstärke in V/m

Für die Influenz einer Stromdichte von  $1 \text{ mA/m}^2$  im Kopf oder Herzbereich eines homogenen Modells sind unter Zugrundelegung ungünstigster Expositionsbedingungen folgende äußeren Feldstärken erforderlich:

Kopf: 7 kV/m bis 20 kV/m

Herzbereich: 7 kV/m bis 14 kV/m

An anderen Körperstellen wie z. B. den Knöcheln mit der vergleichsweise geringen Querschnittsfläche bei einem relativ hohen Anteil schlecht leitender Knochen und Sehnen liegen lokale Stromdichten erheblich (um mehr als das zehnfache) höher.

#### b) Magnetische Wechselfelder

Während die Stromdichte im Körper beim einfachen Durchtritt elektrischen Wechselstroms lediglich aufgrund der inhomogenen Leitfähigkeitsverteilung variiert, ist im Fall der Induktion durch magnetische Wechselfelder zusätzlich die durch den Induktionsvorgang bedingte Ortsabhängigkeit zu berücksichtigen. Wegen der erzeugten Wirbelströme ist im Körperzentrum die Stromdichte Null und erreicht im Oberflächenbereich ihr Maximum. Für kreisförmige Strombahnen erhält man für die Stromdichte  $J$  die Beziehung

$$J = B \cdot \pi \cdot f \cdot r \cdot \sigma$$

$B$  magnetische Flussdichte in Tesla (T),

$f$  Frequenz in Hz,

$r$  Radius der Kreisbahn des Stroms im Körper in m,

$\sigma$  spezifische Leitfähigkeit in Siemens ( $S = 1/\Omega$ ),

aus der hervorgeht, dass die Stromdichte proportional dem Radius und der Leitfähigkeit ist.

Üblicherweise verwendet man für den Menschen die folgenden Parameter: Radius 0,1 m (Kopf); 0,2 m (Thorax) und die Leitfähigkeit 0,1–0,4 ( $1/(\Omega \cdot \text{m})$ ). Bei Berücksichtigung längs gestreckter Strombahnen erhöhen sich beim Menschen die berechneten Stromdichten gegenüber dem kreisförmigen Fall um etwa einen Faktor 2. Es gibt auch Rechenmodelle (z. B. FDTD, finite-difference-time domain, siehe Unterabschnitt 6.5.2), die mit hoher räumlicher Auflösung die Stromdichte im Körper berechnen können. Es zeigt sich insgesamt, dass die Stromdichten im Körper sehr inhomogen sind.

## 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.

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 „ $1/r^4$ -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

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.

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

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  $\mu\text{T}$  (ca. 5% der Bevölkerung). Ein Wirkungsmechanismus konnte jedoch nicht identifiziert werden. Sollte ein kausaler Zusammenhang existieren, könnten weniger als 1-4 % der Fälle

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]):

- 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

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 selbstdiagnostizierte 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]):

- umfassende Charakterisierung der Betroffenenengruppe (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 beschäftigen 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

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 Neuomen bei Vielnutzern von Mobiltelefonen. Weitere Studien konnten eine Risikozunahme für Gliome nicht bestätigen; für akustische Neuomen besteht noch Unklarheit.
- Ein möglicher Einfluss auf die Gehirnaktivität durch die Exposition mit hochfrequenten Feldern wird weiter gestützt.

- 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 Neuomen 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.

## **5 Nationale, europäische und internationale Regelungen zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern**

### **5.1 Einleitung und Problemdarstellung**

Im vorigen Kapitel wurden die biologischen Wirkungen von EMF ausführlich beschrieben und der Unterschied zwischen biologischen Wirkungen und gesundheitsschädlichen Auswirkungen deutlich gemacht. Letztere treten erst bei mehr oder weniger starker Überschreitung von Expositionsgrenzwerten auf und sind zu vermeiden. Zur Gewährleistung der körperlichen Unversehrtheit wird der Schutz vor gesundheitsschädlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder grundsätzlich in drei Ebenen unterteilt:

- Der Schutz vor direkten Wirkungen

Verhinderung der Überschreitung der Grenzwerte und der zulässigen Referenzwerte für die direkten Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf den Menschen. Dadurch wird nach dem heutigen Stand des Wissens sichergestellt, dass die in den Guidelines der ICNIRP beschriebenen direkten Feldwirkungen beim Menschen nicht auftreten. Direkte Wirkungen werden nur bei Anwesenheit des menschlichen Körpers in einem EMF hervorgerufen. Aufbauend auf den Grundlagen der ICNIRP [34] umfassen die direkten Wirkungen nichtthermische und thermische Wirkungen (siehe z. B. auch Ratsempfehlung 1999/519/EG [35], EMF-RL 2013/35/EU [36], EMFV [2] oder VEMF [37]). Nichtthermische Wirkungen (Reiz- oder Stimulationseffekte) umfassen die Stimulation von Muskeln, Nerven oder Sinnesorganen bei EMF-Exposition im Niederfrequenzbereich (siehe Abschnitt 4.3.4). Thermische Wirkungen (Wärmewirkungen) werden durch EMF im Hochfrequenzbereich mittels Energieabsorption im menschlichen Gewebe oder durch induzierte Körperströme in den Extremitäten hervorgerufen (siehe Abschnitt 4.4.2).

- Der Schutz vor indirekten Wirkungen

Zu den indirekten Wirkungen gehören elektrische Durchströmungen und Verbrennungen beim Berühren elektrisch leitfähiger Gebilde (große isolierte Fahrzeuge, Weidezäune, Kräne), in denen unter bestimmten Voraussetzungen durch die elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder hohe Spannungen und Ströme induziert werden können. Weiterhin können durch EMF brennbare Flüssigkeiten entzündet, elektrische Zündvorrichtungen ausgelöst und durch statische Magnetfelder eine Kraft auf ferromagnetische Gegenstände ausgeübt werden, die dadurch beschleunigt werden.

- Elektromagnetische Verträglichkeit

Das betrifft u.a. auch den Schutz vor den nachteiligen Folgen von Einwirkungen dieser Felder auf für den Menschen lebensnotwendige elektronische Geräte, die entweder implantiert werden (z. B. Herzschrittmacher), am Körper getragen werden (Insulinpumpen, Hörhilfe-Geräte) oder im Klinikbereich zum Einsatz kommen. Diese Problematik liegt überwiegend im Zuständigkeitsbereich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) technischer Geräte und Anlagen untereinander bezüglich der funktionalen Sicherheit. Wegen der unmittelbaren, zum Teil lebensbedrohlichen Folgen für den Menschen wird diese Thematik immer in die Betrachtungen zum Schutz des Menschen vor negativen Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder einbezogen. Geregelt wird dieser Bereich über EU-Richtlinien, Gesetze und Normen, auf die hier in der Regel nicht weiter eingegangen wird.

Zum Schutz von Personen wurden Grenzwerte festgelegt. Diese Expositionsgrenzwerte basieren auf Effekten durch akute Kurzzeitexposition und nicht auf Langzeitexposition. Derzeit werden die verfügbaren international anerkannten, reproduzierbar ermittelten wissenschaftlichen Informationen zu Langzeitexpositionen bei niedrigen Pegeln von EMF-Feldern als nicht hinreichend zur Festlegung von Grenzwerten betrachtet.

Die Wissenschaft liefert die objektivsten Mittel zur Bewertung der Einflüsse von EMF auf die Gesundheit. Der Prozess könnte aber dadurch wesentlich verbessert werden, wenn die Daten mit einer gezielten Forschung gekoppelt würden, einschließlich der Methoden ihrer Erarbeitung. Dabei ist es wichtig festzuhalten, was Wissenschaft kann und was nicht. Wissenschaftler müssen die Unsicherheit festlegen in ihrer Bewertung, und zwar in einer klaren und eindeutigen Art und Weise. Es muss aber auch eine Zusammenarbeit mit den Interessenvertretern geben, wodurch aber die Unabhängigkeit der Wissenschaftler nicht gefährdet wird.

Der folgende Abschnitt gibt einen Einblick in die Ableitung von Grenzwerten und liefert damit die Grundlage für die weiteren Betrachtungen zu den national gültigen Regelungen zum einen für die Allgemeinbevölkerung und zum anderen für Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer. Nach der Vorstellung der Regelungen auf europäischer Ebene, werden die individuellen nationalstaatlichen Regelungen für Deutschland, die Schweiz und Österreich beschrieben.

### **5.1.1 Erstellungsprozess von Grenzwerten**

Grundlage nahezu aller nationalen und internationalen Regelungen – insbesondere der Grenzwerte – zum Schutz von Menschen vor negativen Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder sind die Grundsätze und Empfehlungen, die von der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) zum Teil im Auftrag der WHO erarbeitet worden sind [34]; siehe Abbildung 5.1.

- **Expositions- bzw. Basisgrenzwerte:** Diese sind mit der biologischen Wirkung, die begrenzt oder vermieden werden soll, unmittelbar verknüpft. Diese können aber in der Regel nicht direkt gemessen werden. Sie stellen in diesem System aber die eigentlichen Grenzwerte dar. Die Größen sind die Körperstromdichte  $J$  bzw. die innere elektrische Feldstärke  $E$ , die Leistungsdichte  $S$ , die spezifische Absorption  $SA$  und die spezifische Absorptionsrate  $SAR$ . Dabei ist ein Überschreiten der Basisgrenzwerte unter allen Umständen zu vermeiden.
- **Referenzwerte:** Diese sind experimentell und mathematisch von den Basisgrenzwerten abgeleitet und werden in direkt messbare Größen der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder (elektrische und magnetische Feldstärke, magnetische Flussdichte und Leistungsflussdichte) angegeben.

Die Referenzwerte sind so festgelegt, dass selbst unter Zugrundelegung der ungünstigsten Expositionsbedingungen die Expositions- bzw. Basisgrenzwerte nicht überschritten werden. Referenzwerte dürfen überschritten werden, wenn der Nachweis der Einhaltung der Basisgrenzwerte erbracht wird.

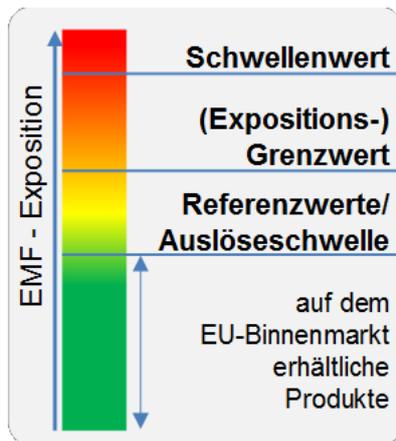


Abbildung 5.1 Darstellung des Schutzkonzepts von ICNIRP, Erläuterung: bei einer EMF-Exposition oberhalb des Schwellenwertes treten gesundheitliche Auswirkungen auf; unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors sind Grenzwerte abgeleitet; unter Berücksichtigung eines weiteren Sicherheitsfaktors sind Referenzwerte definiert; Hinweis: es werden unterschiedlich hohe Sicherheitsfaktoren für Beschäftigte und Allgemeinbevölkerung angewandt

Es ist festzustellen, dass in einigen Ländern die nationalen Regelungen bei der Festlegung der Basisgrenzwerte auf den ICNIRP-Guidelines beruhen, es bei den Referenzwerten aber zum Teil zu erheblichen Abweichungen von den Werten der ICNIRP kommt. Das wird überwiegend damit begründet, dass ICNIRP bei der Ableitung der Referenzwerte aus den Basisgrenzwerten immer von der ungünstigsten vorstellbaren Situation ausgegangen ist, was häufig zu großen Reduktionsfaktoren geführt hat. Unter kontrollierbaren, konkret beschreibbaren Expositionsbedingungen können daher bei gleicher Sicherheit höhere Referenzwerte zugelassen werden, ohne dass die Basisgrenzwerte überschritten und Sicherheit und Gesundheitsschutz der Exponierten verringert werden.

In einigen Ländern wurden in der Regel auf Grund von Vorsorgeüberlegungen für den Schutz der Bevölkerung auch niedrigere Grenzwerte als die Referenzwerte der ICNIRP festgelegt.

Das gesamte Schutzkonzept von ICNIRP ist zuerst auf die berufliche Exposition gerichtet, da hier immer die stärkeren elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder auftreten.

Von der ICNIRP wurden für die allgemeine Bevölkerung um den Faktor 5 niedrigere Basisgrenzwerte empfohlen. Das wird damit begründet, dass die Gruppe der beruflich Exponierten aus gesunden Erwachsenen besteht, die über die Exposition informiert sind, deren berufliche Exposition zeitlich begrenzt ist und die sich erforderlichenfalls risikogerecht verhalten können. Die allgemeine Bevölkerung ist in den meisten Fällen über die Exposition nicht informiert und zu ihr gehören auch in der Regel geringer belastbare Personen, wie z. B. Kranke und Kinder.

Des Weiteren ist die Exposition von Beschäftigten auf die Arbeitszeit begrenzt.

## 5.2 Regelungen auf europäischer Ebene

### 5.2.1 Allgemeinbevölkerung

Auf Grund des Fehlens einer EU-weiten Regelung für den Schutz von Personen der allgemeinen Bevölkerung vor negativen Wirkungen elektromagnetischer Felder kam es zum Ende der 90er Jahre in einzelnen Ländern (Deutschland [1], Schweiz [38]) zu Bestrebungen, diesen Schutz durch nationale Regelungen sicher zu stellen.

Innerhalb der Europäischen Union wurde der Bedarf an einheitlichen Vorgaben (Grenzwerte) immer dringender und nationale Regelungen der vorgehend genannten Art können u. a. zu Handelshemmnissen führen und geraten damit in Konflikt mit den Festlegungen des Art. 114 Vertrag über die Arbeitsweisen der Europäischen Union (AEUV) (vorher Art. 100a der Römischen Verträge bzw. Art. 94 des Vertrages von Amsterdam). Durch die EU-Kommission wurde eine Regelung erarbeitet und im Juli 1999 in Form einer "Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern" [35] verabschiedet. Diese Festlegungen konnten nur als Empfehlung veröffentlicht werden, da die EU für diese Fragestellung keine Richtlinienkompetenz hat. Die darin enthaltenen Basisgrenzwerte (magnetische Flussdichte, Körperstromdichte, spezifische Absorptionsrate und Leistungsdichte) und Referenzwerte (Feldstärken und Leistungsdichte) sind weitgehend identisch mit denen der Guidelines der International Commission on Non Ionising Radiation Protection (ICNIRP) von 1998 [34]. Abweichungen zu den ICNIRP-Guidelines sind z. B. die Festlegung eines Basisgrenzwertes für statische Magnetfelder ( $B = 40 \text{ mT}$ ) und kleinere Abweichungen in den Summenformeln [39].

Damit standen erstmals Grenzwerte und Referenzwerte zur Verfügung, die jedoch bedingt durch die fehlende Richtlinienkompetenz der EU nur empfehlenden Charakter besitzen und nicht rechtsverbindlich sind. Die nationale Umsetzung der Ratsempfehlung [35] variiert. Eine Gruppe von Ländern akzeptiert die Ratsempfehlung vollumfänglich und als rechtlich bindend, z. B. Frankreich, Tschechien, Irland und Deutschland. Die andere Gruppe von Ländern sieht die Ratsempfehlung als nicht bindend an, hat höhere oder keine Grenzwerte, z. B. England, Niederlande, Schweden und Österreich.

In wieweit die Ratsempfehlung bzw. die ICNIRP-Guidelines [9], [34], [40] in andere nationale Regelungen Eingang gefunden haben, ist im Ressortforschungsbericht des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS-ResFor-109/16) [39] sowie im Bericht von Stam [41] ausführlich dargestellt.

## 5.2.2 Berufliche Exposition

Im Juni 2013 wurde die „Richtlinie zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder und Wellen)“ [36] verabschiedet. Gleichzeitig wurde die Richtlinie von 2004 aufgehoben [42]. Die Frist zur Umsetzung dieser Richtlinie in nationale Verordnungen endete am 01.06.2016. Die EMF-RL beinhaltet Mindestvorschriften, die von den Mitgliedsstaaten in der nationalen Umsetzung angepasst, aber nicht unterschritten werden dürfen. Zu der Richtlinie wurde zudem ein dreibändiger unverbindlicher Leitfaden erarbeitet, der Hilfestellungen zur Umsetzung der EMF-RL für Betriebe enthält.

Die in der EMF-RL [36] beinhalteten Forderungen stellen Mindestanforderungen dar, über die die Mitgliedsländer nach eigenem Ermessen hinausgehen können, da der Personenschutz im nationalen Recht der Mitgliedsländer verbleibt (siehe Art. 153 Absatz 2 (b) AEUV (früher als Richtlinien nach Art. 118a der Römischen Verträge bzw. Art. 137 des Vertrages von Amsterdam)). Die nationale Umsetzung der EMF-RL [36] variiert somit zwischen den Mitgliedsstaaten, auch im Hinblick auf Ausnahmeregelungen für bestimmte Anwendungsbereiche, wie z. B. die medizinische Anwendung von Magnetresonanzverfahren oder militärische Anwendungen.

Die EMF-RL [36] gliedert sich in Kapitel für „Allgemeine Bestimmungen“ (Art. 1 - 3), „Pflichten der Arbeitgeber“ (Art. 4 - 7), „sonstige Bestimmungen“ (Art. 8 - 13) und „Schlussbestimmungen“ (Art. 14 - 19). Zum Schutz der Arbeitnehmer gegen

tatsächliche oder mögliche Gefährdungen aufgrund der Einwirkung von EMF umfasst die EMF-RL [36] alle bekannten direkten biophysikalischen Wirkungen und indirekten Auswirkungen, die von EMF ausgehen. Die vermuteten Langzeitwirkungen ohne gesicherte wissenschaftlich nachgewiesene Wirkzusammenhänge werden von der EMF-RL [36] bewusst nicht erfasst. Hierbei verfolgt die Kommission laufend die neuesten wissenschaftlichen Entwicklungen und prüft bei Vorliegen gesicherter wissenschaftlicher Nachweise für Langzeitwirkungen angemessene politische Reaktionen (Art. 1 EMF-RL). Der Geltungsbereich der EMF-RL [36] umfasst statische elektrische, statische magnetische sowie zeitvariable elektrische und magnetische und elektromagnetische Felder mit Frequenzen von  $0 \leq f \leq 300$  GHz (Art. 2 EMF-RL). Um Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch direkte biophysikalische und indirekte Wirkungen zu schützen, umfasst das mehrstufige Schutzkonzept der EMF-RL [36] Expositionsgrenzwerte für sensorische und gesundheitliche Wirkungen sowie niedrige und hohe Auslöseschwellen (Art. 2 EMF-RL, s. Abbildung 5.2).

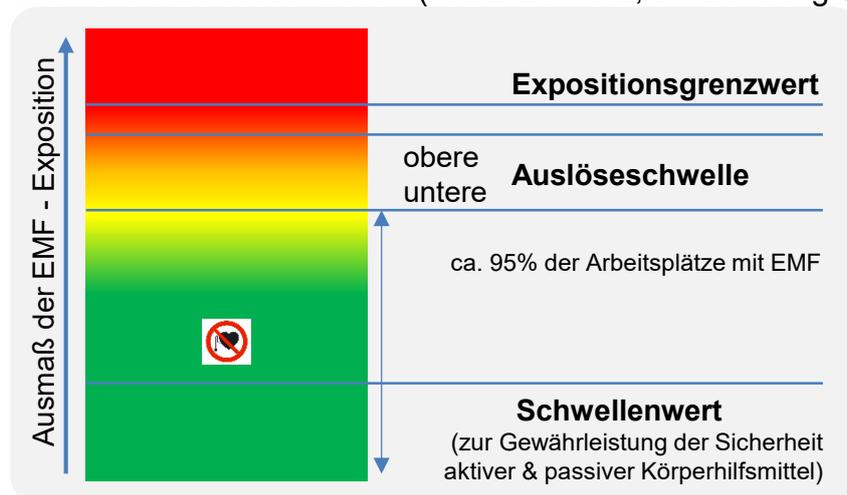


Abbildung 5.2: Mehrstufiges Schutzkonzept der EMF-RL [36]

Expositionsgrenzwerte sind (nach Art. 2 EMF-RL) Werte, die auf der Grundlage biophysikalischer und biologischer Erwägungen festgelegt wurden. Die Grundlage für die Festlegung sind wissenschaftlich nachgewiesene kurzzeitige und akute Wirkungen. Diese Wirkungen umfassen die elektrische Stimulation von Gewebe im Niederfrequenzbereich und thermische Wirkungen im Hochfrequenzbereich. Bei niedrigen Frequenz mit  $f \leq 400$  Hz können in Abhängigkeit der Höhe des elektromagnetischen Feldes sensorische und gesundheitliche Wirkungen auftreten. Als reversible sensorische Wirkungen können z. B. Magnetophosphene oder Schwindel auftreten, was in der EMF-RL etwas unpräzise als geringfügige Veränderung der Hirnfunktion bezeichnet wird. Gesundheitliche Wirkungen umfassen z. B. irreversible Erwärmung von Körpergewebe oder die Stimulation von Nerven- und Muskelgewebe mit Beeinflussung der Herzfunktion.

Um einen einfachen Nachweis erbringen zu können, dass die relevanten Expositionsgrenzwerte eingehalten werden, wurden in der EMF-RL [36] operative Werte festgelegt, die sogenannten Auslöseschwellen (siehe Art. 2 EMF-RL). Ist die Höhe der EMF-Exposition am Arbeitsplatz mit den Auslöseschwellen vergleichbar oder höher, müssen die in der EMF-RL [36] festgelegten relevanten Schutz- oder Präventionsmaßnahmen ergriffen werden. Im Zusammenhang mit den Auslöseschwellen werden für elektrische Felder „niedrige Auslösewerte“ und „hohe Auslöseschwellen“ mit den durchzuführenden spezifischen Schutz- oder Präventionsmaßnahmen unterschieden. Bei magnetischen Feldern werden die vom

Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen abgeleitete „niedrige Auslöseschwelle“ und die vom Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen abgeleitete „hohe Auslöseschwelle“ respektive unterschieden.

In Art. 4 EMF-RL [36] werden Anforderungen an die Bewertung der Risiken und die Ermittlung der Exposition festgelegt. Der Arbeitgeber führt eine Bewertung sämtlicher Risiken für die Arbeitnehmer, die durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz hervorgerufen werden, durch. Die Bewertung schließt alle am Arbeitsplatz auftretenden elektromagnetischen Felder ein. Die Bewertung der Risiken kann auf Basis der von den Geräteherstellern zur Verfügung gestellten Emissionswerte, anderen geeigneten sicherheitsbezogenen Daten, Messungen, Berechnungen oder Simulationen erfolgen. Wichtig ist zu beachten, dass die Bewertungen, Messungen und Berechnungen fachkundig durchgeführt sowie die resultierenden Daten in einer geeigneten, rückverfolgbaren Form gespeichert werden müssen, so dass eine spätere Einsichtnahme möglich ist. Neben z. B. Frequenz, Ausmaß, Dauer und Art der Exposition sowie allen direkten biophysikalischen Wirkungen und allen indirekten Wirkungen sind ebenfalls alle Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit von besonders gefährdeten Arbeitnehmern zu berücksichtigen. Zu den besonders gefährdeten Arbeitnehmern zählen Arbeitnehmer mit aktiven oder passiven implantierten oder am Körper getragenen Körperhilfsmitteln sowie schwangere Arbeitnehmerinnen. Als aktive Körperhilfsmittel werden solche bezeichnet, die über eine eigene Energieversorgung verfügen. Die nationalen Umsetzungen können sich in puncto schwangere Arbeitnehmerinnen unterscheiden, je nach den Zuständigkeitsbereichen der mit der Umsetzung betrauten Ministerien.

Ergibt die Bewertung der Risiken, dass die Exposition Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte überschreitet, müssen Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken nach Art. 5 EMF-RL [36] ergriffen werden. An dieser Stelle soll nochmals betont werden, dass es in erster Linie nicht darum geht, die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern auszuschließen oder auf ein Mindestmaß zu reduzieren, sondern die aus der Exposition resultierenden Gefährdungen. Das ist ein wichtiger Unterschied. Die zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen zu ergreifenden Maßnahmen erfolgen nach der STOP-Hierarchie. In der STOP-Maßnahmenhierarchie ist die vorrangige Maßnahme Substitution. Ist ein alternatives Arbeitsverfahren nicht einsetzbar, werden Technische, Organisatorische oder Persönliche Maßnahmen ergriffen. Art. 5 Absatz 5 regelt, welche Maßnahmen bei Überschreitung von Auslöseschwellen zu ergreifen sind: Kennzeichnung, Abgrenzung und gegebenenfalls Zugangsbeschränkung. Die speziell auf elektromagnetische Felder ausgerichtete Kennzeichnung und Zugangsbeschränkung kann entfallen, wenn der Zugang zu diesen Bereichen aus anderen Gründen eingeschränkt ist und die Arbeitnehmer über die Risiken von elektromagnetischen Feldern unterrichtet sind.

Weitere Artikel der EMF-RL [36] regeln die Unterrichtung und Unterweisung (Art. 6), Gesundheitsüberwachung im Sinne von Prävention und Früherkennung (Art. 8), für Mitgliedsstaaten die Möglichkeit, Sanktionen zu verhängen, sowie unter bestimmten Voraussetzungen Ausnahmen zur Überschreitung von Expositionsgrenzwerten bei Magnetresonanzverfahren oder bei militärischen Einrichtungen (Art. 10). Weiterhin enthält die EMF-RL [36] Artikel zur Erstellung von Leitfäden (Art. 14), zur Überprüfung und Bericht (Art. 15), Umsetzung in nationale Rechtsvorschriften (Art. 16), Aufhebung der vorherigen EMF-RL 2004/40/EG (Art. 17). Anhang 1 beschreibt die verwendeten physikalischen Größen. Anhänge 2 und 3 fassen die Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen tabellarisch zusammen. Anhang 2 umfasst den Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 MHz, Anhang 3 den Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz.

## **5.3 Regelungen in Deutschland**

### **5.3.1 Allgemeine Bevölkerung**

#### **5.3.1.1 Einführung**

Mit Inkrafttreten der Sechszwanzigsten Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV) [1] hat Deutschland eine verbindliche Regelung zum Schutz der Allgemeinheit (Bevölkerung) vor unzulässig und unzumutbar hohen elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Expositionen erlassen. Mit der Novellierung im Jahre 2013 wurden für Niederfrequenzanlagen und Gleichstromanlagen zusätzliche Anforderungen zur Vorsorge geschaffen. Dies sind für Niederfrequenzanlagen bei Errichtung (Neubau) und wesentlicher Änderung von Leitungen und Anlagen, welche der Übertragung, Verteilung, oder Umspannung elektrischer Energie dienen, u. a. ein Überspannungsverbot von Gebäuden für Freileitungen mit bestimmter Nennspannung, die Überlagerung hochfrequenter Felder, sowie die Minimierung elektrischer und magnetischer Niederfrequenzfelder nach dem Stand der Technik. Die Minimierung hat der Gesetzgeber in einer Verwaltungsvorschrift zur 26. BImSchV [1] konkretisiert (26. BImSchVVwV, [43]). Auch ermöglichen die LAI-Hinweise zur Durchführung der 26. BImSchV [44] ein besseres Verständnis der Verordnung.

Über den Geltungsbereich der 26. BImSchV hinaus können Teile der Allgemeinbevölkerung durch technische Anwendungen für kosmetische oder nichtmedizinische Zwecke gegenüber EMF exponiert werden. Diese Anwendungen fallen unter die „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen - NiSV“ [45] (siehe 5.3.1.6).

#### **5.3.1.2 Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV)**

##### **5.3.1.2.1 Grenzwerte**

Der deutsche Gesetzgeber hat zum Schutz von Personen vor unzulässig und unzumutbaren hohen elektrischen und magnetischen Feldern, welche bei niederfrequenten Anlagen der Energieverteilung und Umspannung entstehen, Schutz- und Vorsorgemaßnahmen getroffen. Das in der 26. BImSchV [1] festgelegte Schutzkonzept weicht bei der Grenzwertfestlegung für das magnetische Feld zugunsten eines höheren Gesundheitsschutzes von der Empfehlung der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) mit 200  $\mu\text{T}$  (ICNIRP-Guidelines vom Okt. 2010) [40] ab, und lässt in Deutschland explizit für 50-Hz-Felder nur die Hälfte dieser internationalen Grenzwertempfehlung zu, also 100  $\mu\text{T}$ .

##### **5.3.1.2.2 Überspannungsverbot**

Zur Vorsorge hat der deutsche Gesetzgeber in der novellierten 26. BImSchV [1] zusätzlich weiterführende Vorsorgemaßnahmen getroffen. Eine solche Maßgabe zur Vorsorge ist ein Überspannungsverbot von Gebäuden, oder Gebäudeteilen, mit Drehstrom-Freileitungen ab einer Nennspannung von 220 kV. So dürfen neu zu errichtende Freileitungen Gebäude, oder Gebäudeteile, welche zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen dienen, nicht mehr direkt überspannen.

Das Überspannungsverbot gilt seit Inkrafttreten der novellierten 26. BImSchV [1], also seit 22.08.2013. Für ältere Leitungen besteht ein Bestandsschutz.

### **5.3.1.2.3 Überlagerung hochfrequenter Felder**

Als weitere Maßnahme zur Vorsorge fordert der Gesetzgeber eine Betrachtung der Überlagerung von niederfrequenten Feldern (meist 50-Hz-Anlagen und Bahnanlagen mit 16 2/3 Hz) auch mit Feldern von hochfrequenten Anlagen bis 10 MHz. Adressiert sind hier die HF-Anlagen, die bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) dem sog. „Standortbescheinigungsverfahren“ unterliegen.

Bisher existiert weltweit kein elektrophysiologisch sowie biologisch basiertes, additives Wirkungsmodell für nieder- und hochfrequente Felder, bzw. es konnte wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden. Im Sinne einer theoretischen Kumulation hat der Gesetzgeber mit der novellierten 26. BImSchV [1] allerdings die Einhaltung eines Gesamt-Immissionswertes / Gesamt-Grenzwertes für solche Felder verfügt. Dies bedeutet, dass auf einen Immissionsort gemeinsam einwirkende nieder- und hochfrequente Felder seither additiv überlagert werden müssen.

Bedingt durch die Verantwortung der BNetzA für diese standortbescheinigten HF-Anlagen ( $\leq 10$  MHz), hat die BNetzA mit der „Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)“ ein praktikables Prozedere entwickelt und verabschiedet, wie diese Expositionen überlagert werden sollen. Näheres hierzu findet man auf der Homepage der BNetzA. Zuständige Genehmigungsbehörden können von den Netzbetreibern diese Handhabung für zukünftige Projekte einfordern.

### **5.3.1.3 Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV) - Minimierung**

Weiterhin hat der deutsche Gesetzgeber mit der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV)“ [43] zur zusätzlichen Vorsorge die Verpflichtung zur Minimierung niederfrequenter, elektrischer und magnetischer Felder nach dem Stand der Technik verfügt. Diese Verwaltungsvorschrift des Bundes legt fest, dass für bestimmte Leitungen und Anlagen  $\geq 1000$  Volt, sowohl bei der Planung und Projektierung, als auch bei wesentlichen Änderungen, der Nachweis geführt werden muss, dass diese hinsichtlich der Immissionen elektromagnetischer Felder minimiert gebaut und betrieben werden. Entsprechend einem vom Gesetzgeber festgelegten Minimierungskatalog sind Minimierungsoptionen zu überprüfen und ggf. umzusetzen. Mit der Verwaltungsvorschrift konkretisiert der Gesetzgeber die in der 26. BImSchV [1] verfügte Verpflichtung zur Minimierung. Dabei sind einige grundlegende Voraussetzungen zu berücksichtigen.

So hat das im Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (EnWG) verankerte NOVA-Prinzip (Netzoptimierung, -verstärkung und -ausbau) Vorrang. Insbesondere die gegenüber einem Netzneubau vorrangige Netzverstärkung kann allerdings höhere elektrische und magnetische Felder bedingen. Für die Anforderungen der Minimierung bedeutet dies, dass nach einer Netzverstärkung höhere Feldstärken dann zulässig sind, wenn die bzgl. den Verstärkungsmaßnahmen zur Verfügung stehenden Minimierungsoptionen ausgeschöpft wurden.

Des Weiteren dürfen Minimierungsmaßnahmen an keinem definitionsgemäßen Minimierungsort den bisherigen Immissionseintrag vergrößern (z. B. durch Phasenoptimierung an einer Freileitung, welche nur einseitig feldreduzierend wirkt). Die Minimierung hat unter Berücksichtigung der Gegebenheiten im Einwirkungsbereich der betreffenden Anlage unter Abwägungstatbeständen zu erfolgen. So beinhaltet der Stand der Technik, z. B. den Einsatz normkonformer Bauteile sowie Bau- und Betriebsweisen ebenso, wie die Wirkung und Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme sowie

die Einhaltung der Schutzvorschriften zum Personen- bzw. Arbeitsschutz. Eventuell negative Auswirkungen auf vorhandene Schutzgüter sind zu berücksichtigen.

Die Verwaltungsvorschrift zur Minimierung gilt nicht für bis zum 4. März 2016 beantragte Planfeststellungs- und Plangenehmigungsverfahren, für die zu diesem Zeitpunkt ein vollständiger Antrag vorlag. Für alle anderen Projekte und Verfahren gilt, dass Leitungen und Anlagen bei Inbetriebnahme den Anforderungen der 26. BImSchVVwV [43] genügen müssen.

Für die spezifischen Betriebsmittel werden in der 26. BImSchVVwV [43] die geforderten Minimierungsoptionen konkret beschrieben. Nachfolgende Aufstellung zeigt die adressierten Betriebsmittel mit den dazugehörigen Minimierungsoptionen. Jede Minimierungsoption wird in der Verwaltungsvorschrift separat und ausführlich beschrieben und erklärt:

HGÜ-Freileitungen:

- Abstandsoptimierung
- Elektrische Schirmung
- Minimieren der Seilabstände
- Optimieren der Mastkopfgeometrie
- Optimieren der Polanordnung

HGÜ-Erdkabel:

- Minimieren der Kabelabstände
- Optimieren der Polanordnung
- Optimieren der Verlegetiefe

Stromrichteranlagen:

- Abstandsoptimierung
- Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Polarität

Bahnstromfreileitungen:

- Abstandsoptimierung
- Elektrische Schirmung
- Minimieren der Seilabstände
- Optimieren der Mastkopfgeometrie
- Optimieren der Leiteranordnung

Bahnstromerdkabel:

- Minimieren der Kabelabstände
- Optimieren der Leiteranordnung
- Optimieren der Verlegegeometrie
- Optimieren der Verlegetiefe

Bahnstromoberleitungen:

- Abstandsoptimierung
- Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Auto-Transformatoren
- Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Einsatz von Booster-Transformatoren ohne Isolierstöße
- Minimieren der Distanzen zwischen zu- und rückfließenden Strömen durch Installation eines Rückleiterseils ohne Isolierstöße
- Minimieren des Fahrstroms

Bahnstromnebenanlagen:

- Abstandsoptimierung
- Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln

Drehstromfreileitungen:

- Abstandsoptimierung
- Elektrische Schirmung

- Minimieren der Seilabstände
- Optimieren der Mastkopfgeometrie
- Optimieren der Leiteranordnung

Drehstromerdkabel:

- Minimieren der Kabelabstände
- Optimieren der Leiteranordnung
- Optimieren der Verlegegeometrie
- Optimieren der Verlegetiefe

Drehstromumspann- und Drehstromschaltanlagen ab Mittelspannung und höher, Umrichter- und Kompensationsanlagen:

- Abstandsoptimierung
- Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung

Ortsnetzumspannstationen:

- Abstandsoptimierung
- Minimieren der Distanzen zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung
- Optimieren von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung

Die Realisierung der o. g. Minimierungsoptionen ist in jedem Projekt zu überprüfen. Nicht realisierbare Minimierungsoptionen sind zu begründen.

Eine praktikable Hilfestellung stellt der Technische Hinweis Minimierung des Forums Netztechnik Netzbetrieb im VDE (FNN) dar. Dort sind die einzelnen Betriebsmittel und Minimierungsoptionen in Anlehnung an die 26. BImSchVVwV [43] beschrieben. Ebenso werden konkrete und praktikable Hilfestellungen zur Umsetzung der Minimierung gemacht. So werden z. B. Formblätter für die Abwägung der Schutzgüter vorgestellt. Diese gewährleisten bei Anwendung eine Bundesländer und Netzbetreiber übergreifende und konforme Vorgehensweise bei notwendigen Abwägungstatbeständen. Dies kann zum einen hilfreich für die Vorbereitung von Unterlagen für Genehmigungsverfahren sein, zum anderen können diese Formblätter auch für nicht genehmigungspflichtige Anlagen im Falle einer Abwägung unterschiedlicher Interessen zur sachlichen Klärung beitragen. Auch werden Formblätter für eine praktikable Dokumentation der Minimierung im Verteilnetz angeboten.

#### **5.3.1.4 Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (Durchführungshinweise der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz – LAI-Durchführungshinweise)**

Der Vollzug des Immissionsschutzes in Deutschland fällt unter die Hoheit und Zuständigkeit der Länder. Deshalb haben die Länder in der „Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI)“ Hinweise zur Durchführung und Umsetzung der Maßgaben der 26. BImSchV [1] erstellt. Dort sind u. a. Begrifflichkeiten festgelegt sowie Prozesse beschrieben. Nachfolgend sind auszugsweise einige markante Inhaltsbereiche der Durchführungshinweise genannt:

- Anwendungsbereich
- Gleichstrom-, Niederfrequenz und Hochfrequenzanlagen
- Dauerhafter, vorübergehender, nicht nur vorübergehender Aufenthalt von Menschen
- Einwirkungsbereich einer Leitung bzw. Anlage
- Ersatzweise zu betrachtender Abstandsbereich einer Leitung / Anlage zur Bewertung der Grenzwerteinhaltung
- Erhebliche Belästigungen oder Schäden durch elektrische Feldstärken

- Anforderungen zur Vorsorge
- Minimierung von Emissionen nach dem Stand der Technik
- Überspannungsverbot von 50-Hz-Freileitungen ab 220 kV
- Hinweise zur Ermittlung der Feldstärke- und Flussdichtewerte
- Anzeigepflicht bei der Behörde bzw. Eigendokumentation
- Beteiligung der Kommunen bei der Errichtung von Hochfrequenzanlagen
- Ordnungswidrigkeit
- Übergangsvorschriften

#### **5.3.1.5 Wahrnehmung der Fürsorgepflicht des Gesetzgebers**

Das vom deutschen Gesetzgeber hinsichtlich der internationalen Grenzwertempfehlung abgesenkte deutsche Grenzwertniveau und diesbezügliche Schutzkonzept sowie die zusätzlich festgelegten Maßnahmen zur Vorsorge gewährleisten bzgl. elektrischen und magnetischen niederfrequenten 50-Hz-Emissionen und Immissionen derzeit ein Maximum an Schutz und Vorsorge vor unzulässig bzw. unzumutbaren elektrischen und magnetischen Emissionen und Immissionen. Mit diesem, derzeit in der EU vergleichsweise hohen Schutz- und Vorsorgeniveau, ist der deutsche Gesetzgeber somit seiner Schutz- und Fürsorgepflicht gegenüber der Bevölkerung mehr als vollumfänglich nachgekommen – auch gegenüber Kindern sowie alten und kranken Menschen beider Geschlechter.

#### **5.3.1.6 Festlegungen durch die NiSV**

Als Artikel 4 der Artikelverordnung zur Modernisierung des Strahlenschutzrechts tritt die „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei Anwendung am Menschen - NiSV“ [45] zum 31.12.2020 in Kraft. Die darin enthaltenen Anforderungen zum Nachweis der Fachkunde treten zum 31.12.2021 in Kraft.

Die NiSV [45] beschreibt Anforderungen an die Durchführung von kosmetischen und nichtmedizinischen Anwendungen am Menschen und dazu verwendeter Geräte im gewerblichen Rahmen oder sonstiger wirtschaftlicher Unternehmungen. Sie schließt damit die Regelungslücke für Anwendungen von Ultraschall-, Laser-, Hochfrequenz-, Niederfrequenz-, Gleichstrom- und Magnetfeldgeräten, umfasst aber keine UV-Bestrahlungsgeräte im Sinne der UV-Schutz-Verordnung. Mögliche Anwendungen dieser Geräte umfassen z. B. dauerhafte Haar- oder Tattoo-Entfernung, Hautverjüngung, Fettreduktion, Muskelaufbau, Hirnstimulation zur Leistungssteigerung, Gehirnuntersuchungen in der Marktforschung oder Ultraschallbabykino. Weiterhin regelt die NiSV [45] wichtige Anforderungen an die Sach- und Fachkenntnisse derjenigen Personen, die die vom Anwendungsbereich der NiSV [45] erfassten Verfahren und Geräte an Menschen anwenden. Sie regelt außerdem, welche Verfahren und Geräte von fachkundigen Personen bzw. welche ausschließlich von Ärztinnen und Ärzten angewendet werden dürfen. Letzteres wird auch als Ärztevorbekannt bezeichnet.

#### **5.3.1.7 Festlegungen aufgrund des Telekommunikationsrechts**

Im Gesetz über die Bereitstellung von Funkanlagen (FuAG) [46] ist festgelegt, dass der Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern durch den Betrieb von Funkanlagen und Radaranlagen in der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) [47] im Frequenzbereich 9 kHz - 300 GHz geregelt wird. Arbeitsschutzrechtliche Regelungen bleiben davon unberührt.

Die nach BEMFV [47] anzuwendenden Grenzwerte sind die Grenzwerte der 26. BImSchV [1].

Des Weiteren sind für den Frequenzbereich 9 kHz - 50 MHz die zulässigen Werte für aktive Körperhilfen nach DIN EN 50527-1, Ausgabe Januar 2011 [48] und DIN EN 50527-2-1, Ausgabe Mai 2012 [76] heranzuziehen.

Auf Grundlage der BEMFV [47] werden von der Bundesnetzagentur für die von der BEMFV [47] erfassten ortsfesten Funkanlagen Standortbescheinigungen erstellt, wenn sich innerhalb des berechneten Sicherheitsabstandes keine Orte befinden, die für den dauerhaften oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Die in der Standortbescheinigung ausgewiesenen Sicherheitsabstände um die Funkanlage sowie die Ergebnisse der durch die Bundesnetzagentur zur Dokumentation der typischen Exposition der Bevölkerung durchgeführten Messungen können im Internet eingesehen werden, siehe Abschnitt 3.3.

### **5.3.2 Berufliche Exposition**

Im November 2016 wurde die Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMF-Arbeitsschutzverordnung, EMFV, [2]) veröffentlicht und ist am 16. November 2016 in Kraft getreten. Mit der EMFV wird die EU-Richtlinie (2013/35/EU) in staatliches Arbeitsschutzrecht überführt. Das Schutzziel der EMFV wird über Technische Regeln konkretisiert. Die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung EMF (TREMf) werden derzeit (Stand Oktober 2019) erarbeitet.

Auf Seiten der Unfallversicherungsträger wurde zur Sicherstellung des Schutzes der Gesundheit der Beschäftigten im Jahr 2001 die DGUV-Vorschrift 15 „Elektromagnetische Felder“ [14] (bisherige Bezeichnung BGV B11) in Kraft gesetzt und ist bis auf weiteres gültig (Stand Oktober 2019). Erläutert und konkretisiert wird die DGUV-Vorschrift 15 durch die DGUV-Regel 103-013 „Elektromagnetische Felder“ (bisherige Bezeichnung: BGR B11 „Elektromagnetische Felder“) [49].

Im Einvernehmen mit der deutschen Arbeitsschutzstrategie, die Doppelregelungen im staatlichen Arbeitsschutzrecht und dem Unfallversicherungsträgerrecht vermeidet, wird dies zur Folge haben, dass die DGUV-Vorschrift 15 [14] inkl. DGUV-Regel 103-013 [49] nach dem Erscheinen der TREMF zurückgezogen werden wird.

Um die Sicherheit und Gesundheit von Beschäftigten (im Sinne des staatlichen Arbeitsschutzrechts) oder Versicherten (im Sinne des Unfallversicherungsträgerrechts) bei der Ausführung ihrer Tätigkeiten zu gewährleisten, ergänzen sich verschiedene Arbeitsschutzakteure z. B. um Arbeitsbedingungen zu gestalten (Prävention) oder zu kontrollieren. Auf staatlicher Seite sind das auf Bundesebene das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) und die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und auf Länderebene die Landesämter für Arbeitsschutz bzw. die mit dem betrieblichen Arbeitsschutz beauftragten Stellen, z. B. Bezirksregierungen. Auf Seiten der gesetzlichen Unfallversicherungsträger sind die branchenspezifischen Berufsgenossenschaften zu nennen.

Die Wirkungen elektromagnetischer Felder auf Beschäftigte bzw. Versicherte werden im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung durch den Arbeitgeber bzw. den Unternehmer ermittelt. Nach Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, [50]) werden die speziellen Gefahren für die Gruppe der besonders schutzbedürftigen Beschäftigten (in der EMF-RL als besonders gefährdete Arbeitnehmer bezeichnet) ebenfalls erfasst. Die Gefährdungsbeurteilung bildet u. a. die Grundlage für die Ableitung von Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen, die regelmäßigen Unterweisungen aller Beschäftigten oder die angemessene arbeitsmedizinische Vorsorge. Nach § 3 Absatz 1 Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV, [51]) in Verbindung mit der Arbeitsmedizinischen Regel 3.2 (AMR, [52])

bestehen keine Anlässe für eine Pflicht- bzw. Angebotsvorsorge. Im Rahmen dieser Unterweisungen werden die Beschäftigten über ihre Mitwirkungspflicht (im Sinne §§ 15 und 16 ArbSchG, [50]) aufgeklärt. Das bedeutet, dass z. B. Beschäftigte, bei denen eine Implantatversorgung bevorsteht, unter Wahrung ihrer Persönlichkeitsrechte den Arbeitgeber informieren. Die Erkenntnisse aus einer etwaigen Wunschvorsorge (nach § 11 ArbSchG [50], vorrangig im Rahmen einer Implantatversorgung) würden anonymisiert in die Gefährdungsbeurteilung einfließen können bzw. für eine individuelle Gefährdungsbeurteilung herangezogen werden können. Darauf aufbauend, kann der Arbeitgeber individuelle Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung der Gefährdungen durch EMF ableiten und durchführen.

### **5.3.3 Bundeswehr**

Um den Gesundheitsschutz und die Sicherheit der Beschäftigten bei der Bundeswehr zu gewährleisten, hat die Bundeswehr im Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr mit der Abteilung „Gesetzliche Schutzaufgaben (GS)“ eine Stelle geschaffen, die die fachliche Zuständigkeit für den Arbeits- und Immissionsschutz bündelt.

Der Bereich der elektromagnetischen Felder ist im Fachreferat für den Strahlenschutz in der Abteilung GS abgebildet. Dieses gibt unter anderem auch die Zentralvorschrift „Strahlenschutz – Elektromagnetische Felder“ (Zv A1-2012/0-6004) heraus.

Diese Vorschrift regelt die Zuständigkeiten und Besonderheiten in Bezug auf die bei der Bundeswehr eingesetzten Quellen für elektromagnetische Felder und verweist an vielen Stellen auf die DGUV- Vorschrift 15 [14].

Die Bundeswehr hält die Vorgaben aus der EMFV im Arbeitsschutz und der 26. BImSchV [1] im Immissionsschutz ein. Um die Einhaltung dieser Vorgaben überprüfen zu können, unterhält die Bundeswehr an drei Standorten Messstellen für Messungen im Strahlenschutz.

## **5.4 Regelungen in der Schweiz**

### **5.4.1 Zuständigkeiten**

In der Schweiz sind die Zuständigkeiten im Bereich NIS auf verschiedene Bundesämter und Stellen verteilt. In der Folge sind diese Aufgabenteilungen aufgelistet und sollen einen Überblick geben.

#### **5.4.1.1 Bundesamt für Gesundheit BAG**

Es ist zuständig für die Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (V-NISSG, [53]). Es ist für den Vollzug von Veranstaltungen mit Laserstrahlung zuständig und unterstützt die Kantone mit Vollzugshilfen beim Vollzug der V-NISSG. Es informiert zudem die Öffentlichkeit mit Faktenblätter über Geräte, die elektromagnetische Strahlung aussenden und über Geräte, die Licht, Laser oder UV-Strahlung erzeugen. Es informiert über den gesunden Umgang mit der Sonnenstrahlung (vgl. [website des BAG](#)).

#### **5.4.1.2 Bundesamt für Umwelt BAFU**

Es ist zuständig für den Schutz von Mensch und Umwelt vor nichtionisierender Strahlung von stationären NIS-emittierenden Anlagen (Anlagen zur Stromübertragung, Eisenbahnanlagen, Sende- und Radaranlagen, Beleuchtungsanlagen). Neu ist es ebenfalls für den Aufbau und Betrieb eines Monitorings zuständig, das Auskunft zur

Belastung der Bevölkerung durch nichtionisierende Strahlung in der Umwelt gibt. Es bearbeitet politische Geschäfte auf Bundesebene in diesem Fachbereich, empfiehlt geeignete Mess- und Berechnungsmethoden und unterstützt den Vollzug der Verordnung über den Schutz nichtionisierender Strahlung (NISV, [38]). Periodisch wird eine Neubeurteilung der Risiken für Mensch und Umwelt aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse durchgeführt. Als Unterstützung bei dieser umfangreichen Aufgabe hat das BAFU 2014 eine beratende Expertengruppe NIS ([BERENIS](#)) einberufen, welche die wissenschaftliche Literatur zum Thema sichtet. Aus den neuerschienenen Studien werden die relevanten ausgewählt, zusammenfasst und bewertet. Diese Bewertungen erscheinen in einem vierteljährlichen [Newsletter](#).

#### **5.4.1.3 Kantone**

Die NIS-Fachstellen der Kantone sind zuständig für den Vollzug der NISV bei Mobilfunk-, Amateurfunk-, Betriebsfunk- und Rundfunkanlagen. Die Kantone vollziehen zudem Teilbereich der V-NISSG. So sind sie für die Kontrolle von Solarien sowie für die Überprüfung der Sachkunde bei Behandlungen zu kosmetischen Zwecken mit nichtionisierender Strahlung zuständig.

#### **5.4.1.4 Suva & Staatssekretariat für Wirtschaft SECO**

Zuständigkeit bezüglich EMF an Arbeitsplätzen: Das SECO und die Suva sind zuständig für den Schutz vor EMF am Arbeitsplatz. Die bestehenden Grenzwerte regeln die maximal zulässigen elektromagnetischen Felder am Arbeitsplatz (Grenzwerte am Arbeitsplatz, Suva) unter dem Gesichtspunkt der Berufskrankheitenverhütung. Wirken betriebsfremde Anlagen oder Einrichtungen auf den Arbeitsplatz ein, so sind zusätzlich die Grenzwerte gemäß NISV [38] einzuhalten. Die Suva ist zuständig für: Unfall- und Berufskrankheitenverhütung, Grenzwerte am Arbeitsplatz, Messmethoden, Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte inkl. persönlicher Schutzausrüstung (PSA).

Das SECO gibt Auskunft über: Allgemeinen Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Grenzwerte am Arbeitsplatz, Mutterschutz, Messmethoden, weitergehende Vorsorge zur Prävention und Reduktion von EMF-Belastungen am Arbeitsplatz, den aktuellen Stand der Gesundheitsforschung.

#### **5.4.1.5 Bundesamt für Verkehr BAV**

Das BAV ist zuständig für den Vollzug der NISV [38] bei den Fahrleitungen der Eisenbahnen und Straßenbahnen und bei der Stromversorgung (Kabelleitungen, Unterwerke etc.) und Sendeanlagen der Eisenbahnen.

#### **5.4.1.6 Bundesamt für Kommunikation BAKOM**

Das BAKOM ist zuständig für den Marktzugang und die Marktüberwachung von Fernmeldeanlagen im Bereich Nutzung des Frequenzspektrums und elektromagnetische Verträglichkeit. Die Zuständigkeit im Bereich EMF bei der Marktüberwachung von Fernmeldeanlagen liegt beim Eidgenössischen Starkstrominspektorat ESTI.

#### **5.4.1.7 Swissmedic**

Die Swissmedic ist zuständig für Medizinprodukte und den Schutz von Patientinnen und Patienten.

#### **5.4.1.8 Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI**

Das ESTI ist zuständig für den Vollzug der NISV [38] bei Anlagen der Stromversorgung (Frei- und Kabelleitungen, Transformatorstationen, Unterwerken, Schaltanlagen) und für die Marktüberwachung von Geräten.

#### **5.4.1.9 Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL**

Das BAZL ist zuständig für den Vollzug der NISV [38] bei Sende- und Radaranlagen der zivilen Luftfahrt.

#### **5.4.1.10 Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS**

Das VBS ist zuständig für den Vollzug der NISV [38] bei militärischen Sende- und Radaranlagen.

#### **5.4.1.11 Bundesamt für Energie BFE**

Das BFE gibt Auskunft bei: allgemeinen Fragen zu Elektrizität und Strom.

### **5.4.2 Allgemeinbevölkerung**

Die Schweizerische NISV [38] ist im Jahr 2000 in Kraft getreten. Die NISV [38] regelt ortsfeste Anlagen in der Umwelt.

Die Immissionsgrenzwerte der NISV [38] entsprechen den Referenzwerten von ICNIRP für die elektrische Feldstärke oder die magnetische Flussdichte und gelten für alle Bereiche, wo sich Menschen aufhalten können.

Strengere vorsorgliche Grenzwerte, die sogenannten Anlagegrenzwerte, gelten an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN, z. B. Wohnungen, Schulen, Kinderspielflächen).

Sie betragen 1 % des 50 Hz Referenzwertes von ICNIRP für die magnetische Flussdichte für die folgenden Anlagen, außer der Besitzer kann beweisen, dass alle technisch möglichen sowie wirtschaftlich tragbaren Maßnahmen getroffen wurden, um das Magnetfeld zu reduzieren:

- Neue Hochspannungsleitungen (Freileitungen und Kabel)
- Alte und neue Transformatoren und Unterwerke
- Alte Anlagen, die geändert werden.

Bei alten Hochspannungsleitungen muss die Phasenbelegung optimiert werden, wenn der Anlagegrenzwert überschritten ist.

Die Anlagegrenzwerte für Sendeanlagen für Mobilfunk, Rundfunk und Radaranlagen betragen ungefähr 10 % der ICNIRP-Referenzwerte der elektrischen Feldstärke.

Der Text der NISV [38] und der erläuternde Bericht [54] dazu können auf der Website des Bundesamts für Umwelt (BAFU) gefunden werden (vgl. folgenden [link](#))

Das Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (NISSG) ist am 1. Juni 2019 in Kraft getreten. Dieses Gesetz gibt dem Bundesamt für Gesundheit die Aufgabe die Öffentlichkeit über die Risiken von nichtionisierender Strahlung und Schall zu informieren.

### **5.4.3 Berufliche Exposition**

In der Publikation der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (Suva) „Grenzwerte am Arbeitsplatz: MAK-/BAT-Werte (Erläuterungen), physikalische Einwirkungen,

physische Belastungen“ (siehe [www.suva.ch](http://www.suva.ch) oder folgenden [Direktlink](#)) sind die Grenzwerte bezüglich der beruflichen Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern aufgeführt.

Die Grenzwerte (Tabelle 5.1) gelten für Situationen, wo der ganze Körper dem elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feld ausgesetzt ist. Sie sind für den unbesetzten Arbeitsplatz definiert, da durch die Anwesenheit einer Person insbesondere die elektrische Feldstärke stark beeinflusst wird. Sie gelten beispielsweise für Arbeitsplätze im Bereiche von Elektromagneten, Magnetresonanztomographen, Transformatoren, Induktionsschmelzöfen, HF-Schweissanlagen, HF-Trocknungsanlagen, industriellen Mikrowellenöfen. Sie sind auch anwendbar für Beschäftigte in der Energieerzeugung und -Verteilung (Bahnen, Elektrizitätswerke, Industrie) und an Sendeanlagen.

Um sicher zu stellen, dass die Grenzwerte eingehalten sind, dürfen im statischen und niederfrequenten Bereich die Felder zu keinem Zeitpunkt die Grenzwerte nach Tabelle 5.1 übersteigen.

Tabelle 5.1 Grenzwerte (Effektivwerte) für ausgewählte Industriefrequenzen; f = Frequenz, H = magnetische Feldstärke, B = magnetische Flussdichte, E = elektrische Feldstärke, P = Leistungsdichte. 1) bei dieser Frequenz nicht relevant, 2) bei speziellen Anwendungen in kontrollierter Umgebung, z. B. müssen Verhaltensmaßnahmen zur Vermeidung von bewegungsinduzierten Effekten müssen definiert werden.

<b>f</b>	<b>H</b>	<b>B</b>	<b>E</b>	<b>P</b>
statisch	1600 kA/m 6400 kA/m	2000 mT (für Kopf und Rumpf) <sup>2)</sup> 8000 mT (für Glieder) <sup>2)</sup>	40 kV/m	1)
16 2/3 Hz	1200 A/m	1500 µT	20 kV/m	1)
50 Hz	400 A/m	500 µT	10 kV/m	1)
400 Hz	50 A/m	62,5 µT	1,25 kV/m	1)
30 kHz	24,4 A/m	30,7 µT	0,61 kV/m	1)
13,56 MHz	0,16 A/m	0,2 µT	61 V/m	10 W/m <sup>2</sup>
27,12 MHz	0,16 A/m	0,2 µT	61 V/m	10 W/m <sup>2</sup>
40,68 MHz	0,16 A/m	0,2 µT	61 V/m	10 W/m <sup>2</sup>
433,92 MHz	0,17 A/m	0,21 µT	62,5 V/m	11 W/m <sup>2</sup>
900 MHz	0,24 A/m	0,3 µT	90 V/m	22,5 W/m <sup>2</sup>
1,8 GHz	0,34 A/m	0,42 µT	127 V/m	45 W/m <sup>2</sup>
2,45 GHz	0,36 A/m	0,45 µT	137 V/m	50 W/m <sup>2</sup>
5,8 GHz	0,36 A/m	0,45 µT	137 V/m	50 W/m <sup>2</sup>
24,125 GHz	0,36 A/m	0,45 µT	137 V/m	50 W/m <sup>2</sup>

Für den Nahbereich von medizinischen Magnetresonanztomographen muss der Arbeitgeber eine Risikoanalyse durchführen und Schutzmaßnahmen festlegen. Bei modulierten und gepulsten HF-Feldern soll eine mittlere Leistungsdichte über eine repräsentative Periode von 6 min bestimmt werden. Die Spitzenwerte von kurzen HF-Impulsen (Radar) sollen den 1000-fachen Wert der Leistungsdichte P nach Tabelle 5.1 nicht übersteigen.

Diese Grenzwerte sollen Personen am Arbeitsplatz vor direkter thermischer Gefährdung durch Hochfrequenz-Felder sowie Belästigungen durch niederfrequente und statische Felder schützen. Es ist möglich, dass beim Berühren von ausgedehnten Metallstrukturen trotzdem belästigende Empfindungen wahrgenommen werden. In

solchen Fällen soll mit selektiver Erdung oder Isolation dieser Strukturen Abhilfe geschaffen werden, bis der Berührungsstrom ( $I_{ber}$ ) genügend gering ist und keine Belästigung mehr auftritt (0 - 2,5 kHz:  $I_{ber} < 1 \text{ mA}$ ).

Durch das Einhalten dieser Grenzwerte wird nicht sichergestellt, dass bestimmte EM-sensible Geräte wie Navigationsgeräte, Bildschirme, Elektronenmikroskope, Analysengeräte, Radioempfangsgeräte ungestört bleiben. Auch können elektroexplosive Vorrichtungen gezündet oder Explosionen durch Funkenbildung ausgelöst werden. Es können erhebliche Störungen auftreten, die eventuell auch zu sekundärer Gefährdung führen könnten. Verhaltensmaßnahmen zur Vermeidung von bewegungsinduzierten Effekten müssen definiert werden.

Dies ist jedoch Gegenstand von speziellen Vorschriften insbesondere über die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) von technischen Einrichtungen und Geräten (Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit, SR 734.5, [55]).

Die Grenzwerte für die statischen Magnetfelder in der Tabelle 5.1 entsprechen den Referenzwerten für den Arbeitsplatz (Occupational) der Richtlinie über die Begrenzung der Immissionen magnetischer Felder (0 Hz) der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung [9]. Die Grenzwerte für die Wechselfelder in der Tabelle 5.1 entsprechen den Referenzwerten für den Arbeitsplatz (Occupational) der Richtlinie über die Begrenzung der Immissionen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Wechselfelder (bis 300 GHz) der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung [34].

Für den Schutz bei Schwangerschaft und Mutterschaft müssen die Grenzwerte der Verordnung des WBF über gefährliche und beschwerliche Arbeiten bei Schwangerschaft und Mutterschutz eingehalten werden (s. Anhang 1 zu Art. 12, Abs. 3 der Mutterschutzverordnung, [56]). Für den Schutz der allgemeinen Bevölkerung («Public Health») und die Raumplanung gilt die NISV [38].

Personen mit Herzschrittmachern oder anderen elektromedizinischen Hilfsgeräten sind möglicherweise auch beim Einhalten dieser Grenzwerte ungenügend geschützt. In solchen Fällen ist eine besondere Abklärung erforderlich.

Eine Übersicht betreffend der Grenzwerte in der Schweiz ist in Abbildung 5.3 zusammengefasst. Weitere Informationen sind auf der Homepage der Suva zu finden ([www.suva.ch/strahlenschutz](http://www.suva.ch/strahlenschutz)).

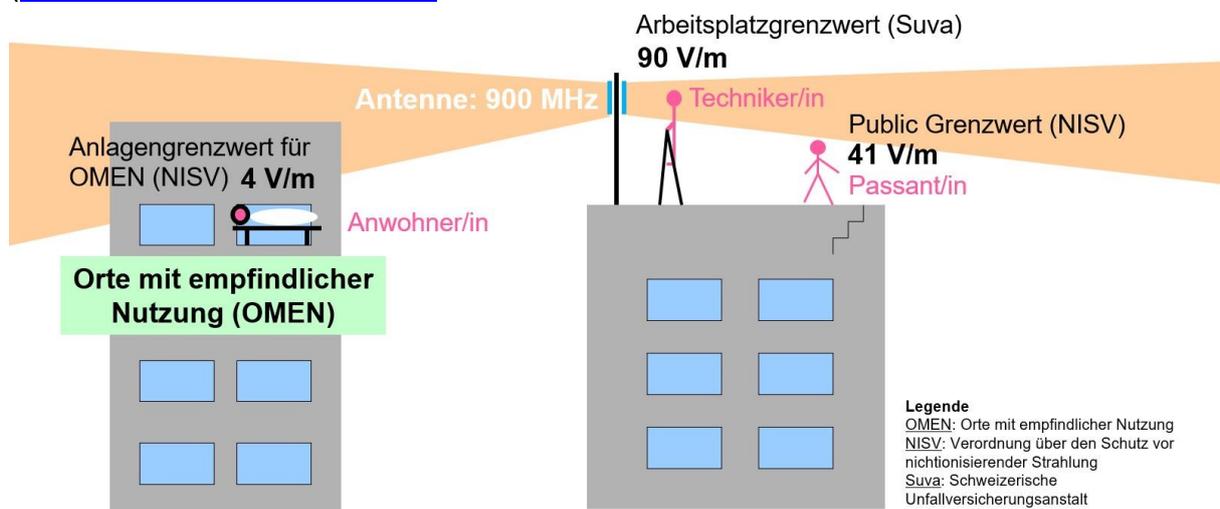


Abbildung 5.3 Für die Frequenz von 900 MHz sind die existierenden Grenzwerte in der Schweiz am Beispiel eines Technikers bzw. einer Technikerin (Arbeitsplatzgrenzwert), eines Passanten bzw. einer

Passantin (Public Grenzwert) und eines Anwohners bzw. einer Anwohnerin (Anlagengrenzwert OMEN) aufgezeigt

## **5.5 Regelungen in Österreich**

### **5.5.1 Allgemeinbevölkerung**

In Österreich gibt es für die Allgemeinbevölkerung keine spezifische Regelung durch Gesetz oder Verordnung betreffend die Begrenzung der Exposition. Jedoch ist die nationale Richtlinie, OVE-Richtlinie R 23-1:2017-04-01 [57] auf Basis der Elektrotechnikverordnung für wesentliche Bereiche der elektrischen Energieversorgung rechtlich relevant, da in verbindlichen Normen ein Verweis darauf beziehungsweise auf vorangegangene Dokumente besteht.

Für Hochfrequenzanwendungen fordert das Telekommunikationsgesetz explizit die Beachtung der elektromagnetischen Felder zum Schutz der Gesundheit.

Seit 2016 sind in der OVE-Richtlinie R 23-1:2017-04-01 [57] die 2010 von ICNIRP veröffentlichten Referenzwerte und Basisgrenzwerte für den Bereich 1 Hz bis 10 MHz [40] zusammen mit jenen aus 1998 für 100 kHz bis 300 GHz [34] festgelegt.

Grenzwerte für die Emission einzelner Betriebsmittel, wie sie durch internationale und europäische Produktnormen festgelegt werden, sind für Hersteller und Inverkehrbringer weiterhin bindend. Die darin enthaltenen niedrigeren Grenzwerte gemäß Ratsempfehlung 1999/519/EG [35] (entsprechend ICNIRP 1998) bieten im Rahmen der nach R-23 zulässigen Gesamtmission Raum für mehrere Emittenten.

### **5.5.2 Berufliche Exposition – die VEMF als Umsetzung der RL 2013/35/EU**

Für Hersteller und Inverkehrbringer von Geräten und Anlagen gelten für Österreich in aller Regel dieselben Bestimmungen des EU-Binnenmarkts wie im Rest der EU, so wie diese in nationales Recht umgesetzt worden sind. Dies trifft selbstverständlich auch auf alle Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung – und damit elektromagnetische Felder (EMF) – zu, die Hersteller und Inverkehrbringer berücksichtigen müssen.

Für die Anwendung am Arbeitsplatz und die dort vorherrschende Immission von EMF wurde die Richtlinie 2013/35/EU [36] (deren Grundzüge wurden bereits vorstehend beschrieben) in Österreich als Verordnung elektromagnetische Felder – VEMF mit 01. August 2016 in nationales Recht umgesetzt [37].

Im Rahmen der betrieblichen Sicherheits- und Gesundheitsarbeit ist im Sinne des Vorsorgeprinzips ohnehin eine möglichst geringe Belastung durch elektromagnetische Felder anzustreben. Die VEMF [37] konkretisiert analog zur Richtlinie 2013/35/EU [36] diese Forderung mittels der Festschreibung der Evaluierungspflicht und der Expositionsgrenzwerte der Richtlinie. Die VEMF gilt für Beschäftigte in Betrieben. Gleichwertige bis gleichlautende Bestimmungen für Bundesbedienstete sowie Regelungen der Bundesländer in ihrem Zuständigkeitsbereich wurden ebenfalls erlassen. Spezielle Bestimmungen für besondere Personengruppen (schwängere Arbeitnehmerinnen, Jugendliche), welche in Österreich zusätzlich zu den Bestimmungen der Richtlinie erlassen wurden, werden im Folgenden näher behandelt.

#### **5.5.2.1 Verordnung elektromagnetische Felder - VEMF**

Ziel der Verordnung ist es, alle gesicherten – das sind typischerweise unmittelbare – Auswirkungen von EMF im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz auf Menschen in einem vertretbaren Rahmen zu halten. Daher liegt das Hauptaugenmerk auf der

Bewertung der Einhaltung von Expositionsgrenzwerten und damit den direkten Wirkungen. Ergänzend sind indirekte Wirkungen, und damit insbesondere die Auswirkungen auf aktive, medizinische Implantate, zu evaluieren (vgl. § 7 Abs. 2 VEMF, [37]). Damit folgt die VEMF [37] der Richtlinie 2013/35/EU [36] .

Dabei gilt, wie auch in anderen Bereichen des österreichischen Arbeitnehmerschutzes, ein Minimierungsgebot sowohl für Gefährdungen als auch Exposition durch EMF (§ 9 Abs. 1 und 2 VEMF, [37])

### **5.5.2.2 Ausnahmen bei der Einhaltung von Expositionsgrenzwerten**

Expositionsgrenzwerte sind gemäß § 3 VEMF [37] zwingend einzuhalten. Bei einer möglichen Überschreitung (dies könnte angezeigt sein, wenn Arbeitnehmer über EMF-relevante Symptome berichteten) sind unverzüglich Maßnahmen zu ergreifen und die Evaluierung zu aktualisieren.

Aus der Richtlinie 2013/35/EU [36] wurde mit § 3 Abs. 6 VEMF [37] eine Ausnahme zur Einhaltung von Expositionsgrenzwerten für bildgebende Verfahren der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) übernommen. Zusätzlich ist in Österreich bei Widerstands- und Bolzenschweißarbeiten in beengten Räumen eine vorübergehende Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen gemäß § 3 Abs. 7 Z 1 VEMF [37] zulässig. Allerdings sind die Voraussetzungen (§ 3 Abs. 8 VEMF, [37]) dafür streng und in der Regel, ohne bereits erfolgte Beurteilung durch einen Experten, nicht gegeben. Eine vorübergehende bzw. zeitweilige Überschreitung von Expositionsgrenzwerten ist nur kurz und erfolgt nicht regelmäßig. Praxis- und verfahrensbedingte Gründe sind v. a. dann gegeben, wenn spezielle Anwendungstechniken erforderlich sind und keine geeigneten alternativen Arbeitsverfahren zur Verfügung stehen (z. B. bei der Herstellung von Prototypen in der Autoindustrie ist kein Robotereinsatz möglich). Zu „engen Räumen“ zählen nach der deutschen DGUV-Information 213-001 [58] nicht nur allseitig umschlossene, sondern auch offene Räume, wie Gruben, Schächte, Gräben und Kanäle. Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen müssen jedenfalls eingehalten werden.

Weiter ist nach § 3 Abs. 7 Z 2 VEMF [37] bei Anlagen zur Erzeugung, Übertragung und Verteilung von elektrischer Energie vorübergehende Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen unter den gleichen strengen Voraussetzungen zulässig. Bei absehbaren Betriebsstörungen durch Überströme in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten ist zeitweilig auch eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen zulässig, wenn die Überexposition nicht länger als die nach dem Stand der Technik höchstzulässige Abschaltdauer besteht sowie gemäß § 3 Abs. 10 VEMF [37] auch eine Expertenevaluierung vorliegt.

### **5.5.2.3 Auslösewerte**

Die Auslösewerte werden ebenfalls von der Richtlinie 2013/35/EU [36] übernommen und sind zu unterschreiten, es sei denn, ein Nachweis der Unterschreitung der Expositionsgrenzwerte kann erbracht werden (§ 4 VEMF). Während die Bedeutung der Auslösewerte für das elektrische Feld vollinhaltlich übernommen werden, sind für das magnetische Feld bei nicht-thermischen Wirkungen (Niederfrequenzbereich bis 10 MHz) die niedrigen Auslösewerte für den Kopf und die hohen Auslösewerte für den Rumpf anzuwenden.

Die nach der Richtlinie mögliche zeitweilige Überschreitung von niedrigen Auslösewerten beim Magnetfeld sowie der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen ist daher in Österreich im Allgemeinen nicht gegeben, da diese Werte im Bereich des Kopfes einzuhalten sind. Die zeitweilige Überschreitung von

Expositionsgrenzwerten ist nur in wenigen, genau bestimmten Situationen (siehe definierte Ausnahmen in § 3 Abs. 7 und Abs. 9 VEMF, [37]) möglich.

Durch das Konzept der Anwendung von Auslösewerten für das magnetische Feld auf einzelne Körperregionen ergibt sich in der Praxis ein gleichwertiger Schutz der Arbeitnehmer und eine gute Korrespondenz zu den Expositionsgrenzwerten für sensorische und gesundheitliche Wirkungen.

#### **5.5.2.4 Evaluierung, Kennzeichnung, Information und Unterweisung**

Die Evaluierung von EMF hat gemäß § 7 VEMF [37] vom Arbeitgeber (oder von ihm beauftragte fachkundige Personen) zu erfolgen. Insbesondere sind auch Mehrfachquellen und Immissionen aus mehreren Frequenzbereichen zu beurteilen, sowie indirekte Wirkungen wie die Kraftwirkung in statischen Magnetfeldern. Auf die Möglichkeit der Nutzung des nicht-verbindlichen Leitfadens der Europäischen Kommission gemäß Art. 14 der Richtlinie 2013/35/EU [59] wird explizit verwiesen.

Zu berücksichtigen sind jedenfalls besonders gefährdete oder schutzbedürftige Personen, und damit die Grenzwerte für schwangere Arbeitnehmerinnen sowie indirekte Auswirkungen auf metallische wie elektronische Implantate.

Die Bewertung hat durch fachkundige Personen oder Dienste zu erfolgen. Dies ist mit keiner definierten Ausbildung verbunden, allerdings fordert § 6 Abs. 4 und 5 VEMF [37], dass die je nach Aufgabe erforderlichen fachlichen Kenntnisse, Erfahrung, etc. vorliegen müssen. Es ist explizit erlaubt, auch entsprechend kundige Betriebsangehörige einzusetzen. Sicherheitsfachkräfte können üblicherweise diese Fachkunde durch Berufserfahrung auf dem Gebiet Elektrotechnik oder Physik erlangen.

Kennzeichnung, sowie Information und Unterweisung sind gemäß § 8 und § 11 Abs. 2 VEMF bei einer Überschreitung der Auslösewerte der VEMF [37], oder immer dann, wenn Personen wahrscheinlich einer Gefährdung durch elektromagnetische Felder ausgesetzt sind, erforderlich. Beispiele für in Österreich empfohlene Kennzeichnungen gibt das AUVA Merkblatt M-470 [60].

#### **5.5.2.5 Besonders gefährdete Arbeitnehmer/-innen**

Wie im Punkt ‚Evaluierung‘ gemäß § 7 VEMF beschrieben sind besonders gefährdete Personen speziell zu berücksichtigen. Darunter fallen sowohl Träger von aktiven (elektronischen) Implantaten wie z. B. Herzschrittmachern, Defibrillatoren, Cochlea-Implantaten als auch Träger von (passiven) metallischem Implantaten wie z. B. Prothesen, Schrauben und Platten oder auch schwer entfernbarer Schmuck. Weiterführende Literatur, auf welche auch die österreichische Arbeitsinspektion Bezug nimmt, nennt Richtwerte, die bei der Beurteilung verwendet werden können. Die üblicherweise genannten Dokumente sind der AUVA Report R50 – identisch mit der Fachinformation des Österreichischen Elektrotechnischen Komitees (OEK) „Personen mit aktiven Implantaten in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern“ [61] - und der Forschungsbericht 451 des deutschen Arbeits- und Sozialministeriums [62].

Da solche Richtwerte letztlich keine absolute (Rechts-)Sicherheit bieten können, wird im Zweifelsfall auch die individuelle Beurteilung unter Hinzuziehung von Arbeitsmedizin und behandelndem Arzt empfohlen.

#### **5.5.2.6 Schwangere Arbeitnehmerinnen**

Am Arbeitsplatz gelten gemäß § 5 VEMF [37] die Referenzwerte bzw. Basisgrenzwerte für die Allgemeinbevölkerung aus der Ratsempfehlung 1999/519/EC [35] (diese

entsprechen den Grenzwerten und dem Bewertungskonzept nach ICNIRP [34]) als Grenzwerte. Für eine Mutterschutzevaluierung sind daher Bereiche mit Immissionen oberhalb dieser Grenzwerte zu beachten. Aufgrund des dahinterliegenden Schutzzieles (Schutz des ungeborenen Kindes) ist dabei insbesondere die Exposition von Kopf und Rumpf relevant.

#### **5.5.2.7 Jugendliche Beschäftigte**

Für Jugendliche sind Arbeiten in jenen Bereichen verboten, in denen die Auslöswerte für elektromagnetische Felder überschritten sind (§ 4 Abs. 2 Z 1 KJBG-VO [63]) sowie alle Schweiß- und Schneidarbeiten unter erschwerten Arbeitsbedingungen, etwa in engen Räumen oder Behältern, an beengten Arbeitsplätzen oder unter belastenden raumklimatischen Bedingungen (§ 7 Z 12 KJBG-VO [63]). Da bei der überwiegenden Anzahl von Schweißgeräten die Belastung nahe am Schweißkabel die Auslöswerte überschreitet, ist Schweißen nur mit bestimmten Schweißgeräten zulässig. Die Informationen über Überschreitung der Auslöswerte werden in den Datenblättern der Hersteller angegeben. Das Verbot gilt nicht für Lehrlinge nach 18 Monaten Ausbildung, wenn die Arbeiten unter Aufsicht durchgeführt werden.

#### **5.5.2.8 Evaluierung von Energieversorgungsanlagen mittels OVE Richtlinie R27**

Die OVE-Richtlinie R27 [64] bietet im Sinne der VEMF vereinfachte Verfahren zum Nachweis der Einhaltung der Auslöswerte bei elektrischen Energieversorgungsanlagen mit Netzfrequenz (50 Hz). Dazu kann auch die elektrische Anlage der Energieversorgung in Gebäuden sowie im gewerblichen und industriellen Bereich gezählt werden - denn in der Niederspannungs-Versorgung können durchaus hohe Ströme und Magnetfelder auftreten. Auch Wechselstrombahnen („Bahnstrom“ bei 16,7 Hz) werden in der R27 [64] behandelt. Wichtig ist, dass hier der stationäre Betrieb gemäß Bemessung beurteilt wird, was im Rahmen der Energieversorgung durchaus mit der VEMF [37] vereinbar ist. Bei Fehlerströmen, die durch installierte Schutzeinrichtung innerhalb der nach dem Stand der Technik höchstzulässigen Abschaltdauer abgeschaltet werden, müssen nach § 3 Abs. 9 und 10 VEMF [37] nicht zwangsläufig Unterschreitungen dargelegt werden, solange eine Expertenevaluierung vorliegt, andere Maßnahmen ausgeschöpft sind und damit Schutz vor Gesundheitsgefährdung gegeben ist.

Bei Betriebsmitteln wie Transformatoren, Generatoren und direkt versorgte Motoren dominiert die Energieversorgung, also die Anschlussleitungen, das zu bewertende Magnetfeld, sodass die R27 [64] hier zur Bewertung eingesetzt werden kann.

Nicht anwendbar ist die Richtlinie auf die mit elektrischer Energie versorgten Betriebsmittel selbst, insbesondere, wenn diese eine wie bei Schweißen, induktive Erwärmung, Magnetisierungsprozesse etc. bekannt hohe EMF-Emission aufweisen, sowie auf jene Kabelstränge, die nicht zur Energieversorgung bis zum Betriebsmittel zu zählen sind. Auch Frequenzumrichter, Inverter o. ä. und deren sekundärseitige Ausgänge können nicht mehr zur Energieversorgung mit Netzfrequenz gezählt und mit der R27 [64] bewertet werden. Bei Verteilern, die solche Betriebsmittel versorgen, wären primärseitig hohe Oberschwingungen anzunehmen und zu bewerten – dazu sind die Tabellen zu „Industriernetze mit hohem Oberschwingungsanteil“ in der Richtlinie R27 [64] anzuwenden.

## 5.6 Regelungen in anderen Ländern

Auf den Internetseiten der [WHO](#) befindet sich eine Datenbank, in der für viele Länder der Erde die jeweiligen rechtlichen Regelungen aufgeführt sind und ggf. auch Ansprechpartner für die Länder benannt sind.

## 5.7 Vorsorge

In den vorangehenden Abschnitten wurde deutlich, dass in den DACH-Ländern die national gültigen Vorschriften über elektromagnetische Felder voneinander abweichende absolute Referenzwerte, Auslöseschwellen oder Grenzwerte anwenden. Doch ist diese Beobachtung gleichbedeutend mit unterschiedlichen Schutzniveaus? Nein. Denn diese nationalen Vorschriften beruhen auf demselben Schutzkonzept (siehe Abbildung 5.1 in Unterabschnitt 5.1.1) und gewährleisten somit ein identisches Schutzniveau über alle Länder.

Damit einhergehend ist es wichtig zu beachten, dass sich die wissenschaftliche Erkenntnislage weiterentwickeln kann, z. B. aufgrund verbesserter Nachweisverfahren. Dieser Tatsache Rechnung tragend, sind Erkenntnisse im wissenschaftlichen Diskurs immer mit einer Unsicherheit behaftet. Mit anderen Worten: eine Erkenntnis ist nie als zeitlich unbegrenzt sicher zu bewerten. Diese der Wissenschaft immanente Tatsache führt beim Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Gesetzgebung dazu, dass eine der wissenschaftlichen Unsicherheit nicht immer entsprechende Emotionalität den politischen Diskurs beeinflusst. Am Ende des politischen Diskurses steht ein auch auf dem Vorsorgeprinzip beruhender Gesetzgebungskompromiss, der im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und den anderen durch die Politik zu vertretenden Belangen geschlossen wird.

Im Rahmen des Vorsorgeprinzips bleibt es dem Gesetzgeber vorbehalten, unterschiedlich weitreichende Vorsorgemaßnahmen zu empfehlen oder festzulegen. Diese Vorsorgemaßnahmen sind somit weitgehend politisch zu begründen.

In Deutschland hat sich die Politik entschieden, keine Vorsorgewerte unterhalb der bestehenden Grenzwerte festzulegen, sondern beschlossen auf anderem Wege zu erreichen, dass die Exposition der Bevölkerung in der Regel deutlich unterhalb der Grenzwerte bleibt [65]. In der Schweiz wurden aus Vorsorgegründen zusätzlich zu den Immissionsgrenzwerten, die identisch mit den EU-Werten sind, deutlich niedrigere Anlagengrenzwerte vorgeschrieben. Damit soll sichergestellt werden, dass jede Anlage nur einen Bruchteil zur zulässigen Immission beitragen kann. Andere Länder wie z. B. die Niederlande und England, haben sich gegen eine staatlich vorgeschriebene Vorsorge ausgesprochen.

Im Hinblick auf die Sicherheit von Produkten ist grundsätzlich der Hersteller bzw. Inverkehrbringer von Produkten, die EMF emittieren, auch für die dabei einzuhaltende Sicherheit verantwortlich und muss diese gewährleisten (siehe Abbildung 5.1 in 5.1.1).

Als Fazit kann gezogen werden, dass unter Würdigung des vorliegenden wissenschaftlichen Kenntnisstandes und unter Berücksichtigung einer im Wesenszug der Erkenntnisse liegenden Unsicherheit keine ausreichende Grundlage für die Notwendigkeit einer Empfehlung für eine Absenkung der Expositionsgrenzwerte unter die derzeitigen Werte gesehen wird. Als eine hinreichende Maßnahme für einen vorsichtigen Umgang wird eine beim einzelnen Individuum ansetzende Minimierung der Exposition des individuell gestaltbaren Umfelds auf ein individuell gewünschtes Mindestmaß empfohlen (siehe z. B. [diese Vorsorge-Empfehlungen](#) des deutschen BfS). Ganz unabhängig davon wird auch weiterhin Forschung zu Einwirkungen von EMF auf biologische Systeme, d. h. sowohl auf zellulärer Ebene als auch auf

derjenigen des gesamten Individuums, vor dem Hintergrund der Ergründung kausaler Zusammenhänge als das wichtigste Instrument der Vorsorge angesehen. Insbesondere muss das Augenmerk möglichen Langzeitauswirkungen gelten. Viele Anwendungen von EMF gibt es erst seit einer vergleichsweise kurzen Zeitdauer, die somit Erfahrungen einer chronischen Einwirkung ausschließen. Darüber hinaus gilt es die weitere technologische Entwicklung möglichst hinsichtlich aller relevanten Parameter kritisch zu betrachten und dabei auch auf mögliche Interaktionen mit anderen Umwelteinflüssen zu achten.

## 5.8 Normen

### 5.8.1 Personenschutz mittels Produktnormen (Emissionsbeschränkung)

Die Ratsempfehlung 1999/519/EC [35] beinhaltet einheitliche Grenz- und Referenzwerte zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Unter Bezugnahme auf diese Ratsempfehlung erteilte die Europäische Kommission (Generaldirektion Unternehmen) den Normungsorganisationen CEN, CENELEC und ETSI ein Mandat (Normungsauftrag an CEN, CENELEC und ETSI im Bereich der Elektrotechnik und Telekommunikation [66]) zur Erarbeitung von harmonisierten Normen zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz), die von Geräten erzeugt werden, die entweder unter die Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU [67] oder unter die Funkgeräte Richtlinie 2014/53/EU [68] fallen. Die harmonisierten Normen beinhalten Anforderungen für die messtechnische oder numerische Ermittlung der Emission von Produkten (Produktnormen). Damit war es für den europäischen Binnenmarkt möglich, die EMF-Emission EU-weit so zu beschränken, dass die Grenzwerte der Ratsempfehlung nicht überschritten werden.

In der Auftragsbeschreibung heißt es: “Harmonisierte Normen sollen die erforderlichen Prüfverfahren, Prüfeinrichtungen und Berechnungsmethoden beschreiben, die für die Festlegung von Produkthanforderungen erforderlich sind, um die EMF-Emissionen zu begrenzen. Sie sollen den in der Ratsempfehlung 1999/519/EG [35] angegebenen Referenz- und Basisgrenzwerten Rechnung tragen, um unter gebührender Berücksichtigung der Internationalen Normen und derzeitigen Praxis auf diesem Gebiet, die Annahme der Konformität mit Artikel 2 der Richtlinie 73/23/EWG (Vorgänger zu 2014/35/EU [67]) und Artikel 3.1.(a) der Richtlinie 1999/5/EG (Vorgänger zu 2014/53/EU [68]) zu ermöglichen.

Damit ist klar gesagt, dass diese Normen keine Grenzwerte oder Referenzwerte enthalten dürfen. Sie sollen als Produkt- und Basisnormen Meß- und Berechnungsverfahren beschreiben, mit denen die Emissionen der betreffenden Produkte (Geräte) ermittelt und gegebenenfalls die Einhaltung der Grenzwerte der Ratsempfehlung [35] nachzuweisen sind (“Compliance criteria”). Dabei gilt diese Aussage immer nur für ein Baumuster alleine.

Für Exposition durch mehrere gleiche oder verschiedene Geräte sind die Immissionswerte der Ratsempfehlung 1999/519/EC [35] für die allgemeine Bevölkerung heranzuziehen. Die CEN/CENELEC - Resolution “Normungspolitik im Bereich von Artikel 118a AEUV“ [69] unterstreicht, dass die Festlegung von Expositionsgrenzwerten am Arbeitsplatz ausschließlich dem politischen Entscheidungsprozeß vorbehalten bleiben muss. Dem wurde mit der Verabschiedung der Richtlinie zum Schutz der Arbeitnehmer (siehe 5.2.2) Rechnung getragen.

Seit dem wird bei CENELEC im Komitee TC 106X "Human Exposure to Electromagnetic Fields" mit großer Intensität an Normen für Produkte und Produktgruppen sowie jeweils an produktunabhängigen "Basic-" und "Generic Standards" gearbeitet, die die entsprechenden nationalen Mess- und Bewertungsnormen ersetzen sollen.

Für eine Reihe von Geräte-/Produktgruppen wurden und werden europäische Basis- und/oder Produktnormen erarbeitet und von CENELEC bestätigt. Diese sind zum größeren Teil auch schon in das deutsche Normenwerk übernommen.

Bei diesen Normen ist zu beachten, dass sie immer nur für ein einzelnes Produkt gelten und die Erfüllung der Emissionsanforderungen durch ein Gerät oder eine Anlage nicht das Vorhandensein anderer Emittenten berücksichtigt und somit zwar für Expositionsbewertungen herangezogen werden können aber nicht automatisch Immissionsermittlungen überflüssig machen.

### **5.8.2 Messungen nach Produktnormen**

Für eine Vielzahl von Produkten und Einrichtungen, z. B. aus den Bereichen Rundfunk, Mobilfunk, Telekommunikation und Schweißtechnik stehen spezifische Produktnormen zur Verfügung. Diese tragen den technischen Besonderheiten der jeweiligen Produktgruppe Rechnung und ermöglichen die sachgerechte Beurteilung der Immission. Sofern für die fragliche Einrichtung keine Produktnorm erstellt wurde, kommt die betreffende Grundnorm zur Anwendung.

## **6 Expositionsbewertung, Sachkunde, Fachkunde und sachverständige Stellen**

### **6.1 Grundlegender Ansatz zur Expositionsbewertung**

Eine Expositionsbewertung beim Vorliegen einer Immission von elektromagnetischen Feldern folgt dem natürlichen Interesse der Betroffenen. Nicht zuletzt wird dies auch in zahlreichen Regelwerken gefordert (vgl. Kapitel 5).

Beim Vorliegen einer Immission von elektromagnetischen Feldern soll das Ausmaß der Exposition hinreichend genau bestimmt werden. Falls gesetzlich nicht anders gefordert kann dies - von jedermann - zu aller erst mittels Herstellerangaben (wie bei SAR-Angaben), allgemeinen verfügbaren Informationen in Listen, Dokumenten wie der Leitfaden der EU-Kommission [59], Tabellenwerke und Datenbanken hinzugezogen werden.

Kann das Ausmaß der Exposition mit einer solchen Vorgehensweise nicht hinreichend genau bestimmt werden oder bleiben Zweifel, ob die Immission ausreichend gering ist, dann muss eine spezifische Bewertung der Exposition mittels Messungen oder Berechnungen durchgeführt werden. Dies kann eine komplexe, zeitaufwändige und folglich auch kostenintensive Aufgabe sein, die von entsprechend fachkundigen Personen bzw. sachverständigen Stellen durchgeführt werden. Im Folgenden wird auf die Anforderungen, die Experten im Rahmen ihrer Fachkunde beim Bewerten mittels Messungen oder Berechnungen zu beachten haben, näher eingegangen. Somit können Auftraggeber eine Bewertung deren Seriosität der beauftragten Experten vornehmen.

### **6.2 Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren**

Die Grundnorm DIN EN 50413:2009-08 (VDE 0848-1:2009-08) [70] stellt allgemeine Verfahren für die Messung und Berechnung der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz bereit und wird in Gesetzen und Regelungen vielfach zitiert. Die Norm befasst sich mit Größen, die im freien Raum gemessen oder berechnet werden können und schließt die Messung und Berechnung von in Körperphantomen auftretenden Größen ein.

Hauptintention ist, die Emission von Produkten festzustellen und aufgrund dessen die Sicherheit der Allgemeinbevölkerung durch Vergleich mit den in 1999/519/EG [35] angegebenen Expositionswerten zu beurteilen. Ferner wird sie bei der Beurteilung der Exposition von Personen an Arbeitsplätzen in Bezug auf die Anforderungen der inzwischen aufgehobenen Europäischen Richtlinie 2004/40/EG herangezogen; die anstelle dessen gültige Richtlinie 2013/35/EU wird im Entwurf DIN EN 50413:2018-07 (VDE 0848-1:2018-07)<sup>3</sup> [71] adressiert.

Aufgrund des umfangreichen Frequenzbereichs, sowie der mit den Feldtypen verbundenen Besonderheiten geht die Grundnorm nicht in alle Details. Sie wird für die Beurteilung von Produkt-Emissionen bzw. von Immissionen an Arbeitsplätzen herangezogen, für die keine spezifische EMF- Grundnorm existiert.

Gegenüber der derzeit gültigen Ausgabe (2009-08) verweist der o. a. Normenentwurf insbesondere auf die weiterführenden Normen EN 62311:2008 [72], EN 61786-1:2014 [73] und EN 62232:2018 [74]. Dadurch erhält der Anwender detaillierte Angaben zu

---

<sup>3</sup> befindet sich im Abstimmungsverfahren (Stand 2019-02)

Messeinrichtungen, Verfahren, Einflussgrößen und der Unsicherheit des Messergebnisses für den jeweils betroffenen Aufgabenbereich.

### **6.3 Nachweise zur Sicherheit der Allgemeinbevölkerung**

Die nachfolgenden genannten Vorschriften und Verordnungen verweisen auf Normen, deren Anwendung bei der Messung und Berechnung vorgeschrieben bzw. empfohlen werden.

#### **6.3.1 Nachweis nach 26. BImSchV**

Die Einhaltung der in der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV [1] veröffentlichten Grenzwerte kann durch Berechnungsverfahren oder durch Messung nachgewiesen werden. Der Nachweis erfolgt immer unter Bezugnahme auf Nennspannung, Nennstrom, Nennleistung einer Anlage bzw. auf die höchstmögliche betriebliche Anlagenauslastung für maßgebliche Immissionsorte (Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts). Die verwendeten Messgeräte und die angewendeten Verfahren müssen dem Stand der Mess- und Berechnungstechnik entsprechen. Soweit anwendbar, sind die in DIN EN 50413:2009-08 [70] enthaltenen Verfahren einzusetzen.

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)<sup>4</sup> veröffentlicht Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) [44] und empfiehlt, sie in den Ländern anzuwenden. Die LAI-Schrift unterstützt insbesondere die Vollzugsbehörden durch eine ausführliche Erläuterung der 26. BImSchV [1] und stellt einen Praxisbezug her. Demzufolge können neben Messungen und Berechnungen auch Herstellerangaben und Vergleiche zu bereits bekannten Anlagen (z. B. bei Standardanlagen) zum Nachweis herangezogen werden.

Sofern der Nachweis messtechnisch anstelle einer Feldberechnung geführt wird, ist im ungestörten Feld zu messen und dabei ein Abstand von mindestens 1 Meter zu feldverzerrenden (z. B. ferromagnetischen oder elektrisch leitfähigen) Objekten (z. B. aus ferromagnetischen oder elektrisch leitfähigen Materialien, Bewuchs) einzuhalten. Darüber hinaus sind mögliche Einflüsse durch die umgebende Elektro-Installation oder anderweitige externe Einflüsse wie Wetterbedingungen zu berücksichtigen.

#### **6.3.2 Nachweis nach 26. BImSchVVwV**

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV, [43]) beschreibt Minimierungsoptionen für Emission und Immission und gilt für Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen, betrifft somit keine Hochfrequenzanlagen. Hochfrequenzanlagen werden von der 26. BImSchVVwV [43] nicht geregelt und unterliegen nicht der Minimierung. Der Nachweis bzgl. der Minimierung von Emission und Immission für die von der Verwaltungsvorschrift geregelten Anlagen erfolgt immer anhand der konkret festgelegten Minimierungsoptionen sowie unter Zugrundelegung gegebener Abwägungstatbestände. In Analogie zur 26. BImSchV [1] sind dem Nachweis immer Nennspannung, Nennstrom, Nennleistung einer Anlage bzw. die höchstmögliche betriebliche Anlagenauslastung zugrunde zu legen. Der Nachweis erfolgt an

---

<sup>4</sup> Mitglieder der LAI sind die Abteilungsleiter(innen) der für den Immissionsschutz zuständigen obersten Behörden der Länder und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

maßgeblichen Minimierungsorten (Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts) im Einwirkungsbereich der betroffenen Anlage. Durch Zusammenfassung solcher Minimierungsorte kann der Nachweis der Minimierung ersatzweise auch an einem gemeinsamen Bezugspunkt durchgeführt werden. Für in der 26. BImSchVVwV [43] maßgebliche Minimierungsorte gelten andere Auswahl- und Bewertungskriterien als für maßgebliche Immissionsorte der 26. BImSchV [1].

Analog zum messtechnischen Nachweis nach 26. BImSchV [1] gilt auch für den Nachweis der Minimierung, dass im ungestörten Feld zu messen und dabei ein Abstand von mindestens 1 Meter zu feldverzerrenden (z. B. ferromagnetischen oder elektrisch leitfähigen) Objekten (z. B. aus ferromagnetischen oder elektrisch leitfähigen Materialien, Bewuchs) einzuhalten ist. Ebenfalls sind mögliche Einflüsse durch die umgebende Elektro-Installation oder anderweitige externe Einflüsse wie Wetterbedingungen zu berücksichtigen.

### **6.3.3 Nachweis nach BEMFV**

Die Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder – BEMFV [47] betrifft den Betrieb von ortsfesten Funkanlagen (Hochfrequenzanlagen). Diese Verordnung wurde zuletzt am 27. Juni 2017 geändert.

Darin ist geregelt, dass die in der 26. BImSchV [1] festgesetzten Grenzwerte einzuhalten sind. Für den Frequenzbereich 9 kHz bis 50 MHz sind in der BEMFV zusätzlich die zulässigen Werte für aktive Körperhilfen nach DIN EN 50527-1:2011-01 [75] und DIN EN 50527-2-1:2012-05<sup>5</sup> [76] zugrunde zu legen. Für die zulässigen Werte verweisen die genannten Normen ihrerseits auf die Referenzwerte der Europäischen Ratsempfehlung 1999/519/EG [35].

Die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) bestimmt vorzugsweise aufgrund rechnerischer oder auch messtechnischer Nachweise nach DIN EN 50413:2009-08 [70] den zur Einhaltung der Grenzwerte erforderlichen standortbezogenen Sicherheitsabstand und erteilt gegebenenfalls eine „Standortbescheinigung“.

Für ortsfeste Amateurfunkanlagen mit einer isotropen Strahlungsleistung von 10 Watt oder mehr besteht eine Anzeigepflicht des Betreibers gegenüber der Bundesnetzagentur. Der Nachweis auf Grundlage der o. a. Normen obliegt dem Betreiber selbst; alle Unterlagen sind zur Verfügung zu halten.

Darüber hinaus ist die Bundesnetzagentur verpflichtet, die Funktionalität des Standortverfahrens durch regelmäßige EMF- Messreihen zu dokumentieren. Dazu werden bundesweite Messreihen im Frequenzbereich 9 kHz bis 3 GHz unter Beachtung einer einheitlichen Messvorschrift durchgeführt. Die dabei gewonnenen Messergebnisse, Informationen zu installierten Funkanlagen, die Messvorschriften und weitere Dokumente werden von der BNetzA veröffentlicht ([www.bundesnetzagentur.de](http://www.bundesnetzagentur.de) (Suchbegriff „EMF- Monitoring“)).

## **6.4 Messungen zur Sicherheit am Arbeitsplatz**

### **6.4.1 Messungen nach EMFV**

Die EMFV [2] sieht Berechnungen oder Messungen für den Fall vor, dass sich anhand der verfügbaren Informationen (z. B. Herstellerangaben, bereits durchgeführte

---

<sup>5</sup> Für beide Normen sind neuere Version erschienen (DIN EN 50527-1 (VDE 0848-527-1):2017-12 und DIN EN 50527-2-1 (VDE 0848-527-2-1):2017-12).

Expositionsbestimmungen) die Einhaltung der Auslöseschwellen nicht sicher feststellen lässt.

Derartige Berechnungen und Messungen müssen nach dem Stand der Technik fachkundig geplant und durchgeführt werden. Die angewendeten Verfahren und Geräte müssen somit der Arbeitsplatz- und Expositionsbedingung angepasst sein, d. h. sie müssen für die zu bestimmende physikalische Größe geeignet und den nachzuweisenden Auslöseschwellen angemessen sein. Je nach Gegebenheit kommen Messgeräte für elektrische und/oder magnetische Feldstärke, sowie für Kontaktströme in Betracht.

Die den Mess- und Berechnungswerten zuzuordnende Unsicherheit ist bei der Beurteilung zu berücksichtigen und muss demzufolge zusätzlich bestimmt werden.

Bei gleichen Arbeitsplatzbedingungen können die Messungen, Berechnungen oder Bewertungen auf Basis einer repräsentativen Stichprobe erfolgen.

#### **6.4.2 Messungen nach DGUV-Vorschrift 15 und DGUV-Regel 103-013**

Die Bestimmungen der DGUV-Vorschrift 15 [14] bzw. DGUV-Regel 103-013 [49] sehen vor, dass die Exposition durch Berechnung, Messung, Herstellerangaben oder Vergleich mit anderen Anlagen ermittelt werden kann. Ein Vergleich ist nur dann statthaft, wenn dies auf Grund von Anlagentyp und Randbedingungen begründbar ist. Derartige Tätigkeiten müssen durch einen Sachkundigen durchgeführt werden, der aufgrund fachlicher Ausbildung und Erfahrung über ausreichende Kenntnisse auf dem Gebiet der elektromagnetischen Felder verfügt.

Die DGUV-Regel [49] erläutert die DGUV-Vorschrift [14] ausführlich und berücksichtigt dabei für die praktische Umsetzung relevante Gegebenheiten. Während die Bewertung eines sinusförmigen, periodischen Feldstärke-Verlaufs keine Besonderheit aufweist, geht das Dokument auch auf die Bewertung weiterer Signalformen/Feldverläufe ein.

Demzufolge wird die Exposition in gepulsten Feldern für den Frequenzbereich 0 Hz bis 91 kHz anhand der Kurvenform der gemessenen Feldstärke analysiert, also nicht durch den unmittelbaren Vergleich mit Feldstärke- Werten bewertet.

Die Ergebnisse einer Magnetfeld-Messung im Frequenzbereich 0 Hz bis 91 kHz werden über Flächenelemente (zumeist 100 cm<sup>2</sup>) gemittelt; unter anderem wird hierdurch der Feld-Inhomogenität Rechnung getragen, die in räumlicher Nähe zu Feldquellen oder dem Vorhandensein mehrerer Quellen leicht auftreten können.

Die Exposition in elektromagnetischen Feldern mit mehreren Frequenzen, einschließlich gepulster Felder (91 kHz bis 300 GHz) basiert auf der Summation der mit dem betreffenden Grenzwert gewichteten Ergebnisse.

#### **6.4.3 Messungen nach Richtlinie 2013/35/EU**

Die Richtlinie 2013/35/EU, die als Adressat den Nationalstaat und damit nicht den Arbeitgeber hat, sieht Messungen oder Berechnungen für den Fall vor, dass die Einhaltung der Auslöseschwellen aufgrund von leicht zugänglichen Informationen nicht zuverlässig bestimmt werden kann. Bewertungen, Messungen und Berechnungen werden von fachkundigen Personen oder Diensten unter Verwendung einschlägiger bewährter Verfahren durchgeführt.

Um die Durchführung dieser Richtlinie zu erleichtern hat die EU- Kommission umfangreiche nicht verbindliche Leitfäden [77], [78] und [79] bereitgestellt, die sich insbesondere auf die Ermittlung der Exposition unter Berücksichtigung geeigneter

europäischer oder internationaler Normen beziehen. In Band 1 „Praktischer Leitfaden“ [77] werden Berechnungs- und Bewertungsverfahren ausführlich dargestellt. In Band 2 „Fallstudien“ ist die Expositions- Bewertung für verschiedene Arbeitsplätze (Büro, Medizinsektor, Produktionsanlagen etc.) exemplarisch dargestellt.

Messungen bei Exposition durch niederfrequente (100 kHz), nicht-sinusförmige, gepulste Felder sind mit speziellen Verfahren durchzuführen, z. B. die Methode der gewichteten Spitzenwerte (Weighted Peak Method, WPM) oder der Zeitbereichsbewertungsmethode (ZBM), da mit konventionellen Methoden eine Überbewertung wahrscheinlich ist.

#### **6.4.4 Messungen zur Beurteilung der Störbeeinflussung aktiver Implantate**

Bei der Risikobewertung der Exposition am Arbeitsplatz besteht gemäß Richtlinie 2013/35/EU [36] eine Verpflichtung, das Gesundheits- und Sicherheitsrisiko für Arbeitnehmer mit implantierten oder am Körper getragenen medizinische Geräten gesondert zu beurteilen.

Die Normen DIN EN 50499 [80] und die DIN EN 50527-1 [75] beschreiben, wie eine derartige Bewertung des Risikos durchgeführt werden kann. Dabei adressieren sie insbesondere solche Geräte, für die nach derzeitigen Erkenntnissen eine weitergehende Analyse angebracht ist.

Sofern der Bewertungs-Ansatz Messungen vorsieht, müssen diese nach einer geeigneten Norm wie z. B. EN 50413 [71] durchgeführt werden. Dabei muss die höchste Feldstärke der am Arbeitsplatz vorhandenen kontinuierlichen und/oder transienten Felder bekannt sein oder bestimmt werden. Die Ergebnisse von Effektivwertmessungen reichen bei Quellen von nichtsinus-förmigen Feldern nicht aus. Bei Messungen mittels des Verfahrens „gewichteter Spitzenwerte“ sind zusätzliche Betrachtungen zu den Spitzenwerten erforderlich.

DIN EN 50527-2-1 [76] beschreibt Verfahren zur Beurteilung für Arbeitnehmer mit Herzschrittmachern. Sie enthält eine umfangreiche Auflistung verschiedener Arbeitsplätze, Geräte und Einrichtungen und deren Beurteilung im Hinblick auf das Gesundheits- und Sicherheitsrisiko.

Darüber hinaus ist im informativen Anhang E eine Weiterentwicklung der Festlegungen des inzwischen zurückgezogenen Entwurfs E DIN VDE 0848-3-1 (VDE 0848-3-1):2002-05 [48] wiedergegeben, die im deutschen Bereich bisher zur Beurteilung der Störbeeinflussbarkeit von Herzschrittmachern in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern an Arbeitsplätzen und im Bereich der Öffentlichkeit verwendet wurde.

Der Entwurf DIN EN 50527-2-2 [81] beschreibt umfangreich die besondere Beurteilung für Arbeitnehmer mit Kardioverter-Defibrillatoren (IKDs). Die Beurteilung des Gesundheits- und Sicherheitsrisikos beruht in geringem Umfang auf Messung am Arbeitsplatz, deshalb wird darauf in diesem Leitfaden nicht eingegangen.

Weitergehende Informationen finden sich in der deutschen DGUV-Information 203-043 [15] (bisherige Nummer BGI/GUV I 5111) und FB 451. Die DGUV- Information 203-043 enthält Informationen zur möglichen Beeinflussung von Implantaten und erläutert die Vorgehensweise zur Beurteilung der Beeinflussbarkeit von implantierten Herzschrittmachergeräten. Der FB 451 beinhaltet umfangreiche Tabellen mit Schwellenwerten zur Beeinflussung von Implantaten.

## 6.4.5 Ermittlung der Kontakt- und induzierten Körperströme

Der Kontakt einer Person mit einem leitfähigen Gegenstand, der elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist, kann einen Kontaktstrom zur Folge haben. Die zugehörigen Grenzwerte sind in der Ratsempfehlung 1999/519/EG [35] und EMF-Richtlinie 2013/35/EU [36] bis zur Frequenz 110 MHz veröffentlicht. Ein Bewertungsverfahren auf Basis von Messungen ist in EN 62311:2008, Anhang D<sup>6</sup> [72] angegeben. Informativ wird dieses ergänzt durch die in DIN EN 50647:2018-07 [82], Anhang F enthaltenen Beispiele.

Ströme durch die Gliedmaßen (Körperstrom) können als Ergebnis z. B. eines durch ein äußeres Feld induzierten Berührungstroms in einem Arm oder Bein fließen. Für eine auf Berechnung basierende Bewertung verweist der Entwurf DIN EN 62311:2018-11 [72] auf die Normenreihe IEC 62226 [83]. Informationen zur Bewertung sind auch in Anhang A desselben Normenentwurfs enthalten.

Gemäß der gültigen DIN EN 50413:2009-08 [70] müssen die in Gliedmaßen induzierten Körperströme mit aufklemmbaren Stromwandlern, in Verbindung mit einem geeigneten, ggf. frequenzselektiven Messinstrument gemessen werden. Demgegenüber verweist der Normenentwurf DIN EN 50413:2018-07 [71] hierzu auf EN 62311:2008<sup>7</sup> [72], in der darüber hinaus alternative Messanordnungen skizziert werden.

## 6.5 Berechnung elektrischer und magnetischer Felder

### 6.5.1 Physikalische Grundlagen

#### 6.5.1.1 Maxwell'sche Gleichungen

Elektromagnetische Felder lassen sich durch vier gekoppelte Gleichungen beschreiben, die die magnetische Induktion und die elektrische Feldstärke mit deren Quellen, den Ladungs- und Stromdichten koppeln. Diese Gleichungen werden nach ihrem Entdecker James Clerk Maxwell als die Maxwell'schen Gleichungen bezeichnet. Die möglichen Lösungen und damit die unterschiedlichen Erscheinungsformen der EMF können sehr komplex sein.

Die Maxwell'schen Gleichungen berücksichtigen auch die Wechselwirkung elektrischer und magnetischer Felder mit Materie, wie z. B. biologischem Gewebe. In dem Fall müssen die elektrischen Eigenschaften der Materie bekannt sein. Diese Eigenschaften werden durch physikalische Parameter beschrieben wie z. B. die spezifische Leitfähigkeit, die Dielektrizitätskonstante oder die magnetische Permeabilität.

#### 6.5.1.2 Näherungen für den Niederfrequenz-Bereich

Ändern sich Ladungsverteilungen langsam, so können in den Maxwell'schen Gleichungen gewisse Teile vernachlässigt und die Beschreibung damit vereinfacht werden. Für das magnetische Feld bedeutet dies, dass es nur mehr von der elektrischen Stromdichte abhängt. Dies ist die sogenannte magneto-quasistatische Näherung („Magnetostatik“). Bei periodischen Vorgängen ist diese noch solange gültig, wie die mit der Frequenz verknüpfte Wellenlänge in Materie deutlich größer als

---

<sup>6</sup> Die datierte Verweisung wurde im Entwurf DIN EN 62311:2018-11 beibehalten (Stand 2019-02)

<sup>7</sup> Der Entwurf DIN EN 62311:2018-11 enthält keine Beschreibung derartiger Messanordnungen

der betrachtete räumliche Bereich ist. Für die Praxis ist dies unterhalb von ca. 30-100 kHz der Fall.

Die Beschreibung des Magnetfelds reduziert sich damit auf eine Gleichung, das Ampère'sche Gesetz (bzw. Durchflutungsgesetz), bei der das Feld von der Stromdichte abhängt. Zusätzlich ist noch das Induktionsgesetz zu berücksichtigen, welches durch zeitvariable Magnetfelder induzierte Spannungen beschreibt. Umgekehrt gilt auch die elektro-quasistatische Näherung („Elektrostatik“), wenn die zeitliche Änderung von Magnetfeldern vernachlässigt werden kann. Daher ist es im Niederfrequenzbereich möglich, das elektrische Feld und das magnetische Feld getrennt zu betrachten.

### **6.5.1.3 Hochfrequenz-Bereich**

Bei hohen Frequenzen sind elektrische und magnetische Felder untrennbar miteinander gekoppelt, weshalb man allgemein von elektromagnetischen Feldern spricht, die beide berechnet werden müssen. In Materie können sich an Grenzflächen Effekte wie Reflexionen und Resonanzen mit dem Körper ergeben sodass zwischen ca. 10 und 400 MHz jedenfalls umfangreiche Berechnungen im dreidimensionalen Raum erforderlich sind.

Dies ist auch für die Berechnung realistischer Quellenmodelle („Antennen“) der Fall. Je nach Bauart können hier magnetische oder elektrische Felder nahe der Quelle dominieren. Deren Richtung, Phasenlage und Stärke-Verhältnis hängen in komplexer Weise voneinander ab. Man spricht vom Bereich des reaktiven Nahfeldes, indem auch die Anwesenheit anderer Materie wie z. B. menschlichen Gewebes das elektromagnetische Feld stark ändern würde. Im daran anschließenden Bereich des sogenannten radiativen Nahfeldes ist das elektromagnetische Feld bereits größtenteils von der Quelle, also der Antenne, durch Abstrahlung entkoppelt. Allerdings hängen Richtung und Stärke-Verhältnis von elektrischen und magnetischen Felder weiterhin von der spezifischen Quelle ab.

Erst im sogenannten Fernfeld können die abgestrahlten elektrischen und magnetischen Felder einfacher beschrieben werden. Sie stehen miteinander in einem festen Verhältnis, sodass es bei der Berechnung (und natürlich auch bei einer Messung!), ausreicht zum Beispiel nur das elektrische Feld anzugeben. Der Beginn des Fernfeldes hängt wiederum von der Wellenlänge  $\lambda$  und der Frequenz ab. Zumindest bei kleinen Antennen ist  $2 \cdot \lambda$  eine gute Näherung für den Beginn des Fernfeldes. Für 1 GHz entspricht dies einem Abstand von mindestens 60 cm. Bei größeren Antennen wie einer Mobilfunk-Sektorantenne dominiert allerdings die Abmessung der Antenne, sodass der Fernfeld-Abstand auch bis zu ca. 5 m betragen kann. Fernfeld-Bedingungen sind in der betrieblichen Praxis eher selten. Bei Berechnungen zu exponiertem, menschlichen Gewebe ist daher in der Regel sowohl die Quelle als auch das Gewebe detailliert zu simulieren.

Die Frequenz hat folglich eine hohe Bedeutung für die Art der physikalischen Effekte und für die erforderlichen Rechenmethoden. Der wichtigste Effekt ist die immer geringer werdende Eindringtiefe in biologisches Gewebe, die bei einigen GHz nur wenige Millimeter beträgt (siehe Abbildung 2.9). Dadurch können sich Berechnungen letztlich auf die obersten Gewebe-Schichten beschränken. Auch die physikalischen Größen, die zur Bewertung der Auswirkungen herangezogen werden, werden oberhalb von 6 GHz daher anders definiert. Anstatt der Spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Inneren des Gewebes wird dann die Leistungsflussdichte an der Gewebeoberfläche berechnet und bewertet.

#### **6.5.1.4 Quasi-Optischer Bereich**

Sind Nahfeld-Effekte und Resonanzen auszuschließen, so wie das bei sehr hohen Frequenzen der Fall ist, geht die physikalische Beschreibung in jene der optischen Strahlung über. Gegebenenfalls sind Beugung und Interferenz-Effekte mit zu berücksichtigen. Richtfunk-Strecken fallen zum Teil in diesen Bereich.

#### **6.5.2 Rechenverfahren**

Numerische Rechenverfahren sind auf die physikalische Näherung und daher meist auf den Frequenzbereich abzustimmen. Quasi-statische Näherungen, darunter sind auch zeitlich klar darstellbare (periodische) Schwingungen im Niederfrequenz-Bereich zu verstehen, können daher deutlich einfacher gelöst werden.

Allgemein können Rechenverfahren und ihre Implementierungen wie folgt unterteilt werden:

- i)* nach Art der eingesetzten physikalischen Näherung,
- ii)* Lösung im Zeitbereich oder im Frequenzraum (meist für harmonische Lösungen, quasi-statische Lösungen) und
- iii)* Lösung der physikalischen Gleichungen in Differential- oder Integral-Formulierung.

Folgende Rechenverfahren sind hervorzuheben:

- Finite Differenzen Methode (FDM):  
Basierend auf Diskretisierung der Differentialgleichungen, oftmals gemeinsam mit einer Näherung (z. B. Quasi-Magnetostatik)
- Momentenmethode (Method of Moments, MoM)  
Basierend auf analytischen Lösungen, die für Teile der zu berechnenden Strukturen – aber nicht für die Gesamtstruktur – vorhanden sind. Der Vorteil ist, dass der „freie Raum“ zwischen Teilstrukturen nicht mit berechnet werden muss.
- Finite-Elementenmethode (FEM):  
Basierend auf Diskretisierung der Volumenelemente im gesamten Raum.
- Finite-Differenzen-Methode im Zeitbereich (FDTD)  
Basierend auf Diskretisierung der zeitabhängigen Differentialgleichungen. Hier ist zwar eine Lösung ohne Näherung möglich, allerdings nur für hohe Frequenzen, bei der die Rechenzeit durch die kurze Schwingungsperiode ausreichend klein bleibt.

#### **6.5.3 Körpermodelle**

Nach der Wahl einer etwaigen Näherung, der Quellmodellierung und eines passenden Simulationsprogramms können biologisches Gewebe oder exponierte Körper in unterschiedlichen Detailstufen modelliert werden. Zur Reduktion des beträchtlichen Aufwands oder um zu einer vereinfachten Beschreibung zu kommen werden auch einfache Modelle noch häufig angewandt. Anatomische korrekte Modelle mit hohen Detailstufen sind auch heute noch nur mit hohem rechnerischem Aufwand bewältigbar.

##### **6.5.3.1 Homogene Modelle**

Die einfachste Art von Körpermodellen ist es, ein homogenes Gewebe, also Gewebe mit konstanten Gewebeparametern wie Leitfähigkeit, Dichte, Permeabilität etc. anzunehmen. Üblicherweise wird dabei auch eine einfache Geometrie wie ein

Ellipsoid, eine Kugel oder ein Zylinder verwendet. Dadurch kann bei einer äußeren, gleichförmigen Befeldung das im Gewebe induzierte elektrische Feld analytisch berechnet werden. Einfache Zusammenhänge können damit angegeben und leicht beurteilt werden. Beispielsweise ist es für besonders symmetrische Situationen möglich, zwei-dimensionale Modelle anzuwenden.

Modelle, die aus mehr als einer (homogenen) Gewebeschicht bestehen, werden kaum eingesetzt, da hier die Komplexität bereits hoch ist und eher anatomisch korrekte Modelle zum Einsatz kommen.

### **6.5.3.2 Anatomische korrekte Voxel-Modelle**

Berechnungen mit anatomisch korrekten Modellen wurden erst um 1990 möglich. Mit Hilfe von Körper-Scans im MRT wird dabei der Körper in viele (als Volumen meist würfel-förmige) Zellen unterteilt, denen jeweils Gewebeparameter zugeordnet werden. Mittels Computer-Simulation kann dann die Wechselwirkung des ganzen Körpers mit einem externen Feld berechnet und ausgewertet werden. Die Zellen der Modelle werden Voxel genannt.

Einige der ersten Berechnungen stammen von der Gruppe um Om Gandhi, die Anfang der 1990er-Jahre die Anzahl der Voxel, die berechnet werden konnten, stark steigern konnten. Um die Jahrtausendwende lag die Zahl der Voxel bereits im Bereich von Millionen. Mit Hilfe solcher Berechnungen konnten wichtige Effekte wie Ganz- bzw. Teilkörperresonanzen sowie der Einfluss der Verbindung und Leitfähigkeit zwischen Beinen und Fußboden erstmals rechnerisch nachvollzogen werden.

Weitere Meilensteine waren das männliche Modell NORMAN [84],[85] und das weibliche Modell NAOMI. Hier wurden über einen großen Frequenzbereich Voxel mit einer Auflösung von 2 mm eingesetzt.

### **6.5.3.3 Anatomisch korrekte CAD-Modelle**

Eine weitere Verbesserung sind anatomische 3D-CAD-Modelle. Hier sind Organe und Gewebeschichten als geometrische Einheit in einem CAD-Programm hinterlegt, sodass Transformationen – und damit andere als die ursprüngliche Körperposition – einfacher möglich sind. Erst zur Berechnung werden die Modelle in einzelne Voxel diskretisiert. Heute gibt es eine ganze Reihe verschiedener solcher Körpermodelle [86].

### **6.5.3.4 Spezifische Modelle für Köpfe und Labortiere**

Für spezielle Anwendungen wie die Berechnung der lokalen SAR bei Exposition durch Funktechnologie am Kopf werden andere, spezifischere Modelle als jene für den ganzen Körper eingesetzt. Diese reichen von verhältnismäßig einfachen, aber in den Parametern für den Einsatz zur Produktprüfung von Mobiltelefonen optimal abgestimmten Modellen wie den Kopf SAM (Specific Anthropomorphic Mannequin, [87]) bis hin zu anatomisch korrekten Modellen speziell für den Kopf wie MIDA - zur Berechnung der Exposition in Tierversuchen werden auch anatomisch korrekte Modelle von Labortieren wie Ratten angeboten (siehe [ITIS Foundation](#)).

## **6.5.4 Unsicherheiten und Grenzen der Einsetzbarkeit**

Die bei Anwendung numerischer Verfahren zur Feldberechnung erreichbaren Unsicherheiten können bei sorgfältiger Modellierung des Expositionsszenarios in der gleichen Größenordnung liegen wie messtechnisch erreichbare Unsicherheiten.

Unsicherheitsfaktoren, die auf das gewählte Körpermodell zurückgeführt werden können, rühren beispielsweise her von:

- Annahme der Expositionssituation, d. h. dem Feldquellen-Modell
- den Körperabmessungen, Körperformen und elektrische Randbedingungen wie Erdung
- der anatomischen Auflösung (unterschiedlichen Gewebearten, Schichtdicke der Gewebe)
- den dielektrischen Gewebeeigenschaften (Entwicklungsstadium und Zustand des Gewebes)

Während Unsicherheiten, die rein auf den numerischen Algorithmus zurückzuführen sind, aufgrund der Fortschritte in der Computertechnik mittlerweile mit einigen Prozent recht gering sind, können gerade die letzten beiden der obengenannten Punkte durchaus noch wesentlich sein. Insbesondere gibt es für dielektrische Gewebeeigenschaften im Hochfrequenzbereich nur wenige Quellen. Weitere Einschränkungen ergeben sich für Berechnungen in jenen Frequenzbereichen, die für keine der im vorigen Abschnitt genannten physikalischen Näherungen gut geeignet sind, wie z. B. im Bereich von einigen MHz.

### **6.5.5 Fazit zur Anwendung von Berechnungen**

Bei Berechnungsprogrammen hängt die Genauigkeit der Ergebnisse davon ab, wie gut Feldquellen, Randbedingungen und das exponierte Material in diesen Programmen beschrieben werden. Für jedes verwendete Programm und jeden Feldquellentyp sollte eine Vergleichsmessung oder eine andere Art der Validierung vorgenommen werden. Ferner sollte die Rechnung bei komplexen Randbedingungen durch stichprobenhafte Messungen überprüft werden. Rechnungen mit hoher Genauigkeit sind nur mit spezifischen Daten des Betreibers für einzelne Feldquellen durchführbar.

## **6.6 Anforderungen an den Mess- und Berechnungsbericht**

Die Ergebnisse von Messungen oder Berechnungen werden dokumentiert. Diese Dokumentation erfolgt in Form des Mess- oder Berechnungsberichts. Der Mess- oder Berechnungsbericht umfasst hierbei das Mess- oder Berechnungsprotokoll und die Bewertung der Ergebnisse auf Basis anerkannter nationaler Normen. Beispiele für anerkannte nationale Normen zur Bewertung dieser Messergebnisse sind für Deutschland die 26. BImSchV oder EMFV, für die Schweiz die NISV und für Österreich die OVE-Richtlinie R23 oder VEMF. Der Mess- oder Berechnungsbericht sollte grundsätzlich verständlich und transparent für den Auftraggeber sein. Genaue Anforderungen können bei einer Auftragsvergabe mit angegeben werden. Generell sollte klar nachvollziehbar sein, wie die Messwerte erfasst wurden und wie aus den Messwerten die dargestellten Ergebnisse ermittelt wurden. Ebenso müssen die getroffenen Annahmen und Verfahren bezüglich der Unsicherheitsabschätzung und eventuell vorhandener Hochrechnungen auf die höchste betriebliche Anlagenauslastung nachvollziehbar sein.

Folgende Punkte soll ein Messbericht in möglichst übersichtlich gegliederter Form enthalten:

1. Messauftrag mit Anlass und Hintergrund der Untersuchung,
2. eindeutige Identifizierung des Messberichts,
3. Auftraggeber, Auftragnehmer mit Anschriften bzw. Kontaktpersonen,

4. gesetzliche Grundlagen und Messvorschriften,
5. Angaben zu Messzeit, Messort (Fotos, evtl. Begründung für den Ort) und beteiligte Personen,
6. Wetterverhältnisse,
7. Beschreibung der eingesetzten Messgeräte (Art, Bezeichnung, Hersteller, Seriennummer, Datum der letzten Kalibrierung),
8. Angaben zur betrachteten Feldquelle im Fall von speziellem Anlagenbezug (Betreiber, Kanalzahl, ggf. Frequenzinformationen, Betriebszustand der Anlagen usw.),
9. Angaben zur Messunsicherheit,
10. Angaben zum Messvorgang (Messverfahren, welche Immissionen wurden gemessen, usw.),
11. Messdaten (in originärer Form),
12. Angewandte Formeln und Grenzwerte,
13. Darstellung der mit Formeln, Grenzwerten und Messdaten erhaltenen Ergebnisse.

Es sollte dem Auftraggeber auch möglich sein, sich weitere Informationen ohne Weiteres beschaffen zu können. Dies mag z. B. bei Formeln denkbar sein.

Die Berechnung der Ergebnisse muss für fachlich versierte Personen anhand der Angaben des Messberichts jederzeit nachvollziehbar sein. Dabei müssen aber nur solche Angaben erhoben werden, die für die fragliche Messaufgabe relevant sind. Für bestimmte Messaufgaben kann somit die Angabe von klimatischen Bedingungen erforderlich sein.

Die Einhaltung einer Auslöseschwelle oder eines Grenzwertes ist nur dann gegeben, wenn alle Messwerte zuzüglich der gesamten Messunsicherheit unterhalb des Grenzwertes liegen (additiver Ansatz).

Die Erfüllung der oben genannten Punkte ist ein Kriterium für die Qualität der erstellten Messberichte und damit auch für die Qualität der Arbeit einer Messinstitution. Andere Formen der Dokumentation können natürlich zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer selbstverständlich vereinbart werden.

## **6.7 Fachkunde, Sachkunde und sachverständige Stellen**

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Qualifikationen beschrieben, die Personen zur Messung, Berechnung oder Beurteilung der Exposition gegenüber EMF erlangen können. Auch bei den Anforderungen an Personen, die die Exposition gegenüber EMF ermitteln oder bewerten, werden die Rechtsbereiche Allgemeinbevölkerung und Beschäftigte unterschieden.

### **6.7.1 Beschäftigte in Deutschland**

Die Anforderungen an die Personen, die die Exposition gegenüber EMF im beruflichen Kontext ermitteln und/ oder bewerten, werden als Fachkunde bezeichnet. Im Gegensatz zum ionisierenden Strahlenschutz gibt es für den nichtionisierenden Strahlenschutz keine Fachkunderichtlinie. Die allgemeinen Anforderungen an die Ermittlung und Bewertung der Exposition gegenüber EMF sind in der Arbeitsschutzverordnung zu EMF [2] bzw. in der derzeit noch gültigen DGUV-Vorschrift 15 (Sachkunde) [14] festgelegt. In diesem Zusammenhang sind Fachkunde nach EMFV [2] und Sachkunde nach DGUV- Vorschrift 15 [14] gleichwertig. Der Erhalt der Fach- oder Sachkunde setzt eine regelmäßige Teilnahme an spezifischen

Fortbildungsveranstaltungen voraus, so dass der aktuelle Stand der Technik und Regelwerke bekannt ist.

### **6.7.1.1 Fachkundige Personen nach EMFV**

An Arbeitsplätzen mit einer Exposition gegenüber EMF hat der Arbeitgeber sicherzustellen, dass die Gefährdungsbeurteilung, die Messungen, die Berechnungen oder die Bewertungen nach dem Stand der Technik fachkundig geplant und durchgeführt werden (siehe § 4 Absatz 1 EMFV, [2]). Verfügt der Arbeitgeber dazu nicht selbst über die entsprechenden Kenntnisse, hat er sich von fachkundigen Personen beraten zu lassen (ebd.).

Zu den Anforderungen an fachkundige Personen zählen im Allgemeinen eine entsprechende Berufsausbildung oder Berufserfahrung, jeweils in Verbindung mit einer zeitnah ausgeübten einschlägigen beruflichen Tätigkeit. Hinzu kommt die Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen (siehe § 2 Abs. 8 EMFV). Die entsprechenden Details hierzu werden derzeit (Stand Oktober 2019) erarbeitet und nach abschließender Beratung durch den Ausschuss für Betriebssicherheit (ABS) vom BMAS in den Technischen Regeln zur EMFV veröffentlicht.

### **6.7.1.2 Sachkundiger nach DGUV- Vorschrift 15 (vormals BGV B11)**

Im Bereich der Unfallversicherungsträger haben Prüfungen zur Einhaltung der Festlegungen der DGUV- Vorschrift 15 [14] durch Sachkundige zu erfolgen (§ 9 DGUV- Vorschrift 15). Nach DGUV-Regel 103-013 [49] ist Sachkundiger, wer auf Grund fachlicher Ausbildung und Erfahrung ausreichende Kenntnisse auf dem Gebiet der elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Felder hat und mit den anzuwendenden Vorschriften und Regeln vertraut ist, so dass er den arbeitssicheren Zustand der Anlagen, Maschinen und Geräte beurteilen kann. Dies beinhaltet, dass er mögliche Gefährdungen in Folge von Expositionen durch EMF bewerten kann.

Dies setzt beispielsweise eine abgeschlossene Berufsausbildung oder ein abgeschlossenes Studium und Tätigkeiten voraus, anhand derer angenommen werden kann, dass die Anwendungen in einem Unternehmen hinsichtlich möglicher Gefährdungen durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder beurteilt und Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten ausgewählt, vorgeschlagen und umgesetzt werden können.

## **6.7.2 Allgemeinbevölkerung in Deutschland**

### **6.7.2.1 Anforderungen an Sachverständige, sachverständige Stellen**

Die Anforderungen an Sachverständige für die Bestimmung der Exposition gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern sind in der entsprechenden Empfehlung der Strahlenschutzkommission beschrieben [88].

Messungen können auch durch den Betreiber der Anlage durchgeführt werden, wenn dieser über ausreichenden eigenen Sachverstand und eine entsprechende Messgeräteausstattung verfügt.

Bei nach DIN EN 50413 [70] akkreditierten Stellen oder bei Sachverständigen der Industrie- und Handelskammern für die elektromagnetische Umweltverträglichkeit kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass wesentliche Punkte der Anforderungen an Sachverständige erfüllt sind.

Es wird empfohlen, bei strittigen Fällen, z. B. ob Grenzwerte eingehalten werden oder nicht, eine unabhängige sachverständige Stelle einzubeziehen.

### **6.7.2.2 Bekanntgabe als Messstelle nach § 26, § 28 BImSchG**

Messstellen, die auf der Grundlage des § 26, § 28 BImSchG [89] durch die zuständige oberste Landesbehörde für das jeweilige Land bekannt gegeben werden können, haben ggf. zusätzliche Voraussetzungen für eine solche Bekanntgabe zu erfüllen. Auf die Bekanntgabe besteht kein Rechtsanspruch.

Grundlage für die Bekanntgabe sind die in den Ländern veröffentlichten Bekanntgaberichtlinien bzw. die aktuelle Bekanntgaberichtlinie, die der Länderausschuss für Immissionsschutz den Ländern zur Anwendung empfohlen hat. Zu folgenden Bereichen werden in diesen Richtlinien Voraussetzungen für eine Bekanntgabe genannt:

- Unabhängigkeit,
- Organisation und Zuverlässigkeit,
- Personal,
- Fachkunde,
- gerätetechnische Ausstattung,
- Qualitätssicherung.

Da diese Richtlinien noch keine expliziten Anforderungen an Messstellen für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder enthalten, sind sie - ggf. nur für den Einzelfall - sinngemäß anzuwenden.

### **6.7.3 Fachkunde in Österreich**

Für Evaluierung nach VEMF ist Fachkunde gefordert, aber nicht im Detail definiert. Möchte man diese Dienstleistung allerdings gewerblich anbieten, dann ist unabhängig von sicherheitstechnischen Bestimmungen (Arbeitnehmerinnen-Schutzgesetz) eine selbstständige Tätigkeit wie das Anbieten von Beratungs- und Mess-Dienstleistungen in Österreich reglementiert.

Selbstständig tätige Sicherheitsfachkräfte oder ein sicherheitstechnisches Zentrum (STZ) können daher bei Vorliegen der Fachkunde Bewertungen gemäß § 6 VEMF anbieten. Zusätzlich zu den im Arbeitnehmer-Schutzrecht genannten Voraussetzungen ist auch eine entsprechende Gewerbeberechtigung erforderlich.

#### **6.7.3.1 Gewerbliche Tätigkeit - Ingenieurbüro**

Nach der Gewerbeordnung fällt das gewerbliche Anbieten von Beratungs- und Mess-Dienstleistungen sowie von Gutachten im Bereich EMF in das Berufsbild des sogenannten „Ingenieurbüro“ bzw. der beratenden Ingenieure (§ 211 Gewerbeordnung). Anbieter müssen persönlich die allgemeinen und besonderen Voraussetzungen bei reglementierten Gewerben für die Erlangung der Gewerbeberechtigung erfüllen. Dazu ist die auch positive Absolvierung einer Befähigungsprüfung erforderlich.

#### **6.7.3.2 Freiberufliche Tätigkeit - Ziviltechniker**

Nach dem Ziviltechnikergesetz kann auch der Status eines staatlich befugten und beeideten Ziviltechnikers (für Nicht-Architekten auch Ingenieurkonsulent genannt) erlangt werden. Dieser Status erstreckt sich auf ein bestimmtes Fachgebiet, z. B. Ingenieurkonsulent für Elektrotechnik oder technische Physik. Dabei liegt im Gegensatz zur gewerblichen Tätigkeit eine sogenannte freiberufliche Tätigkeit vor. Ausführende Tätigkeit wie Errichtungen sind dabei nicht vorgesehen. Voraussetzungen für die Tätigkeit als Ziviltechniker/Ingenieurkonsulent sind unter

anderem ein einschlägiges Studium, Berufserfahrung sowie die Ablegung einer Prüfung.

Im Gegensatz zu anderen Fachgebieten, in denen das Ausstellen von Plänen oder Urkunden üblich ist, sind im Bereich EMF Unterschiede zu einem beratenden Ingenieur gering.

### **6.7.3.3 Tätigkeit der Sachverständigen**

Bei gerichtlichen Verfahren werden sogenannte allgemein beeidete und gerichtlich zertifizierte Sachverständige hinzugezogen. Diese definieren sich durch die von den Präsidenten der Landesgerichte geführte Gerichtssachverständigenliste. Voraussetzung für die Eintragung ist wiederum unter anderem ein ausreichendes Maß an Berufserfahrung, ausreichende Ausstattung, eine Prüfung vor einer Zertifizierungskommission sowie auch entsprechender Bedarf je Fachgebiet.

## **7 Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen**

### **7.1 Einleitung**

Wie in den voranstehenden Abschnitten dargelegt, ist es aufgrund der möglichen gesundheitlich nachteiligen Auswirkungen von EMF und nicht zuletzt aufgrund der gesetzlichen Regelungen erforderlich, die Exposition ausreichend gering zu halten. Gegebenenfalls sind Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Im Folgenden soll die grundlegende Herangehensweise beschrieben werden. Die genannten Schritte treffen auf alle EMF-Quellen zu und führen zu jenem Wissen über die vorliegende Exposition, das zur Auswahl von Maßnahmen und zur Erfüllung gesetzlicher Anforderungen notwendig ist. Die in den folgenden drei Abschnitten beschriebene Vorgangsweise wird auch synonym Evaluierung, Risikoanalyse oder Gefährdungsbeurteilung genannt.

### **7.2 Ermitteln der Quellen**

Sieht man von der Gefährdungsbeurteilung eines einzelnen Produktes ab ist der erste (allerdings in der Praxis oftmals auch schwierige) Schritt die Identifizierung jener zugänglichen Arbeitsbereiche, in denen eine relevante EMF-Immission überhaupt vorliegen kann. Dazu müssen Quellen von EMF gefunden werden und deren Relevanz aufgrund ihres Abstands zum zu beurteilenden Bereich eingeschätzt werden.

In einigen Bereichen wie z. B. Haushalt, öffentlicher Raum und an einem typischen Büroarbeitsplatz lässt sich die Unbedenklichkeit im Hinblick auf mit EMF verknüpften Risiken durch einen Vergleich der dort vorkommenden Quellen mit einer Liste unbedenklicher Quellen darlegen. Solche Listen finden sich im Leitfaden der EU-Kommission zu EMF am Arbeitsplatz [59] oder in Normen wie der EN 50499 [80]. Gleichzeitig definieren solche Listen auch jene Quellen von EMF, und damit auch jene Bereiche mit EMF-Immission, die in der Regel als besonders relevant für eine Gefährdungsbeurteilung anzusehen sind. Die Frage der Relevanz einer Immission ist eng an die besondere Gefährdung gegenüber EMF durch die Nutzung von medizinischen Implantaten gekoppelt und wird in den genannten Listen mitberücksichtigt. Im Kapitel 3 dieses Leitfadens sind Listen mit relevanten EMF-Quellen enthalten, allerdings ohne Bewertung.

Es sei angemerkt, dass bei EMF-emittierenden Produkten die Exposition in den einzelnen Betriebsmodi sowie bei bestimmungsgemäßer Verwendung und vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung berücksichtigt werden muss. Meist wird dies vom Hersteller mittels der Erfüllung von Vorgaben aus technischen Normen dargelegt.

### **7.3 Beurteilung und individuelle, besondere Gefährdung**

Nach der Identifizierung der Quellen von EMF erfolgt eine Beurteilung der Immission. Zum einen muss dabei das Ausmaß der Exposition hinreichend genau bestimmt werden. Je nach erforderlicher Genauigkeit können dazu die obengenannten, allgemeinen Listen, Tabellenwerke und Datenbanken hinzugezogen, oder auf spezifische Analyse mittels Messungen oder Berechnungen zurückgegriffen werden. Dies kann eine komplexe Aufgabe sein. Idealerweise stellen Hersteller oder Inverkehrbringer von EMF-emittierenden Produkten ausreichende Informationen zur Verfügung, um Unbedenklichkeit oder Nutzungsgrenzen ihrer Produkte nachzuweisen.

Im nächsten Schritt muss die Exposition zu den anwendbaren Grenz- und Schwellenwerten verglichen werden, um die Beurteilung abzuschließen. Liegt keine individuelle, besondere Gefährdung (in der Regel aufgrund medizinischer Implantate) vor, sind die jeweils national gültigen Grenzwerte anzuwenden. Für beruflich Exponierte ohne besondere Gefährdung ist üblicherweise eine höhere Exposition als für die Allgemeinbevölkerung zulässig. Bei Vorliegen einer besonderen Gefährdung müssen meist weit strenger gefasste Schwellenwerte für die maximale Immission angewendet oder eine Analyse der individuellen Gefährdung durchgeführt werden. Die besondere Gefährdung durch EMF unterteilen sich in zwei Gruppen von Personen, für die auch unterschiedlich Schwellenwerte und Schutzmaßnahmen notwendig sind: passive und aktive medizinische Implantate, jeweils unterschieden in Allgemeinbevölkerung und Beschäftigte.

### **7.3.1 Träger passiver, metallischer Implantate**

Zu passiven, metallischen Implantaten zählen z. B. Prothesen, Schrauben und Platten, Metallhaltige Farbpigmente oder schwer entfernbarer Schmuck. Hier entsteht durch die erhöhte Induktionswirkung im und nahe am hoch leitfähigen Metall eine besondere Gefährdung. Auch die Kraftwirkung auf magnetisierbares Material muss mitberücksichtigt werden.

Die Expositionsgrenzwerte für Stimulationswirkung und für thermische Wirkungen im biologischen Gewebe können auch für Träger passiver Implantate angewendet werden. Allerdings sind Auslöseschwellen für externe Felder, so wie sie durch gesetzliche Vorgaben für Personen ohne besonderes Risiko festgelegt worden sind, aufgrund der erhöhten Einkopplung in den Körper im Allgemeinen nicht anwendbar.

Angesichts der Breite an möglichen passiven, metallischen Implantaten gibt es dazu keine rechtlich verbindlichen Grenzwerte. Als Medizinprodukte unterliegen die Hersteller solcher Implantate zwar gewissen Regelungen im europäischen Binnenmarkt. So legt die EU-Verordnung über Medizinprodukte (EU 2017/745, [90]), das sind eben auch Implantate, auch die Berücksichtigung der Risiken durch „... z. B. Magnetfeldern, elektrischen und elektromagnetischen Fremdeinflüssen, elektrostatischen Entladungen, Strahlung in Verbindung mit Diagnose- und Therapieverfahren...“ fest ([91], [90]). Dies erstreckt sich auf „vernünftigerweise vorhersehbare Umgebungsbedingungen“, worunter alle Felder unterhalb der Referenzwerte der Ratsempfehlung 1999/519/EG für Allgemeinbevölkerung zu verstehen wären. Andernfalls müssen möglicherweise auftretende Risiken in Benutzerinformationen dargestellt werden.

Für den Endanwender oder Personen mit passiven Implantaten, die durch spezielle Technologien am Arbeitsplatz exponiert werden, werden auch nach Umsetzung dieser EU-Verordnung höchstwahrscheinlich Lücken in der Information zu diesen Risiken bleiben. Oft muss daher auf Literatur von Dritten zurückgegriffen werden. Der Forschungsbericht FB-451 des deutschen Arbeits- und Sozialministeriums [62] gibt nähere Informationen zur Exposition von Trägern von passiven Implantaten und nennt Schwellenwerte zur Beurteilung der Exposition. Der AUVA Report R78 [92], der auf umfassenden Berechnungen der induzierten elektrischen Feldstärke bei Magnetfeld-Exposition von metallischen Implantaten beruht, gibt Richtwerte an. Diese liegen gerade im kHz-Bereich etwas unter den Schwellenwerten des FB-451 [62]. Ein Grund dafür ist die Berücksichtigung der Erwärmungswirkung die im Implantat auftreten kann und welche ab einigen zehn kHz relevant werden kann.

Plausible Erklärungen der Unbedenklichkeit eines Implantat-Herstellers und Schwellenwerte für die maximale Exposition können, wie obenstehend angeführt, zur

Beurteilung herangezogen werden. Auch eine individuelle Beurteilung durch Arzt und Arbeitsmedizin ist möglich. In den meisten Fällen wird allerdings eine Unterschreitung der Schwellenwerte durch allgemeine Maßnahmen zur Vermeidung oder Minimierung der Gefährdung zielführend sein (siehe auch 4.7.1).

### **7.3.2 Träger aktiver, medizinischer Implantate**

Aktive (medizinische) Implantate (AIMD) besitzen eine eigene Energieversorgung. Zu AIMDs zählen Herzschrittmacher, Defibrillatoren, Neurostimulatoren oder Cochlea-Implantate. Hier besteht aufgrund des elektrischen Aufbaus und der Wahrnehmung von Signalen im Körper ein besonderes Risiko.

Die Hersteller von aktiven Implantaten sind gemäß EU-Richtlinie 1990/385 ([91], verpflichtet vor dem Inverkehrbringen die elektromagnetische Verträglichkeit prüfen; ab 2020 gilt dann die EU-Verordnung 2017/745 [90]. Die Implantate müssen wie im Abschnitt zuvor bereits beschrieben „so ausgelegt und hergestellt sein, dass Risiken im Zusammenhang mit vernünftigerweise vorhersehbaren äußeren Einwirkungen oder Umgebungsbedingungen, wie z. B. Magnetfeldern, elektrischen und elektromagnetischen Fremdeinflüssen, elektrostatischen Entladungen ausgeschlossen oder so weit wie möglich reduziert werden“. Unter vernünftigerweise vorhersehbare Einwirkungen fallen alle Felder unterhalb der Referenzwerte der Ratsempfehlung 1999/519/EG [35] für die Allgemeinbevölkerung.

Träger von AIMD werden aber auch am Arbeitsplatz immer häufiger angetroffen. Hierzu gibt die DGUV-Information 203-043 [15] und der Forschungsbericht FB451 Handlungshilfen sowie Schwellenwerte zur Beurteilung der Beeinflussung von aktiven Implantaten. Darüber hinaus ist eine individuelle Beurteilung durch Arzt und Arbeitsmedizin möglich. Der behandelnde Arzt kann gegebenenfalls eine Adaption der Einstellungen des aktiven Implantats vornehmen.

### **7.3.3 Beruflich Exponierte**

Zur Beurteilung der Exposition im beruflichen Umfeld (am Arbeitsplatz) können, falls keine individuelle, besondere Gefährdung durch Implantate vorliegt, die jeweils geltenden Grenzwerte für Arbeitnehmerschutz vollinhaltlich angewendet werden. Für schwangere Arbeitnehmerinnen gelten oftmals Sonderregelungen.

### **7.3.4 Allgemeinbevölkerung**

Zur Beurteilung der Exposition der Allgemeinbevölkerung sind die dafür definierten Grenzwerte heranzuziehen, siehe Kapitel 5. Der Schutz von Schwangeren, Kindern, chronisch Kranken etc. außerhalb des beruflichen Umfeldes ist durch die festgelegten Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung mit abgedeckt.

## **7.4 Maßnahmen zur Vermeidung oder Minimierung der Gefährdung**

Wie bei allen möglicherweise belastenden Einwirkungen ist allein aus Vorsorgegründen eine Minimierung möglicher Gefährdungen zu empfehlen. Grenz- oder Schwellenwerte, die von gesundheitlich bedenklichen Expositionswerten abgeleitet worden sind, müssen jedenfalls unterschritten werden. Im Folgenden werden Maßnahmen zur Reduktion oder Minimierung der Exposition angeführt. Diese Maßnahmen sollten in einer bestimmten Reihenfolge angewendet werden, die als STOP-Prinzip bekannt geworden ist. Ist eine Maßnahme aus nachvollziehbaren

Gründen nicht möglich, sollte die nächste in der Reihenfolge angewandt werden - so lange bis die zu schützende Personengruppe ausreichend gering exponiert ist.

### **7.4.1 Substitution (S)**

Substitution der Quelle von EMF wäre die erste anzustrebende Maßnahme. Eine völlige Vermeidung von EMF ist technologiebedingt allerdings meist nicht möglich. Bei Neukauf oder Neuerrichtung ist aber auf die Auswahl von Anlagen und Geräten mit möglichst geringer resultierender Immission zu achten.

### **7.4.2 Technische Maßnahmen (T)**

#### **7.4.2.1 Abschirmung von niederfrequenten Feldern**

Niederfrequente (und statische) elektrische Felder lassen sich durch jegliches geerdetes, leitfähiges Material wirkungsvoll abschirmen. In der Praxis bedeutet dies, dass an Anlagen und Geräten mittels geerdeten Metallabdeckungen oder -gittern elektrische Felder effektiv abgeschirmt werden können. Genauso schirmt der natürliche Bewuchs (Büsche, Bäume) um Hochspannungsfreileitungen das elektrische Feld sehr wirkungsvoll ab. Selbst ein Haus unter einer Freileitung reduziert das elektrische Feld auf weniger als 1/100.

Niederfrequente (und statische) magnetische Felder lassen sich nur mit weitaus größerem Aufwand reduzieren, denn diese werden durch leitfähiges Material nicht abgeschirmt, sie durchdringen dieses. Hier werden zur Reduzierung der Felder spezielle Metallabschirmungen, z. B.  $\mu$ -Metall-Abschirmungen, verwendet. Dieses hochpermeable Material (weichmagnetische Nickel-Eisen-Legierung) schirmt jedoch auch nicht zu 100 % ab, es dämpft aber die magnetischen Felder.

#### **7.4.2.2 Abschirmung von hochfrequenten Feldern und Strahlung**

Hochfrequente elektromagnetische Felder lassen sich ebenso wie niederfrequente elektrische Felder durch leitfähiges Material, z. B. Metall wirkungsvoll abschirmen. Je nach Frequenz reicht hier ein Metallgitter bis hin zu einem Lochblech aus. Die Lochweite des Materials ist dabei von der Frequenz abhängig.

#### **7.4.2.3 Erdung und Potentialausgleich**

Kontaktströme, Funkenbildung und elektrische Felder, die zwischen Objekten mit unterschiedlichem elektrischem Potential entstehen, können durch Erdung der Objekte bzw. im Allgemeinen durch Potentialausgleich wirksam gemindert werden. Auch Abschirmungen müssen geerdet werden!

#### **7.4.2.4 Betriebsparameter von EMF-Quellen**

Falls es prozesstechnisch möglich ist, können jene Betriebsparameter der EMF-Quelle, die am stärksten zur Belastung beitragen, entsprechend adaptiert werden. Die in der Praxis am häufigsten anzutreffenden Magnetfelder hängen direkt proportional von der Stromstärke ab. Biologisch wirksam sind jene Ströme, die schnell an- (bzw. ab-)steigen und Ströme, die mit hohen Frequenzen variieren. Dazu können insbesondere hochfrequente Oberwellen beitragen. Jegliche Änderungen von Betriebsparametern, die Betriebsfrequenzen und/oder Oberwellenanteile reduzieren und Stromanstiegszeiten erhöhen sind daher aus biologischer Sicht von Vorteil.

Im Hochfrequenz-Bereich, also bei Quellen von hochfrequenter Strahlung, ist es zur Reduzierung der thermischen Wirkung (abgesehen von der Strahlungsleistung) vorteilhaft, die Dauer der Strahlung und damit das Betriebsintervall zu minimieren.

### 7.4.3 Organisatorische Maßnahmen (O)

#### 7.4.3.1 Sicherheitsabstände, Zutritts- und Nutzungsverbote

Da niederfrequente Felder sehr stark mit der Entfernung zur Feldquelle abnehmen (Abstandsquadratgesetz), ist der Abstand zur Feldquelle eine sehr wirkungsvolle Maßnahme, um die Exposition zu verringern.

Die Definition von Sicherheitsabständen ist eine der effizientesten Maßnahmen. Die Einhaltung der Sicherheitsabstände soll möglichst durch Abschränkungen durchgesetzt werden. Ist der erforderliche Sicherheitsabstand übermäßig groß, dauerhaft einzuhalten, und sind andere mögliche Maßnahmen an der EMF-Quelle bereits ausgeschöpft, kann ein Nutzungs- bzw. Zutrittsverbot notwendig sein.

Sicherheitsabstände und Nutzungsverbote sind in der Praxis auf die besondere Gefährdung bestimmter Personengruppen wie Implantat-Träger abzustimmen.

#### 7.4.3.2 Kennzeichnung

Bereiche, in den relevante Auslöseschwellen oder Referenzwerte überschritten bzw. Gefährdungen nicht ausgeschlossen werden können und überall dort, wo Sicherheitsabstände erforderlich sind, müssen mit Warn- bzw. Verbotsschildern deutlich gekennzeichnet werden. *Warnzeichen* sind Sicherheitszeichen, die vor einem Risiko oder einer Gefahr warnen; *Verbotsschilder* untersagen ein Verhalten, durch das eine Gefahr entstehen kann. Wesentliche zusätzliche Hinweise wie der erforderliche Sicherheitsabstand, sollten mit Zusatzzeichen, die gemeinsam mit den oben erwähnten Zeichen verwendet werden, angegeben werden.

Im Folgenden sind die wichtigsten Warn- und Verbotsschilder zur Kennzeichnung wiedergegeben.



Abbildung 7.1 Warn- und Verbotsschilder,

Reihe oben: Warnung vor nicht ionisierender Strahlung, Warnung vor magnetischem Feld

Reihe unten: Kein Zutritt für Träger/-innen von Herzschrittmachern oder implantierte Defibrillatoren, Kein Zutritt für Personen mit Implantaten aus Metall, Mitführen von Metallteilen oder Uhren verboten, Berühren verboten (für Antennen). Bild-Quellen: ASR A1.3, DIN EN ISO 7010.

#### 7.4.3.3 Organisation und Inhalte der Unterweisung

Essentielle Informationen über Gefährdungen, Sicherheitsabstände und Zutritts- bzw. Nutzungsverbote müssen Inhalt der Unterweisung von Exponierten sein. Bei hoher Exposition ist über mögliche Symptome zu unterrichten, damit diese auch erkannt werden können. Die regelmäßige Umsetzung der Unterweisung muss organisatorisch gewährleistet werden.

## **7.4.4 Personenbezogene Maßnahmen (P)**

Ist die Gruppe der exponierten Personen beschränkt und einzeln greifbar, können personenbezogene Maßnahmen ergriffen werden. Dazu zählen die persönliche Schutzausrüstung sowie Information und Unterweisung der Betroffenen. Dies ist üblicherweise nur in Betrieben möglich, weshalb diese letztgereehte Maßnahme nur bei betroffenen Arbeitnehmern eingesetzt werden kann. Bei der Exposition der Allgemeinbevölkerung entfallen solche Maßnahmen. In aller Regel sind dort auch keine Schutzmaßnahmen erforderlich.

Anmerkung: Informationen zur bestimmungsgemäßen Verwendung und zu Gefährdungen sind zwar in der jeweiligen Bedienungsanleitung den Produkten für die Allgemeinbevölkerung beigelegt, werden aber in der Praxis wohl weniger beachtet als Kennzeichnungen und die persönliche Unterweisung im betrieblichen Umfeld.

### **7.4.4.1 Persönliche Schutzausrüstung**

Persönliche Schutzausrüstung gegen EMF wird kaum eingesetzt. Gegen niederfrequente Magnetfelder ist keine PSA verfügbar, während gegen niederfrequente elektrische Felder Erdung bzw. ein geerdetes Gitter Schutz bietet („Faradayscher Käfig“). Auf diesem Prinzip basiert auch PSA gegen hochfrequente, elektromagnetische Felder. Deren Einsatz bleibt allerdings auf wenige, spezielle Tätigkeiten beschränkt.

### **7.4.4.2 Persönliche Information und Unterweisung der Exponierten**

Die Unterweisung muss Informationen über Maßnahmen wie definierte Sicherheitsabstände und deren Kennzeichnung, Arbeitsverfahren zur Minimierung der Exposition, sowie mögliche besondere Gefährdungen durch EMF (Implantat-Träger) beinhalten. Falls keine technischen Maßnahmen wie Abschränkungen getroffen werden, kann die Unterweisung über einzuhaltende Sicherheitsabstände und korrekte Arbeitsverfahren als personenbezogene Maßnahme gesehen werden.

### **7.4.4.3 Schutzmaßnahmen bei alltäglicher Exposition**

In der Umgebung der regulären Hausinstallation bzw. Hausversorgung sowie bei Geräten der Bürokommunikation, wie z. B. PC, PC-Monitoren, Druckern und Kopierern, sind, aufgrund der geringen auftretenden Feldstärken, keine Schutzmaßnahmen - auch kein Abstand - erforderlich. Ebenso unterschreiten die immer beliebter werdenden und daher immer häufiger eingesetzten Anlagen zur drahtlosen Kommunikation, wie Bluetooth oder WLAN, aufgrund der geringen Sendeleistungen die zulässigen Werte deutlich. Im Sinne der Vorsorge kann die Exposition für die Allgemeinbevölkerung gemäß der technischen Möglichkeiten minimiert werden (vgl. Abschnitt 5.7).

Zurzeit werden, hervorgerufen durch die in der Öffentlichkeit kontrovers geführten Diskussionen zum Thema „Elektromagnetische Felder“, immer wieder recht zweifelhafte Produkte zur Reduzierung des „Elektrosogs“ und der „negativen Strahlung“ angeboten. Hier handelt es sich oftmals um Aufklebefolien oder Keramikplättchen für Handys, Metall-, Stein- oder Glaskugeln für die körpernahe Anwendung oder um Raumpyramiden und ähnliche Gebilde, um ganze Räume oder Häuser vom Elektrosog zu befreien. Gemeinsam ist vielen solcher Produkte, dass sie hinsichtlich elektromagnetischer Felder keinerlei nachweisbare physikalische Wirkung zeigen. Man kann hier auch von Betrug sprechen.

## 8 Literatur

- [1] „26. BImSchV: Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16.12. 1996 (BGBl. I S. 1966)“. 1996.
- [2] BMAS, *Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV)*. 2016, S. BGBl. I S.2531.
- [3] SSK, „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“, SSK, Report, Okt. 2001.
- [4] A. Barth, I. Ponocny, T. Gnams, und R. Winker, „No effects of short-term exposure to mobile phone electromagnetic fields on human cognitive performance: A meta-analysis“, *Bioelectromagnetics*, Bd. 33, Nr. 2, S. 159–165, 2012.
- [5] M. Redmayne u. a., „Use of mobile and cordless phones and cognition in Australian primary school children: a prospective cohort study“, *Env. Health*, Bd. 15, S. 26, 2016.
- [6] H. Jalilian, S. Teshnizi, M. Rösli, und M. Neghab, „Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and risk of Alzheimer disease: A systematic review and meta-analysis“, *Neurotoxicology*, Bd. 69, S. 242–252, 2018.
- [7] A. Amoon u. a., „Proximity to overhead power lines and childhood leukaemia: an international pooled analysis“, *Br. J. Cancer*, Bd. 119, Nr. 3, S. 364–373, 2018.
- [8] P. Slottje, I. van Moorselaan, R. van Strien, R. Vermeulen, H. Kromhout, und A. Huss, „Electromagnetic hypersensitivity (EHS) in occupational and primary health care: A nation-wide survey among general practitioners, occupational physicians and hygienists in the Netherlands“, *Int. J. Hyg. Environ. Health*, Bd. 220, Nr. 2, S. 395–400, 2017.
- [9] ICNIRP, „ICNIRP Guidelines On Limits Of Exposure To Static Magnetic Fields“, *Health Physic*, Bd. 96, Nr. 4, S. 504, 2009.
- [10] SCENIHR, „Health Effects of Exposure to EMF“, Scientific committee on emerging and newly identified health risks (SCENIHR), Report, Jan. 2009.
- [11] SCENIHR, „Potential health effects of exposure to EMF“, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, Report, 2015.
- [12] SSK, *Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern der Energieversorgung und -anwendung*, Bd. Heft 7. 1997.
- [13] F. Wolf, „Sicherheit im Umfeld von Kernspintomographen“, in *Tagungsband der 8. Diskussionstagung der Fachgruppe Magnetische Resonanzspektroskopie der Gesellschaft Deutscher Chemiker*, 1986.
- [14] DGUV, „DGUV Vorschrift 15 Elektromagnetische Felder“, DGUV, 2001.
- [15] DGUV, „DGUV Information 203-043 - Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder Eine Handlungshilfe für die betriebliche Praxis (bisher: BGI/GUV-I 5111)“, DGUV, 2012.
- [16] BMAS (D), „FB 451 - Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern“, EMF-Expertengruppe, Report, 2015.
- [17] A. Lerchl, „Synergistische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen - Kokanzerogenität oder Tumorpromotion? - Vorhaben 3615S82431“, BfS, Report, 2018.
- [18] NTP „NTP TR 595: NTP Technical Report on the toxicology and carcinogenesis studies in hsd:sprague dawley sd rats exposed to whole-body radio frequency

- radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones“, National Toxicology Program, Report, 2018.
- [19] NTP, „NTP TR 596: NTP Technical Report on the toxicology and carcinogenesis studies in b6c3f1/n mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1,900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones“, National Toxicology Program, Report, xxxx2018.
- [20] L. Falcioni *u. a.*, „Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8â€GHz GSM base station environmental emission“, *Env. Res.*, Bd. 165, S. 496–503, 2018.
- [21] IARC, *World Cancer Report 2014*. Genf: WHO, 2014.
- [22] IARC, *Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields*, Bd. 80. Lyon: IARC Press, 2002.
- [23] L. Aringer *u. a.*, „Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields“, Arbetslivsinstitutet, Sverige, Solna, Sveden, 1997:19, 1997.
- [24] WHO, „Factsheet No 296 - Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit: Elektromagnetische Hypersensitivität (Elektrosensibilität)“, WHO, Report, 2005.
- [25] SCENIHR, „Health Effects of Exposure to EMF“, Scientific committee on emerging and newly identified health risks (SCENIHR), Report, Jan. 2009.
- [26] SSK, „Stellungnahme der Strahlenschutzkommission zu Biologische Auswirkungen des Mobilfunks - Gesamtschau“, Strahlenschutzkommission, Report, 2011.
- [27] M. Diedonné, „Does electromagnetic hypersensitivity originate from nocebo responses? Indications from a qualitative study“, *Bioelectromagnetics*, Bd. 37, Nr. 1, S. 14–24, Jan. 2016.
- [28] S. Genius und C. Lipp, „Electromagnetic hypersensitivity: fact or fiction?“, *Sci Total Env.*, Nr. 414, S. 103–112, 2012.
- [29] AUVA, „Untersuchung athermischer Wirkungen elektromagnetische Felder im Mobilfunkbereich - ATHEM-2“, AUVA, Forschungsbericht, 2016.
- [30] I. Belyaev *u. a.*, „Exposure of rat brain to 915 MHz GSM microwaves induces changes in gene expression but not double stranded DNA breaks or effects on chromatin conformation“, *Bioelectromagnetics*, Bd. 27, Nr. 4, S. 295–306, 2006.
- [31] J. Bardasano, J. Alvarez-Ude, I. Gutierrez, M. Raposo, und R. Goya, „EEG bioeffects on cochlear deaf from cellular phones“, *The Environmentalist*, Bd. 27, Nr. 4, S. 519–523, 2007.
- [32] Y. Takashima, H. Hirose, S. Koyama, Y. Suzuki, M. Taki, und J. Miyakoshi, „Effects of continuous and intermittent exposure to RF fields with a wide range of SARs on cell growth, survival, and cell cycle distribution“, *Bioelectromagnetics*, Bd. 27, Nr. 5, S. 392–400, 2006.
- [33] G. Fritzer *u. a.*, „Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects“, *Bioelectromagnetics*, Bd. 28, Nr. 4, S. 316–325, 2007.
- [34] I. C. on N. R. Protection (ICNIRP), „ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)“, *Health Physic*, Bd. 74, Nr. 4, S. 494, 1998.
- [35] „Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischer Felder - 1999/519/EG“. Amtsblatt der EU Nr. 199 (1999).

- [36] „Richtlinie 2013/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG; ABl. L 179 vom 29.6.2013, S. 1–21“.
- [37] *Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/-innen vor der Einwirkung durch elektromagnetische Felder (Verordnung elektromagnetische Felder – VEMF), BGBl. II NR. 179/2016 idgF.* 2016.
- [38] Schweizerischer Bundesrat, *Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom 23. Dezember 1999.*
- [39] S. Missling, A. Riel, M. Wuschek, H. Reidenbach, und D. Weiskopf, „Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nicht-ionisierenden Bereich - Vorhaben 3614S80010, Bände 1 und 2“, Bundesamt für Strahlenschutz, Report, Feb. 2016.
- [40] ICNIRP, „Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)“, *Health Phys.*, Bd. 99, Nr. 6, S. 818–36, 2010.
- [41] R. Stam, „Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields)“, RIVM (NL), Report, 2018.
- [42] *Richtlinie 2004/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (18. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG.* 2004.
- [43] *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV).* 2016, S. BAnz AT 03.03.2016 B5.
- [44] LAI, „Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV)“, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, Report, 2014.
- [45] Deutscher Bundesrat, *Verordnung zum Schutz gegen die nichtionisierende Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV), Artikel 4.* 2018, S. BGBl. I Nr. 41 S. 2034.
- [46] Deutsches BMWi, *Gesetz über die Bereitstellung von Funkanlagen auf dem Markt (Funkanlagengesetz - FuAG).* 2017, S. BGBl. I S. 1947.
- [47] „BEMFV: Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) vom 20. August 2002 (BGBl. I S. 3366)“.
- [48] DIN EN, „DIN VDE 0848-3-1:2002-05 - Entwurf: Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern - Teil 3-1: Schutz von Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz“, 0848-3-1:2002-05, 01-Mai-2002.
- [49] „DGUV Regel 103-013 - Elektromagnetische Felder (bisher: BGR B11), Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fachausschuss ‚Elektrotechnik‘ der BGZ, Stand der Vorschrift: Oktober 2001, Aktualisierte Nachdruckfassung Januar 2006“. 2006.
- [50] Deutsches BMAS, *Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG).* 1996, S. BGBl. I S. 1246.

- [51] Deutsches BMAS, *Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)*. 2008, S. BGBl. I S. 2768.
- [52] AfAMed, *AMR 3.2 „Arbeitsmedizinische Prävention“*. 2017, S. GMBI Nr. 7, 15.03.2017, S.118.
- [53] Schweizerischer Bundesrat, *Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (V-NISSG)*. 2019.
- [54] BUWAL, „Erläuternder Bericht zur Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)“, Dez. 1999.
- [55] Schweizerischer Bundesrat, *Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit (VEMV), SR 734.5*. 2015.
- [56] Das Eidgenössische Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung, *Verordnung des WBF über gefährliche und beschwerliche Arbeiten bei Schwangerschaft und Mutterschaft (Mutterschutzverordnung, MuSchV)*. 2001.
- [57] „OVE-Richtlinie R 23-1:2017-04-01 Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz -- Teil 1: Begrenzung der Exposition von Personen der Allgemeinbevölkerung“.
- [58] DGUV, „DGUV Information 213-001 - Arbeiten in engen Räumen (bisher: BGI 534)“, DGUV, 2008.
- [59] *Nicht verbindlicher Leitfaden mit bewährten Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 2013/35/EU – Elektromagnetische Felder, Band 1: ISBN 978-92-79-45885-9 und Band 2: ISBN 978-92-79-45947-4, Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, 2015 („EMF-Leitfaden“)*. 2015.
- [60] AUVA, „M 470 - Elektromagnetische Felder“, AUVA, Report M 470, 2017.
- [61] AUVA, „R50 - Personen mit aktiven Implantaten in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern“, AUVA, Report R50, 2009.
- [62] F. Heinrich H. und Börner, „Forschungsbericht 451 – Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern“, Bundesministeriums für Arbeit und Soziales, 2015.
- [63] „KJBG-VO: Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales, des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten und des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über Beschäftigungsverbote und -beschränkungen für Jugendliche (KJBG-VO); StF: BGBl. II Nr. 436/1998“.
- [64] „OVE-Richtlinie R 27:2019-07-01 Verfahren zum Nachweis der Einhaltung der Auslösewerte gemäß Verordnung Elektromagnetische Felder im Bereich elektrischer Energieversorgungsanlagen für Frequenzen von 0 bis 100 kHz“.
- [65] B. (D), „Antwort der Bundesregierung auf eine große Anfrage zu den Auswirkungen elektromagnetischer Felder, insbesondere des Mobilfunks“, Deutscher Bundestag, Report, Jan. 2002.
- [66] Europäische Kommission, „Standardisation mandate addressed to CEN, CENELEC and ETSI in the field of electrotechnology, information technology and telecommunications“, DG Enterprise, M/305, 2000.
- [67] Europäische Kommission, *RICHTLINIE 2014/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt (LVD)*. 2014, S. ABl. L 96 vom 29.3.2014, S. 357–374.
- [68] Europäische Kommission, *RICHTLINIE 2014/53/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. April 2014 über die Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Funkanlagen*

auf dem Markt und zur Aufhebung der Richtlinie 1999/5/EG. 2014, S. ABl. L 153 vom 22.5.2014, S. 62–106.

- [69] CENELEC, „Normungspolitik im Bereich von Artikel 118a EG-Vertrag“, CEN-Resolution BT 22/1997, Okt. 1997.
- [70] „DIN EN 50413 VDE 0848-1:2009-08 Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50413:2008“. 2008.
- [71] „DIN EN 50413:2018-07; entspricht VDE 0848-1:2018-07 – Entwurf, Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)“. 2018.
- [72] „DIN EN 62311:2008-09 (VDE 0848-211:2008-09): Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz) (IEC 62311:2007, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62311:2008“.
- [73] DIN EN, „DIN EN 61786-1:2014-10 - Messung von magnetischen Gleichfeldern und von elektrischen und magnetischen Wechselfeldern von 1 Hz bis 100 kHz im Hinblick auf die Exposition von Personen - Teil 1: Anforderungen an Messgeräte“, DIN EN 61786-1:2014-10, 01-Okt-2014.
- [74] DIN EN, „DIN EN 62232:2018-06 - Bestimmung der HF-Feldstärke, der Leistungsdichte und der spezifischen Absorptionsrate (SAR) in der Nachbarschaft von Funkkommunikations-Basisstationen zur Ermittlung der menschlichen Exposition“, DIN EN 62232:2018-06, 01-Juni-2018.
- [75] „DIN EN 50527-1 (VDE 0848-527-1):2011-01: Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren medizinischen Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern, Teil 1: Allgemeine Festlegungen; Deutsche Fassung EN 50527-1:2010 - zurückgezogen“.
- [76] „DIN EN 50527-2-1:2012-05 (VDE 0848-527-2-1:2012-05): Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren medizinischen Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern - Teil 2-1: Besondere Beurteilung für Arbeitnehmer mit Herzschrittmachern; Deutsche Fassung EN 50527-2-1:2011“.
- [77] EC, *Band 1: Praktischer Leitfaden*. Luxemburg: Europäische Kommission Generaldirektion Beschäftigung, Soziales und Integration, 2015.
- [78] EC, *Band 2: Fallstudien*. Luxemburg: Europäische Kommission Generaldirektion Beschäftigung, Soziales und Integration, 2015.
- [79] EC, *Band 3: Leitfaden für KMU*. Luxemburg: Europäische Kommission Generaldirektion Beschäftigung, Soziales und Integration, 2015.
- [80] „prEN 50499 “Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields” (Ausgabe: 2017-12-15)“. CENELEC, 2017.
- [81] „DIN EN 50527-2-2:2018-05 (VDE 0848-527-2-2:2018-05) - Entwurf: Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren medizinischen Geräten gegenüber elektromagnetischen Feldern - Teil 2-2: Besondere Beurteilung für Arbeitnehmer mit Kardioverter-Defibrillatoren (IKDs); Deutsche und Englische Fassung prEN 50527-2-2:2017“.
- [82] „DIN EN 50647 (VDE 0848-647):2018-07: Basisnorm für die Evaluierung der beruflichen Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern ausgehend von Komponenten und Anlagen zur Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie; Deutsche Fassung EN 50647:2017“. 2017.

- [83] „IEC 62226: 2004: Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body - Part 1: General“. 2004.
- [84] P. Dimbylow, „FDTD calculations of the whole-body averaged SAR in an anatomically realistic voxel model of the human body from 1 MHz to 1 GHz“, *Phys. Med. Biol.*, Bd. 42, Nr. 3, S. 12, 1997.
- [85] P. J. Dimbylow, „Fine resolution calculations of SAR in the human body for frequencies up to 3 GHz“, *Phys. Med. Biol.*, Bd. 47, Nr. 16, S. 2835, 2002.
- [86] M. Gosselin *u. a.*, „Development of a new generation of high-resolution anatomical models for medical device evaluation: the Virtual Population 3.0“, *Phys. Med. Biol.*, Bd. 59, Nr. 18, S. 5287–303, 2014.
- [87] „Norm IEC EN 62209-1, „Messverfahren für die Beurteilung der spezifischen Absorptionsrate bei der Exposition von Personen gegenüber hochfrequenten Feldern von handgehaltenen und am Körper getragenen schnurlosen Kommunikationsgeräten -- Teil 1: Geräte, die in enger Nachbarschaft zum Ohr benutzt werden (Frequenzbereich von 300 MHz bis 6 GHz)““.
- [88] SSK, „Anforderungen an Sachverständige für die Bestimmung der Exposition gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (Empfehlung der Strahlenschutzkommission), verabschiedet in der 188. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 2./3. Dezember 2003“, SSK, Report, 2003.
- [89] Deutsches BMU, *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)*. 2017.
- [90] „Verordnung (EU) 2017/745 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2017 über Medizinprodukte, Amtsblatt der EU Nr. 117 vom 05.05.2017, Seite 1“. 2017.
- [91] „Richtlinie 90/385/EWG des Rates vom 20. Juni 1990 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über aktive implantierbare medizinische Geräte, Amtsblatt Nr. L 189 vom 20/07/1990 Seite 17“. 1990.
- [92] AUVA, „R78 - Bestimmung der im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärken und Gewebeerwärmung in der Nähe von metallischen Implantaten bei Magnetfeldexposition am Arbeitsplatz“, AUVA, Report R78, Nov. 2018.
- [93] „DGUV Information „Einsatz von Schutzkleidung gegen Einwirkung durch hochfrequente elektromagnetische Felder im Frequenzbereich 80 MHz - 1 GHz“, Oktober 2002 (DGUV Information 203-027, vormals BGI 844, ZURÜCKGEZOGEN“, DGUV, 2002.
- [94] H. Ryser, Measuring Campaign for the Assessment of the Non-Ionising Radiation near GSM Base Stations, 15th International Zurich Symposium on EMC, 2003.
- [95] „Messungen in der Umgebung von Funksendeanlagen“, Narda Safety Test Solutions, 2012.

## **9 Anhang**

### **9.1 Messgeräte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder**

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die zur Messung verwendeten Geräte und Einflussgrößen bei der Messung ein.

Bewertungsverfahren wie die Summenformeln oder die Hochrechnung auf die maximale Anlagenauslastung werden nur ansatzweise berücksichtigt, da derartige Vorgaben in den jeweiligen Richtlinien und Normen spezifischer geregelt werden.

#### **9.1.1 Messgeräte- Auswahl**

Für die Messung der elektrischen Feldstärke  $E$ , der magnetischen Feldstärke  $H$  (bzw. magnetische Flussdichte  $B$ ) oder die Leistungsflussdichte  $S$  gibt es jeweils geeignete Messsonden. Das Funktionsprinzip der verwendeten Feldmesssonde muss der zu messenden physikalischen Größe entsprechen.

Zudem müssen die Messgeräte je nach Anwendungsgebiet normative Anforderungen erfüllen wie Mittelwertbildung, Effektiv- bzw. Spitzenwertmessung oder eine räumliche Mittelung („spatial averaging“) unterstützen.

Messgeräte zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten müssen mit ausreichender Dynamik und Empfindlichkeit versehen sein um die ggf. in Normen festgelegte Unsicherheit zu ermöglichen.

Da zumeist das gesamte Messgerät – nicht nur der Messsonde - dem Feld ausgesetzt ist, muss dieses über eine ausreichende HF-Störfestigkeit verfügen. In Hinblick auf die Grenzwerte des Personenschutzes liegen diese Anforderung deutlich oberhalb der für das CE-Zeichen erforderlichen Werte; anderenfalls kann es bei hohen Feldstärken zum Ausfall der Elektronik kommen.

#### **9.1.2 Messgeräte für niederfrequente Felder**

Für die Messung der magnetischen Flussdichte  $B$  (bzw. magnetische Feldstärke  $H$ ) oder der elektrischen Feldstärke  $E$  muss jeweils die geeignete Messsonde verwendet werden; eine Umrechnung zwischen beiden Größen ist nicht möglich. Bis 100 MHz sind auch kombinierte Sonden erhältlich.

Bei Messungen an niederfrequenten Quellen befindet man sich fast ausschließlich im Nahfeld, deshalb müssen beide Feldkomponenten gemessen und beurteilt werden. Industrielle Feldquellen erzeugen häufig nur eine der beiden Feldarten, sodass man sich – die korrekte Information vorausgesetzt - auf die Messung der jeweils relevanten Größe beschränken kann.

#### **Breitbandmesstechnik**

Breitbandmessgeräte zeigen einen Gesamtwert für die auftretenden Immissionen innerhalb eines durch das Messgerät vorgegebenen Frequenzbereiches an. Es ist nur dann eine zweifelsfreie Zuordnung der auftretenden Immissionen zu den vorhandenen Emittenten möglich, wenn angenommen werden kann, dass der betrachtete Emittent die Immissionen vor Ort wesentlich dominiert.

Bei Verwendung isotrop messender Sonden sollen die Signale der drei Sensoren unter Berücksichtigung der Phasenlage (phasentreu) zusammengeführt werden, sodass die das Ergebnis den wahren Spitzenwert der resultierenden Feldstärke wiedergibt. Eine

reine Betrags- Addition der drei Kanäle führt immer zu einer konservativen Abschätzung der Gesamtexposition.

Die „Weighted Peak Methode im Zeitbereich“ ist ein Bewertungsverfahren, das mittels Breitbandmesstechnik umgesetzt werden kann, da die Signale ebenfalls über einen ausgedehnten Frequenzbereich erfasst werden und phasentreu zusammengeführt werden. Im Signalweg können Filterstufen integriert sein, die den Verlauf der frequenzabhängigen Grenzwerte annähernd nachbilden und über den korrekten Phasenverlauf verfügen. Der Spitzenwert des resultierenden Signals repräsentiert den Expositionsindex und stellt somit den Grad der Feldbelastung relativ zum Grenzwert dar. Dieses Verfahren kann auch für pulsformige bzw. nicht- sinusförmige Signale geeignet wie diese z.B. beim Widerstandsschweißen auftreten.

Die Verwendung der Weigthed Peak Methode wird in der IEC 61786 zumindest bei Mehrfrequenz- (Puls-) Feldern empfohlen, da diese Methode bei geringem Aufwand eine gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse bietet und unter den verglichenen Methoden am wenigsten zur Fehlbewertung (Über-, Unterbewertung) tendiert.

Bei geeigneter Konstruktion der Filter kann die Weighted Peak Methode mittels Fourier Transformationen ausgeführt werden. Sofern die komplex-wertige Übertragungsfunktion verwendet wird, werden dieselben Ergebnisse erzielt. In diesem Fall findet eine Fourier-Transformation und deren Inverse Anwendung; dieses ist jedoch nicht gleichbedeutend mit einer frequenzselektiven Messtechnik.

### **Frequenzselektive Messtechnik**

Die frequenzselektive Messtechnik basiert auf der Fourier-Transformation der mit einer Messsonde aufgenommenen Signale. Die korrekte Auslegung moderner Spektrumanalysatoren erfordert bei dessen Einstellungen (Abtastrate, Auflösungsbandbreite etc.) keine Vorab- Kenntnisse des Messsignals.

Im Spektrum werden die Amplituden aller Signalkomponenten dargestellt, jedoch geht deren Phaseninformation verloren. In Bezug auf eine Expositions- Beurteilung ist es hilfreich, wenn das Messgerät die frequenzabhängigen Grenzwerte berücksichtigen kann und das Spektrum zusätzlich als gewichtetes Spektrum darstellt.

In beiden Fällen führt die Verwendung der Summenformel aufgrund der fehlenden Phaseninformation zu einer konservativen (Über-) Abschätzung des Expositionsindex. Fehlerfrei lässt sich lediglich der Effektivwert der Gesamtbelastung bestimmen, der jedoch für die (Reiz-) Wirkung durch niederfrequente Signale nicht von Bedeutung ist.

### **Einflussgrößen und Unsicherheit**

Während die Messung der magnetischen Feldstärke in sehr geringem Maße von der Umgebung abhängig ist, muss bei der Messung der elektrischen Feldstärke vermieden werden, dass die Messergebnisse durch die feldverzerrende Wirkung von Personen oder Gegenständen, z. B. Messleitungen, leicht veränderliche Bodenstrukturen und leichtveränderlicher Bewuchs, unzulässig beeinflusst werden.

Geräte zur Messung der elektrischen Feldstärke werden entweder auf einem Stativ positioniert oder mittels einer nicht leitfähigen Verlängerung ins Feld gehalten und z.B. über eine Lichtwellenleiter- Verbindung aus der Ferne abgelesen.

Magnetische Felder werden nur durch Objekte aus ferromagnetischen Material (Stahlträger, Armierungen, Blechtüren und -bedachungen, Fahrzeuge) beeinflusst. Personen beeinflussen das magnetische Feld nicht, so dass die Messgeräte vom Messenden direkt ins Feld gebracht werden dürfen.

### 9.1.3 Messgeräte für hochfrequente Felder

Für die Messung der elektrische Feldstärke  $E$ , der magnetische Feldstärke  $H$  oder die Leistungsflussdichte  $S$  gibt es jeweils geeignete Messsonden. Die Feldmesssonde muss der zu messenden physikalischen Größe entsprechend ausgewählt werden. Bis zu etwa 100 MHz sind auch kombinierte Sonden erhältlich, die die Sensoren für beide Feldgrößen enthalten.

Die in Messgeräten häufig anzutreffende Umschaltung zwischen elektrischer und magnetischer Feldstärke beruht lediglich auf einer Umrechnung, deren Gültigkeit im Einzelfall der Messsituation bedacht werden muss.

Die Messwertaufnahme an nur einem Volumenpunkt ist häufig nicht repräsentativ für die in einem Volumen vorhandene mittlere oder maximale Immission. Deshalb kommt zur Bestimmung über ein Raumvolumen die Punktraster- oder die Schwenkmethode zur Anwendung.

Dabei hat sich die Schwenkmethode nicht nur in Deutschland zur Bestimmung der maximalen Immissionen innerhalb eines Raumbereichs als Standardmethode etabliert und wird auch vom LAI empfohlen [44]. Auf normativer Ebene ist sie im normativen Anhang der [74] aufgeführt; eine Gegenüberstellung mit anderen Verfahren wurde von METAS [94] veröffentlicht.

Einen umfassenden Überblick und praktische Hinweise zur Bestimmung hochfrequenter elektromagnetischer Immissionen in der Nachbarschaft von Funkkommunikations-Basisstationen sind in [74] enthalten. Die darin enthaltenen Informationen sind für alle Messungen von Hochfrequenz-Quellen von Belang.

Eine gestraffte Übersicht mit praktische Hinweisen zur Messung im Frequenzbereich über 10 MHz wurde in [95] veröffentlicht.

#### Breitbandmesstechnik

Die traditionell eingesetzten Sonden mit flachem Frequenzgang werden mit dem Ziel entwickelt, eine möglichst gleichmäßige Empfindlichkeit auf elektromagnetische Feldstärke über den nutzbaren Frequenzbereich zu erreichen.

Derartige Sonden zeigen das Ergebnis in Feldstärke- Einheiten oder alternativ als Leistungsflussdichte an. Für eine Beurteilung der Einhaltung von Grenzwerten muss die Frequenz des fraglichen Signals bekannt sein, damit der zutreffende Grenzwert herangezogen werden kann.

Sind die Grenzwerte im zu untersuchenden Frequenzbereich gleich, so können die resultierenden Feldstärken direkt gemessen werden.

Arbeiten die Feldquellen in Frequenzbereichen mit unterschiedlichen Grenzwerten, so darf mit breitbandigen Geräten nur bei Einzelbetrieb der Feldquellen gemessen werden. Alternativ ist der niedrigste im Frequenzbereich vorkommende Grenzwert zur Bewertung heranzuziehen

Alternativ kommen frequenzbewertete Sonden (shaped probes) zum Einsatz: Bei diesen wird mittels integrierter Filter der Empfindlichkeitsverlauf über die Frequenz möglichst genau an den umgekehrt proportionalen Verlauf der Grenzwertkurve angepasst. Derartige Sonden zeigen den Expositionsindex<sup>8</sup> auch ohne jede Kenntnis der vorherrschenden Frequenzen direkt an und erleichtern dadurch die Beurteilung bei Immissionen unterschiedlicher Frequenzen und/oder Quellen deutlich.

---

<sup>8</sup> Der Expositionsindex hochfrequenter Messsonden stellt das leistungsbezogene Verhältnis von Messwert und Grenzwert dar. Der Wert eins (100 %) entspricht dem Erreichen des Grenzwerts, kleinere Werte einer Unterschreitung des Grenzwertes.

## **Frequenzselektive Messtechnik**

Frequenzselektive Messungen erlauben die Ermittlung von Immissionen bei jeder einzelnen Funkfrequenz und damit die Zuordnung der Immissionen zu den jeweils vorhandenen Emittenten. Entsprechend ist es möglich, Auskunft darüber zu geben, welche Anteile an einer Gesamtmission durch spezielle (Funk-) Anwendungen vor Ort verursacht werden. Die allgemein auftretenden Immissionen sind oftmals so gering, dass sie nur noch mit frequenzselektiven Messungen ermittelt werden können, da diese Messsysteme eine deutlich bessere Messempfindlichkeit besitzen als Breitbandmessgeräte.

Anstelle einer Kombination von klassischem Spektrum Analysator und („einachsiger“) Antenne, bietet sich die Verwendung von Geräten mit isotrop messender („dreiachsiger“) Antennen an. Hierdurch wird die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen merklich verbessert, da andernfalls eine mit Richtcharakteristik behaftete Antenne in verschiedenste Richtung und Polarisationen gebracht werden muss.

Frequenzselektive Messgeräte können mit zusätzlichen Messalgorithmen ausgestattet sein, die eine Analyse der heutzutage verwendeten Modulationsverfahren, in Hinblick auf die höchste Anlagenauslastung wirksam unterstützen.

Grundlagen und praktische Hinweise zur Durchführung derartiger Messungen wurden in verschiedenen Dokumenten von BUWAL und Fa. Narda veröffentlicht. Ein Leitfaden für die Einstellung des Spektrumanalysators, sowie der Messung modulierter Signale ist in [74] enthalten.

## **Einflussgrößen und Unsicherheit**

Bei jeder Messung ist unter Berücksichtigung der Frequenz und der Ausdehnung der Feldquelle zu prüfen, ob man sich noch im reaktiven Nahfeld der Strahlungsquelle(n) befindet, da in diesem Fall sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld zu messen sind und der Grenzwertvergleich für beide Messergebnisse getrennt durchzuführen ist.

Außerhalb des reaktiven Nahfeldes ist es hingegen ausreichend, nur eine der beiden Feldkomponenten (E oder H) zu bestimmen. Bei Bedarf kann ein unter dieser Bedingung gewonnenes Messergebnis in die jeweils andere Feldstärke sowie in die Leistungsflussdichte umgerechnet werden.

Hilfreiche Formeln zur Bestimmung des Grenzabstandes zum reaktiven Nahfeld finden sich beispielsweise in Kapitel A.1.3 der [74].

Isotrope Messsonden und isotrope Antennen empfangen Signale aus allen Richtungen gleichermaßen, sodass auch möglicherweise vorhandene Reflexionen das Messergebnis abhängig von Abstand und Frequenz sowohl verdoppeln als auch auslöschen können. Reflexionen treten beispielsweise durch bauliche Gegebenheiten, durch Bewuchs oder auch am Körper des Benutzers auf. Die Messumgebung sollte unter diesen Gesichtspunkten aufmerksam betrachtet werden; durch moderate Variation des Messortes kann man sich einen Eindruck über die Messwertänderungen verschaffen und dieses bei der Beurteilung der Messergebnisse berücksichtigen.

Die das Messgerät bedienende Person soll darauf achten, dass sie sich während der Messung nicht zwischen Feldquelle und Feldsonde bzw. Messantenne befindet und sich keine weiteren Personen im Bereich des Messortes befinden.

Jeder leitfähige Gegenstand, z.B. Metallverkleidungen, Zäune oder Gitter können durch das zu messende elektromagnetische Feld angeregt werden und ihrerseits als Sekundärstrahler wirken. Ebenso kann der zu geringe Abstand zwischen Messsonde und leitfähigen Körper zu einer kapazitiven Verkopplung kommen, die das

Messergebnis verfälscht. Als Mindestabstand wird empfohlen, den doppelten Durchmesser der Messsonde nicht zu unterschreiten.

Metallische Aufkleber wie z.B. Inventar- Kennzeichen in der Nähe der Sensoren einer Messsonde wirken frequenzselektiv und verfälschen unter Umständen das Messergebnis.

Sowohl bei frequenzselektiven als auch bei Breitbandmessungen ist sicherzustellen, dass der ermittelte Feldstärkewert in geeigneter Weise proportional zur Wurzel der vom Körper absorbierten Leistung ist. Die üblichen Modulationsarten wie Amplitudenmodulation (niedriger Modulationsgrad), Frequenzmodulation haben nur geringen Einfluss auf das Messergebnis. Problematisch gestaltet sich hierbei die Messung von Immissionen, verursacht durch Signale mit großem Crestfaktor, z.B. von UMTS-, LTE- DAB-, DVB-T Sendern, Radarquellen oder aber bei der Immission durch Signale mehrerer Frequenzen.

Bei frequenzselektiven Messungen ist die korrekte RMS-Erfassung durch geeignete Einstellung des Messgerätes sicherzustellen.

Bei Breitband-Feldsensoren kann es in den beschriebenen Situationen bereits innerhalb des spezifizierten Messbereichs zu einer Verfälschung des Anzeigewertes gegenüber dem RMS-Wert kommen. Außerhalb dieses vom Hersteller spezifizierten "True-RMS"- Bereichs kann es zu einer Über-, aber auch zu einer Unterbewertung der Immission kommen [95].

Bei der Messung pulsmodulierter Felder mit Thermokoppler-Feldsonden, insbesondere an Radaranlagen, sollte der Anzeigewert 1/10 des spezifizierten Messbereichs nicht überschritten, damit die Impuls-Spitzenleistung bei einem typischerweise vorkommenden Signal die Messsonde nicht bleibend zerstören (Hinweise des Herstellers beachten!).

Eine Betrachtung zu Messunsicherheiten befindet sich in z.B. [70].

#### **9.1.4 Prüfung und Kalibrierung von Messgeräten**

Regelmäßig, vor und nach wichtigen Messungen sollte die korrekte Funktion des Messgerätes überprüft werden. Dazu stehen in der Regel ein Selbsttest beim Einschalten des Gerätes zur Verfügung, der jedoch nur vereinzelt auch den Test der Messsonde umfasst. Zumeist wird deren Überprüfung mittels gesonderter Testquellen, durch Vergleich mit einem weiteren Messgerät oder durch die nochmalige Messung aus vorherigen Messungen bereits bekannter Signale vorgenommen.

Sinnvoll ist auch die Teilnahme an Ringmessungen und Vergleichsmessungen, die in regelmäßigen Abständen von verschiedenen Institutionen angeboten werden. Hierdurch wird sowohl das Messgerät als auch die durch die Bedienerperson bestimmten Einflüsse in zweckmäßiger Weise bestimmt.

In regelmäßigen Abständen sollte eine der Anwendung angemessene Kalibrierung des Messgerätes, z. B. nach IEC 61786 [73] oder IEC 62232 [74] durchgeführt werden. Der Umfang und das Verfahren der Kalibrierung muss der Anwendung (z. B. Überblicksmessung, Frequenzbereich) angemessen gewählt und mit der Kalibrierstelle vereinbart werden. Dies umfasst z. B. auch Festlegungen bzgl. der bei der Kalibrierung zu berücksichtigenden Frequenzstützstellen in Abhängigkeit der zu beurteilenden EMF-Quelle. Eine Übersicht über akkreditierte Kalibrierstellen kann bei der [DAkkS](#) mit den Sachgebietsnummer, z. B. „K012F“ für elektrische Feldstärke und „K02B“ für magnetische Feldstärke, eingesehen werden.

Je nach Bedarf des Anwenders sollte die Kalibrierung auf das internationale Einheitensystem SI zurückführbar sein, da anderenfalls die Anerkennung der Messergebnisse zweifelhaft ist.

Als Ergebnis einer Kalibrierung weist der Kalibrierschein die Messwerte, einschließlich deren Unsicherheit aus. Dabei handelt es sich um die Unsicherheit des Kalibrierergebnisses, die jedoch um die Unsicherheit des Messergebnisses beim Anwender. Um letztere zu bestimmen sind weitere Einflüsse, z.B. die Reproduzierbarkeit, die Isotropie etc. quantitativ abzuschätzen.

## 9.2 Größen und Größenordnungen

**Zur Umrechnung häufig verwendeter Größen sind folgende Angaben oft hilfreich:**

$$1 \text{ T (Tesla)} = 10000 \text{ G (Gauss)}; 1 \text{ G} = 100 \mu\text{T}$$

$$1 \text{ T} \triangleq 0,796 \cdot 10^6 \text{ A/m}; 1 \text{ A/m} \triangleq 1,257 \mu\text{T (für biologisches Gewebe)}$$

$$[\text{B} = \mu_0 \text{ H}; \mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{s}/(\text{A} \cdot \text{m})]$$

$$1 \text{ mW/cm}^2 = 10 \text{ W/m}^2$$

$$1 \text{ mW/cm}^2 = 0 \text{ dBm/cm}^2$$

$$1 \mu\text{V/m} = 0 \text{ dB}\mu\text{V/m}; 1 \text{ V/m} \triangleq 120 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

$$1 \text{ W/m}^2 \triangleq 19,42 \text{ V/m} \triangleq 0,052 \text{ A/m}; 0,15 \text{ mW/m}^2 \triangleq 0,238 \text{ V/m}$$

$$[\text{S} = \text{Z}_0 \text{ H}^2; \text{S} = \text{E}^2/\text{Z}_0; \text{Z}_0 = 377 \Omega \text{ (unter Fernfeldbedingungen)}]$$

### Größenordnungen:

Frequenz:

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ MHz} = 10^3 \text{ kHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ GHz} = 10^3 \text{ MHz} = 10^6 \text{ kHz} = 10^9 \text{ Hz}$$

elektrisches Feld:

$$1 \text{ kV/m} = 10^3 \text{ V/m}$$

magnetisches Feld:

$$1 \text{ nT} = 10^{-3} \mu\text{T} = 10^{-6} \text{ mT} = 10^{-9} \text{ T}$$

$$1 \mu\text{T} = 10^{-3} \text{ mT} = 10^{-6} \text{ T}$$

$$1 \text{ mT} = 10^{-3} \text{ T}$$

## 10 Adressen

### 10.1 Adressen in Deutschland

Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BGETEM),  
Gustav-Heinemann-Ufer 130, 50968 Köln

[www.bgetem.de](http://www.bgetem.de)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS),  
Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Oberschleißheim

[www.bfs.de](http://www.bfs.de)

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA),  
Friedrich-Henkel-Weg 125  
D-44149 Dortmund

[www.baua.de](http://www.baua.de)

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS),  
Scharnhorststr. 34-37, 10115 Berlin

[www.bmas.de](http://www.bmas.de)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU),  
Alexanderplatz 6, 10178 Berlin

[www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen,  
Tulpenfeld 4, 53113 Bonn

[www.bundesnetzagentur.de](http://www.bundesnetzagentur.de)

Gewerbeaufsichtsamt Hannover,  
Göttingerstraße 14, 30449 Hannover

[www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de](http://www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de)

Helmholtz-Institut, RWTH Aachen  
Pauwelstraße 20, 52074 Aachen

[www.hia.rwth-aachen.de](http://www.hia.rwth-aachen.de)

Institut für Rundfunktechnik,  
Floriansmühlstraße 60, 80939 München

[www.irt.de](http://www.irt.de)

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich Str. 160, 86179 Augsburg

[www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz  
Kaiser-Friedrich Straße 7, 55116 Mainz  
[www.lft.lrp.de](http://www.lft.lrp.de)

Rundfunk-Betriebstechnik,  
Wallensteinstraße 119, 90431 Nürnberg  
<http://www.rbt-nbg.de>

## **10.2 Adressen in Österreich**

Seibersdorf Labor GmbH  
Forschungszentrum, A-2444 Seibersdorf  
[www.seibersdorf-laboratories.at](http://www.seibersdorf-laboratories.at)

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA),  
Adalbert-Stifterstraße 65, A-1201 Wien  
[www.auva.at](http://www.auva.at)

Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR)  
Mariahilfer Str. 77-79, A-1060 Wien  
[www.rtr.at](http://www.rtr.at)

## **10.3 Adressen in der Schweiz**

Schweizerische Unfallversicherung (SUVA),  
Postfach 4358; CH-6002 Luzern  
[www.suva.ch](http://www.suva.ch)

Bundesamt für Kommunikation (BAKOM),  
Zukunftstrasse 44, Postfach 256, CH-2501 Biel  
[www.bakom.admin.ch](http://www.bakom.admin.ch)

Bundesamt für Umwelt (BAFU).  
CH-3003 Bern  
[www.bafu.admi.ch](http://www.bafu.admi.ch)

## 11 Abkürzungen und Glossar

Die hier verwendeten Erläuterungen von Fachbegriffen wurden unter Verwendung und mit freundlicher Genehmigung des Glossars des EMF-Portals ([www.emf-portal.de](http://www.emf-portal.de)) erstellt. Für Begriffe, die hier aus Platzgründen nicht oder nur in gekürzter Form dargestellt sind, wird auf eben diese Institution verwiesen.

### Allgemeinbevölkerung

Gesamtheit der Personen in der Bevölkerung, welche Personen jeden Alters, inklusive Schwangere und deren ungeborene Kinder, sowie möglicherweise besonders gefährdete Personen wie (chronisch) Kranke etc. einschließt. Expositionssituationen sind den Betroffenen mangels konkreter Unterweisung möglicherweise nicht vollumfänglich bewusst (vgl. *Arbeitnehmer*).

### Aneurysma

In der Medizin bezeichnet Aneurysma die örtlich begrenzte krankhafte Wandausbuchtung (Erweiterung des Querschnitts) eines Blutgefäßes oder der Herzwand.

### Arbeitnehmer

Arbeitnehmer, in Österreich auch unselbständig Beschäftigte oder Dienstnehmer genannt, stellen gegen Entgelt einem Arbeitgeber ihre Arbeitskraft zur Verfügung. Bei dieser Tätigkeit gelten diverse arbeitsrechtliche und arbeitsschutztechnische Bestimmungen. Arbeitnehmer müssen für die Tätigkeiten geeignet sein, sowie über diese und gegebenenfalls nötige Schutzmaßnahmen unterwiesen sein, was eine wesentliche Unterscheidung zu Expositionssituationen der Allgemeinbevölkerung darstellt (vgl. *Allgemeinbevölkerung*).

### Autonomes Nervensystem

Ist der Teil des peripheren Nervensystems, der für die Steuerung unwillkürlicher Funktionen, wie z. B. Herzfrequenz, Kontraktionen der glatten Muskulatur und Drüsensekretion zuständig ist. Das kaum willentlich beeinflussbare, autonome Nervensystem besteht aus dem Sympathikus, dem Parasympathikus und Eingeweidenervensystem (enterisches Nervensystem).

### Berührungsspannung

Spannung zwischen leitfähigen Teilen, wenn diese gleichzeitig von einem Menschen berührt werden. Der Wert der Berührungsspannung ist stark von dem Körperwiderstand des mit diesem leitfähigen Teil im elektrischen Kontakt stehenden Menschen abhängig, vgl. *Kontaktstrom*.

### BMAS

Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) ist eine oberste Bundesbehörde der Bundesrepublik Deutschland. Es hat seinen Hauptsitz in Berlin und einen Nebensitz in der Bundesstadt Bonn.

### DECT

Abkürzung für Digital Enhanced Cordless Telecommunications. Kommunikationsstandard für schnurlose Telefone und zur kabellosen Datenübertragung bei Funkfrequenzen um 1,9 GHz. DECT ist primär für die Kommunikation von wenigen

Teilnehmern innerhalb eines Gebäudes ausgelegt und hat dort eine Reichweite von 30 m – 50 m. Dieser Standard wird in über 100 Ländern eingesetzt.

#### direkte Wirkungen

Im Zusammenhang mit Wirkungen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern werden alle jene Auswirkungen, die sich im menschlichen Gewebe ausbilden, direkte Wirkungen genannt (vgl. *indirekte Wirkungen*).

#### Dislokation

Als Dislokation wird die Lageänderung d. h. Verschiebung oder Verdrehung einer Körperstruktur, z. B. eines Organs oder eines Implantats bezeichnet.

#### Drehstrom

Als Drehstrom bzw. Dreiphasenwechselstrom wird in der Elektrotechnik eine Form von Mehrphasenwechselstrom benannt, die aus drei einzelnen Wechselströmen oder Wechselspannungen gleicher Frequenz besteht, die zueinander in ihren Phasenwinkeln fest um 120° verschoben sind.

#### Einwirkungsbereich

Der Einwirkungsbereich einer Anlage ist der Bereich, in dem die Anlage sich signifikant von den natürlichen und mittleren anthropogen bedingten Immissionen abhebende elektrische oder magnetische Felder verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen. In Deutschland beträgt die niederfrequente anthropogene Magnetfeldstärke im Mittel 0,1 µT und die elektrische Feldstärke weniger als 1 V/m.

#### Elektrische Feldstärke

Maß für die von einem elektrischen Feld ausgehende Kraftwirkung. Die elektrische Feldstärke wird in Volt pro Meter (V/m) gemessen.

#### Elektrische Ladung

Die elektrische Eigenschaft von Körpern, durch elektrische Felder Kräfte aufeinander auszuüben. Man unterscheidet positive und negative Elektrizitätsmengen. Maßeinheit der elektrischen Ladung ist das Coulomb (C).

#### Elektrische Leitfähigkeit

Die Fähigkeit eines Stoffes, elektrischen Strom zu leiten. Die elektrische Leitfähigkeit ist der Kehrwert des elektrischen Widerstands. Die SI-Einheit ist Siemens je Meter (S/m).

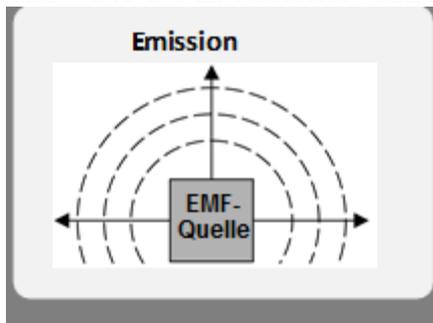
#### Elektromagnetische Hypersensibilität und elektromagnetische Hypersensitivität

Mit den Begriffen Elektrosensibilität, Elektrosensitivität und elektromagnetische Hypersensitivität wird im allgemeinen Sprachgebrauch die besondere Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern bezeichnet. Zwei unterschiedliche Bedeutungen sollten dabei voneinander abgegrenzt werden: 1. Elektrosensitivität (im Englischen electrosensitivity) im Sinne der Wahrnehmungsfähigkeit für elektrische Vorgänge und elektromagnetische Felder schon bei einer geringeren Stärke als der Durchschnitt der Bevölkerung. 2. Elektrosensibilität (im Englischen electrosensibility) oder elektromagnetische Hypersensitivität im Sinne der subjektiv empfundenen besonderen Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten

elektromagnetischen Feldern. Dabei werden elektromagnetische Felder als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerzen, Schlafstörung, Konzentrationsschwäche, Müdigkeit, Schwindelgefühl oder Haut-Probleme gesehen.

### Emission

Emissionen sind die von einer Anlage, von einem Gebäude oder einem Verkehrsmittel in die Umwelt, also Boden, Wasser oder Luft, abgegebenen Stoffe. Sie können gasförmig, flüssig oder fest sein. Wärme, Strahlung, Geräusche und Gerüche werden ebenfalls als Emissionen bezeichnet.



### Epidemiologische Studie

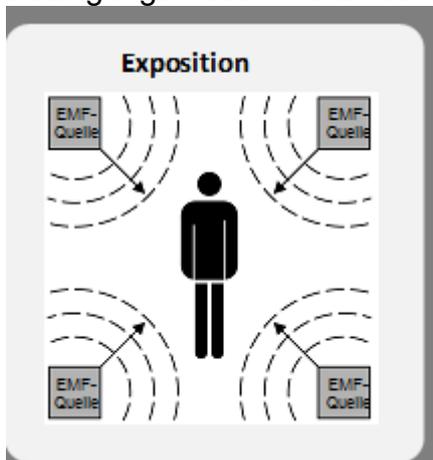
Studie zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Exposition gegenüber einem Risikofaktor und dem Auftreten einer Krankheit. Epidemiologische Studien sind reine Beobachtungsstudien und es werden in der Regel keine studienbedingten Interventionen an Studienteilnehmern vorgenommen.

### Erdung

Die Erdung ist die Gesamtheit aller Mittel und Maßnahmen zum Erden, d. h. zur Ableitung von elektrischen Strömen in den Erdboden. Erdung ist gleichbedeutend mit Potentialausgleich zu Erdpotential, also der Vermeidung von Gefahr durch Potentialunterschiede (elektrische Spannung). Dadurch können auch Aufladungen, die durch Induktion und Influenz in einem elektromagnetischen Feld entstehen, reduziert werden.

### Exposition

Es wird von Exposition gesprochen, wenn ein Organismus bestimmten Bedingungen wie elektromagnetischen Feldern, ionisierender Strahlung, extremen Temperaturbedingungen oder infektiösem Material ausgesetzt ist.



### Fernfeld

Der Bereich, in dem der Abstand von einer abstrahlenden Antenne größer als die Wellenlänge des abgestrahlten elektromagnetischen Feldes ist. Im Fernfeld stehen die elektrische und magnetische Feldkomponenten E und H und die Ausbreitungsrichtung senkrecht zueinander. Die Richtcharakteristik einer Antenne ist im Fernfeld von der Entfernung unabhängig.

### Ferromagnetisch und Ferromagnetismus

Die Eigenschaft eines Materials, die im Alltag als magnetisch bezeichnet wird. Bestimmte Materialien besitzen winzige "innere Magnete", die sich in Gegenwart eines äußeren Magnetfeldes durch dessen Wirkung und gegenseitige Beeinflussung in Richtung des äußeren Magnetfeldes ausrichten. Hierdurch entsteht eine Anziehung zwischen dem Material und dem Magneten. Man unterscheidet weichmagnetische und hartmagnetische Materialien. Bei weichmagnetischem Material verschwindet die magnetische Eigenschaft, sobald es aus dem äußeren Magnetfeld entfernt wird bis auf einen kleinen Rest, die so genannte Remanenz. Bei hartmagnetischen Materialien bleibt die innere Ausrichtung der Elementarmagnete und damit auch die magnetische Eigenschaft auch nach Abschalten des äußeren Feldes erhalten. Dieses Verhalten - sowohl weich- als auch hartmagnetisch - wird als magnetische Hysterese bezeichnet. Allerdings tritt dieses Verhalten nur bis zu einer bestimmten Temperatur, der Curie-Temperatur auf. Wird diese überschritten, wird das Material paramagnetisch. Ferromagnetische Materialien sind z.B. Eisen, Kobalt und Nickel.

### Frequenz

Anzahl der Schwingungen, Durchläufe (allgemein Wiederholungen eines wiederkehrenden Ereignisses) pro Zeiteinheit, z.B. bei einer Pendelbewegung oder einem Wellenvorgang. Einheit: Hertz (Hz),  $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$ .

### Gleichstromanlagen

Sind ortsfeste Anlagen nach 26. BImSchV zur Fortleitung und Umrichtung, einschließlich der Schaltfelder, von Gleichstrom mit einer Nennspannung von 2 000 Volt oder mehr.

### HGÜ

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung ist ein Verfahren der Energieübertragung mit Gleichstrom bzw. mit Gleichspannung.

### Hochfrequenzanlagen

Sind ortsfeste Anlagen nach 26. BImSchV, die elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 9 Kilohertz bis 300 Gigahertz erzeugen, ausgenommen sind Anlagen, die breitbandige elektromagnetische Impulse erzeugen und der Landesverteidigung dienen.

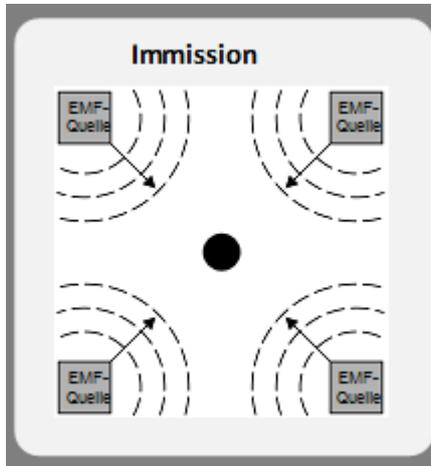
### ICNIRP

Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung. Eine 1992 gegründete, unabhängige Organisation von internationalen Experten, die offiziell von der WHO als Beratungsgremium anerkannt ist und Empfehlungen zu Grenzwerten zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung ausarbeitet. Der Vorläufer der ICNIRP

war International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (IRPA/INIRC).

### Immission

Als Immissionen werden mit Blick auf die Umweltgesetzgebung Einwirkungen von Störfaktoren aus der Umwelt auf Mensch und Natur bezeichnet. Das können ebenso Schadstoffe in der Luft als auch elektrische und magnetische Felder oder Geräusche sein.



### Implantat

Ein Implantat ist ein Körperhilfsmittel, das dazu bestimmt ist, durch einen klinischen Eingriff ganz oder teilweise in den menschlichen Körper eingeführt zu werden und nach dem Eingriff mindestens 30 Tage dort zu verbleiben.

### Indirekte Wirkungen

Im Gegensatz zu den direkten Wirkungen sind indirekte Wirkungen von elektromagnetischen Feldern jene, bei denen eine Wirkung auf Gegenstände außerhalb des menschlichen Körpers indirekt Auswirkung auf den Menschen hat. Beispiele dafür sind die Kraftwirkung auf magnetisierbares Material (welches zu mechanischen Verletzungen führen kann), Auf- und Entladungsvorgänge (die zu Funkenbildung und Brandgefahr führen können), sowie die Beeinflussung von wichtigen medizinischen Geräten, Implantaten oder Körperhilfsmitteln (vgl. *direkte Wirkungen*).

### Induktion

Entstehung eines elektrischen Feldes in einem elektrisch leitenden Material durch Bewegung des Gegenstands oder Änderung des magnetischen Flusses.

### in vitro

im Glas; Bezeichnung für Untersuchungen oder Eingriffe, die außerhalb des lebenden Organismus durchgeführt werden (in vitro Studie).

### in vivo

Am lebenden Objekt ablaufend oder durchgeführt (biologische Vorgänge oder wissenschaftliche Experimente betreffend; daher z.B. *in vivo* Studie).

### kanzerogen, karzinogen

krebsauslösend, krebserzeugend.

### Kernspinresonanz

unter Resonanzbedingungen erfolgende Zustandsänderung von Atomkernen. In starken Magnetfeldern richten sich Atomkerne mit halbzahligen Kernspin entsprechend ihrem magnetischen Kernmoment in einer Vorzugsrichtung aus.

### Kohorten-Studie

Epidemiologische Studie, bei der die untersuchte Bevölkerungsgruppe durch ein gemeinsames Merkmal, z. B. eine bestimmte Alters- oder Berufsgruppe, gekennzeichnet ist.

### Kontaktstrom

Ein Kontaktstrom (auch berührt Berührungsstrom genannt) tritt auf, wenn eine Person einen Gegenstand mit anderem elektrischen Potential berührt, vgl. *Berührungsspannung*.

### Körperhilfsmittel

Ein Körperhilfsmittel ist ein medizinisch-technisches Gerät, das dem vollständigen oder teilweisen Ersatz von Körperteilen oder ausgefallenen Körperfunktionen dient.

### Körperstrom

Ein durch den Körper fließender Strom, der durch Induktion, Influenz oder Berühren leitfähiger Gegenstände hervorgerufen wird.

### Leistungsdichte

Die Leistungsdichte (auch öfter nicht ganz korrekt Leistungsflussdichte genannt) wird mit dem Formelzeichen  $S$  abgekürzt und in Leistung (Einheit Watt) pro Quadratmeter (also  $W/m^2$ ) angegeben und ist damit ein Maß für die Energie, die pro Zeiteinheit eine Fläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung einer elektromagnetischen Welle durchströmt.

### Leistungsflussdichte

Siehe *Leistungsdichte*.

### Magnetische Feldstärke

Maß für die von einem Magnetfeld ausgehende Kraftwirkung. Die magnetische Feldstärke wird in Ampere pro Meter (A/m) gemessen. Für das Magnetfeld wird jedoch meistens die Maßeinheit Tesla (T) der Flussdichte benutzt. Es gilt in Luft die Umrechnung:  $1 \text{ A/m} = 1,25 \text{ Mikro Tesla (Millionstel Tesla)}$ . In älteren Fachbüchern findet sich auch noch die Einheit Gauß (G). Hierfür gilt:  $1 \text{ A/m} = 12,5 \text{ mG (Tausendstel Gauß)}$ .  $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T} = 0,1 \text{ mT} = 100 \text{ } \mu\text{T}$ .

### Magnetische Flussdichte

auch magnetische Induktion genannt. Bezeichnung für die vektorielle Größe  $\vec{B}$ , die zusammen mit der magnetischen Feldstärke  $\vec{H}$  den magnetischen Zustand des Raumes vollständig beschreibt.

### Mutagen

Mutagene Stoffe sind Mutation auslösende Agenzien.

### Nahfeld

Der Bereich des elektromagnetischen Feldes, in dem die Entfernung von der abstrahlenden Antenne kleiner als die abgestrahlte Wellenlänge ist. Im Vergleich zum Fernfeld können die elektrische und magnetische Feldstärke im Nahfeld eine Phasendifferenz aufweisen und deshalb ist eine einfache Umrechnung zwischen den Feldgrößen elektrischer Feldstärke (E), magnetischer Feldstärke (H) und Leistungsflussdichte (S) nicht möglich. Im Nahfeld stellt nur der SAR-Wert ein sinnvolles Expositionsmaß dar.

### neurodegenerative Erkrankung

Erkrankung des Nervensystems, bei der Nervenzellen zerstört werden. Beispiele sind die Parkinson-Krankheit oder die Alzheimer-Krankheit.

### Neuroendokrines System

Alle Teile des Nervensystems, die an Produktion, Speicherung und Ausschüttung von Neurohormonen beteiligt sind.

### Niederfrequenzanlagen

Sind ortsfeste Anlagen nach 26. BImSchV zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität mit einer Nennspannung von 1 000 Volt oder mehr, einschließlich Bahnstromfern- und Bahnstromoberleitungen und sonstiger vergleichbarer Anlagen im Frequenzbereich von 1 Hertz bis 9 Kilohertz.

### Peripheres Nervensystem (PNS)

Der Teil des Nervensystems außerhalb des Gehirns und Rückenmarks. Das periphere Nervensystem übermittelt die sensorischen Informationen zum Zentralnervensystem (ZNS) und motorische Befehle vom ZNS zu den Skelettmuskeln und zu den inneren Organen.

### Potential

Begriff aus der Elektrizitätslehre zur Charakterisierung der Eigenschaften eines elektrischen Feldes. Das Potential an einem Punkt des elektrischen Feldes gibt an, welche Energie aufgewendet werden muss, um die Ladungseinheit (1 Coulomb) aus dem Unendlichen bis zu diesem Punkt zu transportieren. Die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten bezeichnet man als elektrische Spannung.

### Prädisposition

In der Medizin wird unter Prädisposition die ausgeprägte Anfälligkeit des Organismus zur Ausbildung einer Krankheit verstanden.

### Schutzgut

Als Schutzgut kann im Allgemeinen alles aufgefasst werden, was aufgrund seines materiellen oder ideellen Wertes vor einem Schaden geschützt werden soll. Beispiele sind das Schutzgut Mensch, Tier oder Boden.

### SAR, spezifische Absorptionsrate

Die spezifische Absorptionsrate beschreibt, wieviel Leistung pro Kilogramm Körpergewicht (bzw. biologischem Material) absorbiert wird (W/kg), wenn der Körper in einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld exponiert ist.

Die SAR kann lokal (z.B. bei Nutzung eines Mobiltelefons) oder auf den ganzen Körper (z.B. im Fernfeld einer Basisstation) bestimmt werden. Für die Allgemeinbevölkerung in Deutschland gelten als Grenzwerte für die Exposition des Ganzkörpers 0,08 W/kg und des Teilkörpers 2 W/kg (gemittelt über 10 Gramm Körpergewebe).

#### Sicherheitsfachkraft (SFK)

Arbeitgeber in Österreich haben Sicherheitsfachkräfte (Fachkräfte für Arbeitssicherheit) zu bestellen, entweder betriebsintern, oder durch die Inanspruchnahme externer Sicherheitsfachkräfte oder eines sicherheitstechnischen Zentrums. Als Sicherheitsfachkraft darf nur tätig werden, wer die entsprechende Fachausbildung erfolgreich abgeschlossen hat.

#### Sicherheitstechnisches Zentrum (STZ)

Gewerblicher Anbieter von sicherheitstechnischen Dienstleistungen unter Leitung einer Sicherheitsfachkraft gemäß österreichischem Arbeitnehmerschutzrecht

#### SSK

Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) ist das Beratungsgremium des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in allen Angelegenheiten des Schutzes vor ionisierenden und nicht-ionisierenden Strahlen. Die ehrenamtlichen Mitglieder der Kommission werden durch das BMUB berufen, sind unabhängig und nicht an Weisungen gebunden. Die Ergebnisse der Beratungen der Strahlenschutzkommission werden als naturwissenschaftliche und technische Empfehlungen oder Stellungnahmen an das BMU gerichtet.

#### Standortbescheinigungsverfahren

Standortbescheinigungen werden von der Bundesnetzagentur auf der Grundlage der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) erteilt. Sie ist nach BEMFV Voraussetzung für den Betrieb einer Sendeanlage mit einer Strahlungsleistung von mehr als 10 Watt EIRP und bescheinigt die erfolgreiche Überprüfung der ortsfesten Funkanlagen durch die Bundesnetzagentur.

#### Statische Felder

Statische Felder, oftmals auch Gleichfelder genannt, sind an einem Punkt im Raum ihrem Betrag und Richtung nach zeitunabhängig (gleichbleibend). Ein ruhender Permanentmagnet ist ein Beispiel eines statischen Magnetfeldes.

#### Stromdichte, elektrische Stromdichte

Die elektrische Stromdichte  $J$  ist die Ladungsmenge, die pro Zeiteinheit durch eine Fläche transportiert wird. Die Einheit ist Ampere pro Quadratmeter ( $A/m^2$ ).

#### Reizschwelle

Die minimale Stärke eines Reizes, die zur Auslösung einer Erregung oder Reizempfindung ausreicht.

#### Stromrichter

Stromrichter bzw. Konverter wandeln Wechselstrom in Gleichstrom um, damit elektrische Energie in Gleichstromtechnik in einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung an einen anderen Standort übertragen werden kann. Dort wird der Gleichstrom dann

wieder durch einen weiteren Stromrichter bzw. Konverter in Wechselstrom umgewandelt.

#### Teratologisch, teratogen

zu Missbildungen führend, Missbildungen hervorrufend.

#### Tesla

SI-Einheit der magnetischen Induktion oder Flussdichte.  $10^{-6}$  Tesla = 1  $\mu$ T.

#### Tumor

Geschwulst, Gewebswucherung.

#### Tumorzelle

aus normalen Körperzellen hervorgegangene, durch Änderung des Genoms (der genetischen Information der Zelle) entartete Zelle mit der Fähigkeit des autonomen (unkontrollierten) und progressiven Wachstums

#### Wirkungsmodell / Wirkmechanismus

Beschreibt die spezifisch biochemische Wechselwirkung, durch die elektromagnetische Felder oder biologisch aktive Substanzen in einem Organismus wirken. Bei einem Wirkungsmodell oder Wirkmechanismus werden die spezifischen Moleküle oder Signalwege (z.B. Genexpression, Rezeptor-Bindung) identifiziert.

#### VEMF

Die Verordnung Elektromagnetische Felder (VEMF) ist eine Verordnung im österreichischen Arbeitnehmerschutzrecht zu elektromagnetischen Feldern von 0 Hz bis 300 GHz.

#### WHO

Die WHO ist als Weltgesundheitsorganisation eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen, die sich mit der Gesundheit und dem Wohlbefinden aller Menschen befasst. Sie unterstützt die Länder in Gesundheitsfragen und überwacht und beurteilt die gesundheitliche Entwicklung, sie finanziert Programme zur Kontrolle der Ausbrüche von Infektions-Krankheiten sowie deren Vorbeugung und Behandlung und setzt Normen und Standards fest.

#### Zentrales Nervensystem, ZNS

Jener Teil des Nervensystems, der Gehirn und Rückenmark umfasst.