

4 Schutzkonzepte, Messmethoden und Risikokommunikation

4.1 Grenzwerte und Schutzmaßnahmen (GN)

- 4.1.1 Grenzwertkonzepte
- 4.1.2 ÖNORM-Grenzwerte
- 4.1.3 Anwendung der SAR-Basisgrenzwerte für die Expositions-
beurteilung von Mobiltelefonen
- 4.1.4 Schutzmaßnahmen

4.2 Risikowahrnehmung und Risikokommunikation (GN)

4.3 Messmethoden zur Feldstärkebestimmung

- 4.3.1 Breitbandmessungen (WES)
- 4.3.2 Frequenzselektive Messungen (WES)
- 4.3.3 SAR-Messungen (GN)

Literatur zu Kapitel 4

Anhang A) zu "Frequenzselektive Messungen"

4 SCHUTZKONZEPTE, - MESSMETHODEN UND RISIKOKOMMUNIKATION

4.1 Grenzwerte und Schutzmaßnahmen

4.1.1 Grenzwertkonzepte

Vorsorgeprinzip (Precautionary Principle)

Das Vorsorgeprinzip wurde ursprünglich für Umweltfragen in Europa in den späten 70-er Jahren wie die Verschmutzung der Meere durch Versenkung von Abfällen geschaffen, wo man kaum wissenschaftliche Daten als Basis für eine Politik besitzt. Es wurde dann auf den Schutz gegenüber Gesundheitsrisiken aus der Umwelt ausgedehnt, für die teilweise umfangreiche toxikologische und epidemiologische Daten vorliegen, wenn auch Lücken und Inkonsistenzen gegeben sein mögen. Es bildet die Grundlage des Umweltgesetzes im Europäischen Vertrag von 1992 und spielt eine zunehmende Rolle bei der Entwicklung in der Politik der Umweltgesundheit aber auch der Sicherheitspolitik. Die Frage ist, wie man das Vorsorgeprinzip mit der Beweiswürdigung, wie sie in der Wissenschaft üblich ist, in Einklang bringt. (Foster et al (00)).

Trotz der scheinbar breiten politischen Unterstützung führte das Vorsorgeprinzip zu endlosen Kontroversen, zum Teil deswegen weil seine Kritiker Entscheidungen, die sich darauf beriefen, als verdeckte Formen des Handelsprotektionismus interpretierten. Das größte Problem bei der Anwendung als politisches Werkzeug ist jedoch der weite Bereich seiner Interpretationsmöglichkeiten.

In seiner schärfsten Form kann man im Prinzip den Aufruf zum Nachweis der absoluten Sicherheit sehen, bevor neue Technologien eingeführt werden dürfen. Zum Beispiel stellt die Welt-Charta für die Natur aus dem Jahr 1982 fest, dass "wenn mögliche schädliche Effekte nicht vollständig verstanden werden, die Aktivitäten nicht fortgesetzt werden sollen." Bei buchstäblicher Interpretation kann keine neue Technologie dieser Forderung entsprechen.

Das Vorsorgeprinzip findet auch im Sicherheitsbereich Anwendungen, wie zum Beispiel bei staatlichen Maßnahmen gegen Terrorismus z.B. bei der Flugsicherung (Schneier 2008). Eine extreme Fortführung des Vorsorgeprinzips kann zum Worst Case – Denken führen. In diesem Zusammenhang wird Bruce Schneier zitiert: „There’s a certain blindness that comes from worst-case thinking. An extension of the precautionary principle, it involves imagining the worst possible outcome and the acting as if it were a certainty. It substitutes imagination for thinking, speculation for risk analysis, and fear for reason.“ (Schneier 2011).

In Kapitel 4.1.2 wird die Vornorm ÖNORM E8850 angesprochen. Diese Vornorm basiert weitgehend auf den Richtlinien der ICNIRP aus dem Jahr 1998, die von unabhängigen Experten auf Grund des vorliegenden wissenschaftlichen Schrifttums erstellt wurden. Bei Einhaltung der Grenzwertempfehlungen werden alle identifizierten Gefahren der Kurz- und Langzeitexposition vermieden, wobei in die Grenzwerte Sicherheitsfaktoren im Hinblick auf Unsicherheiten im Wissen und Unterschiede in der Empfindlichkeit verschiedener Teile der Bevölkerung eingerechnet wurden. Tatsächliche Expositionswerte liegen im Hinblick auf die Allgemeinbevölkerung fast immer unterhalb der Grenzwerte.

Obwohl die Expositionsgrenzwerte auf den höchstwertigen, derzeit vorliegenden Daten basieren, bleibt dennoch eine beträchtliche Unsicherheit und die Verunsicherung der Öffentlichkeit bestehen, insbesondere was die Langzeit- (chronische) Exposition gegenüber Umweltagenzien bei niedrigen

Pegeln betrifft. Eine solche Unsicherheit ist charakteristisch für alle Umweltfaktoren einschließlich EMF. Diese Unsicherheit kann auf mehreren Ebenen bestehen. Zum Beispiel kann eine solche für die Gefahrenschwelle bei bekannten schädlichen Agenzien gegeben sein. Dieser Unsicherheit wird mit der Anwendung von Sicherheitsfaktoren begegnet. Eine andere Form der Unsicherheit, die in Expositionsrichtlinien besonders schwierig berücksichtigt werden kann, ist die Möglichkeit, dass neue Technologien oder neue Expositionsformen mit unvorhergesehenen Gefahren verbunden sind.

Umsichtige Vermeidung

Die "**Umsichtige Vermeidung**" wurde ursprünglich als eine Risikomanagementstrategie für netzfrequente elektrische und magnetische Felder von der Forschergruppe Morgan, Florig und Nair an der Carnegie Mellon Universität in den USA entwickelt. In ihrem Bericht an das US Office of Technology Assessment im Jahre 1989 definierte sie "Umsichtige Vermeidung" als das Setzen von Maßnahmen, um Personen aus Feldern herauszuhalten, indem für Leitungen andere Routen gewählt und elektrische Systeme und Geräte umkonstruiert werden, wobei die damit verbundenen Kosten bescheiden sein müssen.

Seit damals hat sich die Anwendung der Umsichtigen Vermeidung in Richtung einfacher, leicht durchführbarer und billiger Maßnahmen zur Reduktion der Exposition gegenüber EMF entwickelt, **auch wenn ein Risiko nicht demonstriert werden kann**. Für die Begriffe "einfach, leicht durchführbar und billig" fehlt jedoch eine genauere Festlegung. Im Allgemeinen haben die Behörden das Prinzip nur bei neuen Anlagen angewendet, wo durch unbedeutende Modifikationen die Exposition der Öffentlichkeit verringert werden kann. In bestehende Anlagen wurde nicht eingegriffen, da dies im Allgemeinen mit hohen Kosten verbunden ist.

In diesem Zusammenhang wird aus der WHO Broschüre zitiert:

„Solange das Risiko nicht quantifizierbar ist, kann man unmöglich wissen, ob umsichtiges Vermeiden gerechtfertigt ist. Obwohl das Prinzip des umsichtigen Vermeidens für das Handeln von Individuen gedacht ist, wird es in manchen Ländern, wie zum Beispiel Schweden, auch als Grundlage für die öffentliche Gesundheitspolitik verwendet. Obwohl man umsichtiges Vermeiden wissenschaftlich nicht rechtfertigen kann, können einfache, preisgünstige Maßnahmen durchaus ein Mittel sein, um die Besorgnis in der Öffentlichkeit über die möglichen Auswirkungen einer Exposition durch elektromagnetische Felder auf die Gesundheit zu reduzieren.

Die Übernahme einer Politik des Umsichtigen Vermeidens wäre eine politische bzw. gesellschaftspolitische Entscheidung: Denn es gibt keine wissenschaftliche Begründung dafür, die Art und Weise, wie Elektrizität erzeugt und verteilt wird, zu ändern oder die bestehenden Telekommunikationssysteme zu verändern.“

Andere Methoden

Unter **ALARA** (ALARA- Prinzip "**As Low As Reasonably Achievable**", "so wenig wie mit vertretbarem Aufwand möglich") versteht man eine Politik zur Minimierung bekannter Risiken durch die Senkung der Expositionen auf so geringe Werte, als es vernünftigerweise unter Berücksichtigung der erforderlichen Kosten, der Technologien, des Nutzens für öffentliche Gesundheit, Sicherheit und anderer gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Belange möglich ist. ALARA wird im Allgemeinen im Zusammenhang mit dem ionisierenden Strahlenschutz angewendet, **wo die Grenzwerte nicht auf der Basis eines Schwellenwertes gesetzt werden, sondern gemäß eines "akzeptablen Risikos"**. Hier macht es nämlich Sinn, **ein Risiko, von dem man annimmt, dass es bei allen Pegeln gegeben ist**, unter empfohlene Grenzwerte zu senken, da die Frage, was akzeptabel ist, von verschiedenen Personen stark unterschiedlich gesehen werden kann.

ALARA wurde bislang für EMF-Expositionen nicht angewendet. **Es ist in der Tat keine Politik, die für EMF anwendbar ist, da bei niedrigen Expositionspegeln keine Dosis-Wirkungsbeziehung gesichert ist und kein Wirkungsmechanismus bekannt ist, auf Grund dessen bei niedrigen Pegeln Gesundheitsprobleme verursacht werden könnten.** (WHO (00)).

Unter NOEL versteht man Null Observed Effect Level. Die Exposition (Grenzwerte) werden niedriger gehalten als die Bedingungen, bei denen noch Effekte beobachtet worden sind. Dieses Konzept ist in der Praxis im Normalfall nicht umsetzbar.

Sehr oft werden Grenzwerte nach dem Schwellenwertprinzip abgeleitet. Die Exposition wird auf Werte unterhalb eines Schwellenwertes für auszuschließende Wirkungen beschränkt (siehe auch Kapitel 3).

ALARP bedeutet As Low As Reasonably Practicable und ist dem ALARA Konzept sehr ähnlich. Die Exposition wird so niedrig gehalten, wie mit vernünftigem Kosten/Nutzen Aufwand wirtschaftlich möglich. Dieses Konzept unterscheidet sich z.B. von dem reinen Minimierungskonzept, wo die Exposition auf das technisch machbare Ausmaß reduziert wird.

4.1.2 Österreichische Grenzwerte Im Jahr 2017 wurde die OVE Richtlinie R 23-1 „Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz. Teil 1: Begrenzung der Exposition von Personen der Allgemeinbevölkerung“ fertiggestellt. Die berufliche Exposition wird durch die Verordnung über elektromagnetische Felder (VEMF) zur nationalen Umsetzung der Richtlinie 2013/35/EU geregelt. Beide ersetzen die im Jahr 2006 fertiggestellte Vornorm ÖVE/ÖNORM E8850 und basieren im Hochfrequenzbereich weitgehend auf den Richtlinien der ICNIRP im Jahr 1998. Daher werden im Folgenden primär die Richtlinien der ICNIRP diskutiert und anschließend die Unterschiede zwischen der Richtlinie und der OVE Richtlinie.

Die ICNIRP Richtlinie

Die Internationale Kommission für den Schutz gegenüber nicht-ionisierender Strahlung (**ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection**) hat im April 1998 eine überarbeitete Richtlinie über den Schutz des Menschen vor elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich bis 300 GHz publiziert [*ICNIRP-Grenzwertempfehlungen (1998)*]. Das Dokument beinhaltet sogenannte **Basisgrenzwerte** und **Referenzwerte** (aus den Basisgrenzwerten abgeleitete Grenzwerte). **Basisgrenzwerte beziehen sich auf die eigentliche Wirkgröße im Körper, Referenzwerte beziehen sich auf physikalische Größen des elektromagnetischen Feldes, welche im praktischen Anwendungsfall einer Messung zugänglich sind.**

ICNIRP legt bei der Wahl der Grenzwerte in seinen Richtlinien ausschließlich gesundheitliche Überlegungen zugrunde. Sie ist der Ansicht, dass die Übersetzung der Richtlinien in rechtlich bindende Beschränkungen die Aufgabe der für den Schutz von Personen am Arbeitsplatz und der Allgemeinbevölkerung verantwortlichen Behörden ist. ICNIRP anerkennt, dass bei der Festlegung von Expositionsgrenzwerten verschiedene Bewertungen getroffen werden müssen. Dazu gehören auch eine Kosten-Nutzen-Analyse, die nationale Prioritäten in der Gesundheitspolitik berücksichtigt. Weiters können Überlegungen hinsichtlich der Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft notwendig werden.

Ziel der Veröffentlichung von ICNIRP ist nach eigener Aussage die Festlegung von Richtlinien zur Begrenzung der Exposition gegenüber EMF, die Schutz gegenüber bekannten schädlichen Gesundheitseffekten bieten. **Unter einem schädlichen Gesundheitseffekt versteht ICNIRP eine feststellbare Gesundheitsbeeinträchtigung beim Exponierten oder bei dessen Nachkommen.** Dies ist von einem biologischen Effekt zu unterscheiden, der zu einem schädlichen Gesundheitseffekt führen kann, aber nicht muss.

Zu den **gesicherten Effekten im NF-Bereich** gehören unmittelbare Kurzeffekte wie die Stimulation peripherer Nerven und Muskeln, Schocks oder Verbrennungen als Folge der Berührung leitfähiger Objekte. *Hinsichtlich möglicher Langzeiteffekte wie die Erhöhung des Krebsrisikos kam ICNIRP zum Schluss, dass die gegebene Datenlage nicht ausreicht, um als Grundlage für die Verfügung von Expositionsbeschränkungen verwendet werden zu können. Die epidemiologischen Untersuchungen hätten zwar Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen möglichen krebserzeugenden Effekten und 50/60 Hz-Magnetfeldern, deren Flussdichte wesentlich unter den in den Richtlinien empfohlenen Werten liegen, ergeben, diese Untersuchungen sind aber nicht überzeugend.* Im HF-Bereich sind es die **thermischen Effekte auf Grund der Absorption von elektromagnetischer Strahlung im menschlichen Gewebe**, die die Grundlage für die Festlegung der Grenzwerte bilden.

GRENZWERTKLASSEN nach ICNIRP

Zum Zweck des Schutzes von Personen vor wissenschaftlich gesicherten Gefährdungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder werden Grenzwerte angegeben, die nicht überschritten werden sollen. Dabei unterscheidet ICNIRP zwei Klassen von Grenzwerten:

- **Basisgrenzwerte** (manchmal auch als Grundbeschränkungen bezeichnet): Diese sind Expositionsbeschränkungen, die direkt auf gesicherten Effekten basieren. Im NF-Bereich gelten solche für die durch Magnetfelder oder E-Felder induzierte bzw. beeinflusste **elektrische Feldstärken** und den **Ableitstrom** (Kontaktstrom) bei Berührung leitfähiger Strukturen, die sich in elektrischen Feldern aufgeladen haben. Im HF-Bereich sind es die **spezifische Absorptionsrate SAR** (W/kg), die spezifische Absorption bei gepulster Strahlung SA (J/kg) und die **Leistungsflussdichte S** (W/m²).
- **Referenzwerte** (manchmal auch als abgeleitete Grenzwerte bezeichnet): Da Größen wie Stromdichte und SAR für Messungen nicht zugänglich ist, werden Referenzwerte für Hilfsgrößen wie die äußeren Feldstärken festgelegt. Sie sollen dazu dienen, in praktischen Expositionssituationen festzustellen, ob eine Wahrscheinlichkeit dafür besteht, dass die Basisgrenzwerte überschritten werden. Manche Referenzwerte werden aus den dazugehörigen Basisgrenzwerten mit Hilfe von mess- oder rechentechnischen Methoden bestimmt, andere nehmen Bezug auf Wahrnehmungseffekte und/oder schädliche indirekte Effekte einer Exposition. Im NF-Bereich und HF-Bereich werden Referenzwerte für folgende abgeleitete Größen festgelegt: **Leistungsflussdichte, elektrische Feldstärke E, magnetische Feldstärke H, magnetische Flussdichte B und, für indirekte Effekte, der Berührungsstrom I_c.**

In Expositionssituationen, die in der Praxis auftreten, können die gemessenen oder gerechneten Werte für diese sogenannten abgeleiteten Größen mit den Referenzwerten verglichen werden. **Werden letztere nicht überschritten, so ist nach ICNIRP sichergestellt, dass auch die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden. Umgekehrt gilt jedoch nicht notwendigerweise, dass jede Überschreitung der Referenzwerte auch bereits eine Verletzung der Basisgrenzwerte bedeutet.** Findet eine Überschreitung der Referenzwerte statt, dann muss in einem Test geklärt werden, ob eventuell die Basisgrenzwerte dennoch eingehalten werden, oder ob zusätzliche Schutzmaßnahmen notwendig sind.

ICNIRP-GRENZWERTE

Basisgrenzwerte und Referenzwerte sind für Exposition am Arbeitsplatz höher als für die Allgemeinbevölkerung. Wenn Personen am Arbeitsplatz exponiert werden, so handelt es sich um Erwachsene, und die Exposition geschieht in der Regel unter bekannten Bedingungen. Die exponierten Personen kennen allfällige Risiken und sind instruiert, geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu treffen. Im Gegensatz dazu gehören der Allgemeinbevölkerung Personen jeglichen Alters und unterschiedlicher Gesundheit an, eingeschlossen besonders empfindliche Gruppen oder Einzelpersonen. Häufig ist dem Bürger eine Exposition durch elektromagnetische Felder nicht bekannt. Des Weiteren kann man nicht erwarten, dass Personen aus der Bevölkerung Vorsichtsmaßnahmen ergreifen, um die Immissionen zu reduzieren oder zu verhindern. Aus diesen Überlegungen heraus wird für die Bevölkerung eine strengere Immissionsbegrenzung angestrebt als für exponierte Personen am Arbeitsplatz. Die folgenden Ausführungen zu den ICNIRP-Grenzwerten sind *Kunsch et al (2000)* entnommen.

Basisgrenzwerte

Frequenz	100 kHz-10 MHz	100 kHz-10 GHz	100 kHz-10 GHz	100 kHz-10 GHz
	Stromdichte (mA/m ²) in Kopf und Rumpf	Ganzkörper SAR (W/kg)	Teilkörper SAR (W/kg) Kopf und Rumpf	Teilkörper-SAR (W/kg) (Extremitäten)
Berufliche Exposition	f/100	0,4	10	20
Allgemein- bevölkerung	f/500	0,08	2	4

Tabelle 4.1.2-1: Basisgrenzwerte der ICNIRP-Richtlinien 1998 im Hochfrequenzbereich für die Effektivwerte influenzierter bzw. induzierter Stromdichten in Kopf und Rumpf, sowie Ganz- und Teilkörper-SAR für Kopf und Rumpf bzw. Extremitäten. Bei Teilkörperexposition ist als Masse, über die gemittelt werden kann, 10 g zusammenhängendes Gewebe zu wählen, und die maximale SAR zu betrachten. In die Formeln ist die Frequenz in Hz einzusetzen.

Frequenz	10 GHz – 300 GHz
	Leistungsdichte (W/m ²)
Berufliche Exposition	50
Allgemein- bevölkerung	10

Tabelle 4.1.2-2: Basisgrenzwerte der ICNIRP-Richtlinien 1998 im Hochfrequenzbereich für die Leistungsdichte

Referenzwerte

Frequenzbereich	E-Feld (V/m)	H-Feld (A/m)	B-Feld (μT)	Äqu. Flußdichte (W/m^2)
0,82-65 kHz	610	24,4	30,7	
0,065 - 1 MHz	610	1,6/f	2,0/f	
1-10 MHz	610/f	1,6/f	2,0/f	
10 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2000 MHz	$3 \cdot f^{1/2}$	$0,008 \cdot f^{1/2}$	$0,01 \cdot f^{1/2}$	f/40
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50

Tabelle 4.1.2-3: Referenzwerte der ICNIRP-Richtlinien 1998 für berufliche Exposition (ungestörte Effektivwerte). In den Formeln ist die Frequenz f in den Einheiten der ersten Spalte einzusetzen. Unter der Voraussetzung, dass die Basisgrenzwerte eingehalten werden und dass schädliche indirekte Effekte ausgeschlossen werden können, dürfen diese Referenzwerte überschritten werden.

Frequenzbereich	E-Feld (V/m)	H-Feld (A/m)	B-Feld (μT)	Äqu. Flußdichte (W/m^2)
3-150 kHz	87	5	6,25	
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	0,92/f	
10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	$1,375 \cdot f^{1/2}$	$0,0037 \cdot f^{1/2}$	$0,0046 \cdot f^{1/2}$	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

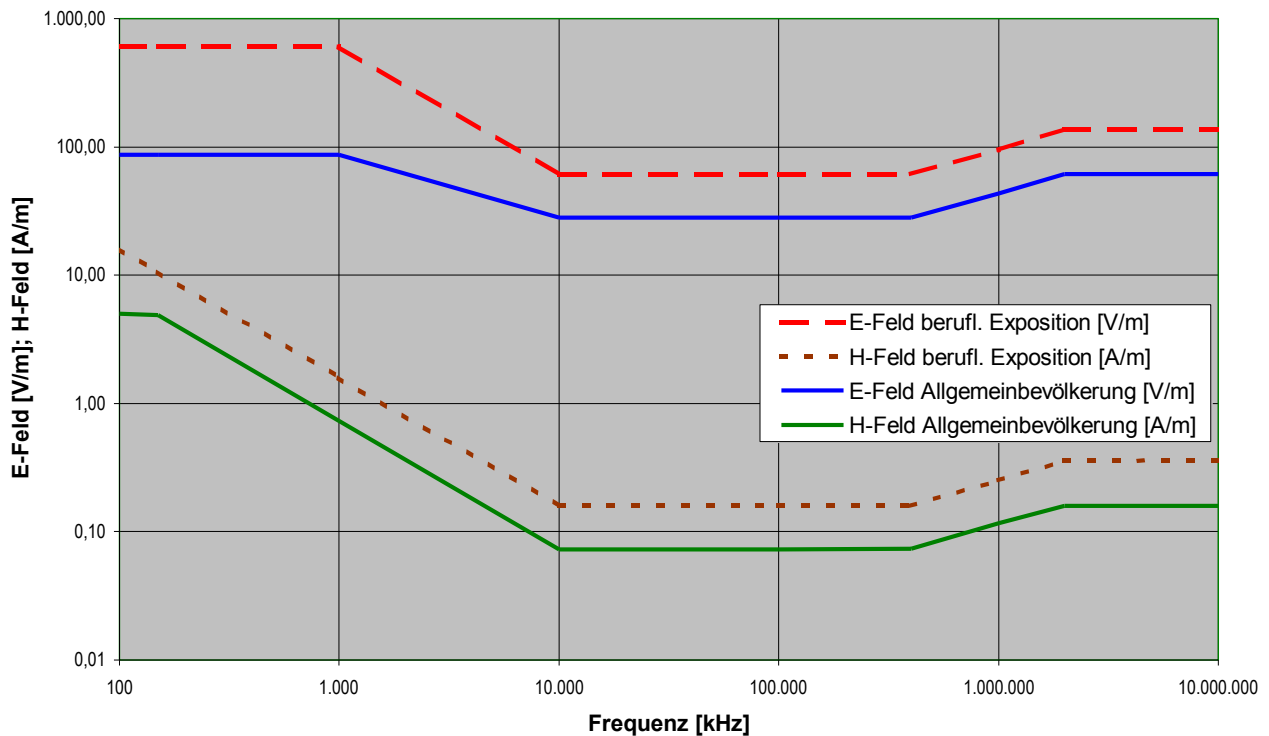
Tabelle 4.1.2-4: Referenzwerte der ICNIRP-Richtlinien 1998 für die Allgemeinbevölkerung (ungestörte Effektivwerte). In den Formeln ist die Frequenz f in den Einheiten der ersten Spalte einzusetzen. Unter der Voraussetzung, dass die Basisgrenzwerte eingehalten werden und dass schädliche indirekte Effekte ausgeschlossen werden können, dürfen diese Referenzwerte überschritten werden.

Frequenzbereich (kHz)	100 - 110000
Beruf. Exposition (mA)	40
Allgemeinbevölkerung (mA)	20

Tabelle 4.1.2-5: Referenzwerte der ICNIRP-Richtlinien 1998 für die Effektivwerte des Berührungstromes.

Im Hochfrequenzbereich zwischen 10 MHz und 10 GHz sind die Referenzwerte für elektrische und magnetische Felder für die Allgemeinbevölkerung um den Faktor 2,2 niedriger als für berufliche Exposition. Der Faktor 2,2 entspricht dem Wert $\sqrt{5}$ und ist gleichzeitig der Sicherheitsfaktor zwischen den Basisgrenzwerten für berufliche und allgemeine Exposition. Die Quadratwurzel reflektiert die Beziehung zwischen „Feldstärke“ und „Leistungsdichte“.

Grafische Darstellung der ICNIRP-Referenzwerte



In Bild 4.1.2/1 ist der Frequenzbereich 100 kHz bis 10 GHz gezeigt.

Bild 4.1.2/1: Grafische Darstellung der ICNIRP-Referenzwerte (100 kHz bis 10 GHz)

Einhaltung der Grenzwerte

ICNIRP stellt fest, dass sie die Industrien, die die elektrischen und magnetischen Felder verursachen, für die Einhaltung aller mit diesen Richtlinien verbundenen Gesichtspunkte verantwortlich macht. Wenn die Basisgrenzwerte an Arbeitsplätzen überschritten werden, müssen geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Dazu gehören technische oder administrative Kontrollen, persönliche Schutzprogramme und medizinische Überwachung. Wo immer möglich, sollten als erster Schritt technische Maßnahmen wie Reduktion der Emission auf zulässige Werte und, wo notwendig, Abschaltmechanismen oder ähnliches zum Schutz der Gesundheit vorgesehen werden. Administrative Maßnahmen wie Zugangsbeschränkungen und die Verwendung von optischen oder akustischen Warnsignalen können die technischen Maßnahmen ergänzen. Persönliche Schutzmaßnahmen wie Schutzkleidung sollten nur als letzter Ausweg dienen. Auch bei Verwendung von Schutzelementen wie z.B. isolierenden Schutzhandschuhen gegen Schläge müssen die Basisgrenzwerte eingehalten werden, da jene nur gegen indirekte Effekte schützen.

Mit Ausnahme der Schutzkleidung können obige Maßnahmen auch zum Schutz der Allgemeinbevölkerung eingesetzt werden, wo die Möglichkeit besteht, dass die Referenzwerte überschritten werden könnten.

Für genauso wichtig hält ICNIRP auch Maßnahmen zur Vermeidung der Interferenz mit Implantaten wie Herzschrittmacher oder von Bränden oder Explosionen durch Funken, die bei der Berührung von Metallteilen, die in elektrischen Feldern aufgeladen wurden, entstehen, sowie zum Schutz vor der Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen.

ICNIRP-Grenzwerte 2020

ICNIRP hat in den vergangenen Jahren Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschungen verarbeitet, die seit der Erstellung der ersten Richtlinien im Jahr 1998 publiziert worden sind und eine Adaptierung einiger Referenzgrenzwerte vorgenommen. Am Grundkonzept hat sich nichts geändert, wie bisher berücksichtigen die Grenzwerte die "relevante wissenschaftliche Literatur" bezüglich gesundheitlicher Effekte durch EMFW mit wissenschaftlich nachvollziehbaren Wirkungsmechanismen - also "evidenzbasiert".

Bei gleichbleibenden Basisgrenzwerten haben sich in manchen Frequenzbereichen die abgeleiteten Grenzwerte geändert: Sie sind bezüglich kurzer Expositionszeiten von weniger als sechs Minuten und Expositionen kleinflächiger Körperregionen von wenigen Quadratzentimetern präziser. Auch sogenannte "Nahfeldexpositionen" sind neu bewertet worden und die NF-Grenzwerte wurden nach den neuesten Erkenntnissen aus verbesserten Simulationsrechnungen angehoben. In der Fassung von 2020 sind auch die Phänomene der HF-Effekte zukünftiger Mobilkommunikationssysteme bei deutlich höheren Frequenzen im Mikrowellenbereich mit einbezogen. (Vergleiche: "incident power density" vs. "absorbed power density"). Die Abb. 4.1.2/1a) zeigt im Frequenzbereich unterhalb von ca. 1 MHz die neuen Referenzgrenzwerte für die elektrische Feldstärke. (Vergleiche z.B. die Werte bei 100 kHz mit denen aus 1998).

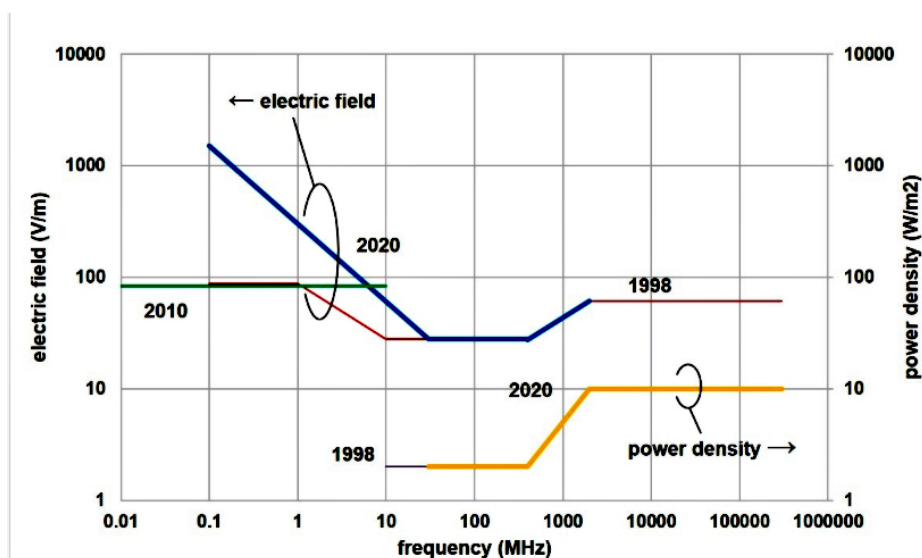


Figure 1. Whole body average reference levels for the general public for the ICNIRP (1998), ICNIRP (2010) and ICNIRP (2020) guidelines, for the 100 kHz to 300 GHz frequency range. Note that the units of the two y-axes (i.e. electric field and power density) are independent of each other.

Bild 4.1.2/1a): Grafische Darstellung der ICNIRP-Referenzwerte (100 kHz bis 10 GHz)

Im Folgenden beziehen sich die sogenannten **Summenformeln** sowie die **Tabellen für Basis- und Referenzgrenzwerte** auf die Fassung von 1998:

In Immissionssituationen, wo Felder verschiedener Frequenz gleichzeitig vorhanden sind, ist es entscheidend, ob diese Immissionen hinsichtlich ihrer Wirkungen additiv sind. Das Zusammenwirken ist für thermische Wirkungen und für die elektrische Erregung getrennt zu beurteilen, wobei die Einhaltung aller aufgeführten Basisgrenzwerte zu untersuchen ist.

Für thermische Wirkungen, die oberhalb 100 kHz relevant sind, werden die SAR und die Leistungsflussdichte gemäß folgender Formel addiert:

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{10 \text{ GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$$

Dabei sind:

SAR_i die durch die Exposition bei der Frequenz i bewirkte SAR

SAR_L der in Tabelle 3.1-2 angegebene SAR-Basisgrenzwert

S_i die Leistungsflussdichte bei der Frequenz i

S_L der in Tabelle 3.1-3 angegebene Basisgrenzwert für die Leistungsflussdichte

Bei der Anwendung der Basisgrenzwerte in der Praxis sollen folgende Summenkriterien für die Referenzwerte der Feldstärken herangezogen werden.

Die Referenzwerte für elektrische und magnetische Felder werden grundsätzlich getrennt berücksichtigt.

Die Summenformeln gehen von Worst-Case-Bedingungen bei Feldern mehrerer Quellen bzw. mehrerer Frequenzen aus.

Exposition der Allgemeinbevölkerung:

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} f_i \left(\frac{E_i}{87} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

und

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{f_j \cdot H_j}{0,73} \right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

Berufliche Exposition:

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{f_i \cdot E_i}{610} \right)^2 + \sum_{i > 1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

und

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{f_j \cdot H_j}{1,6} \right)^2 + \sum_{j > 1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

Dabei sind:

f die Frequenz, angegeben in MHz

E_i die elektrische Feldstärke bei Frequenz i , angegeben in $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$,

$E_{L,i}$ der Referenzwert für das elektrische Feld aus Tabelle 3.1-7 und 3.1-8, angegeben in $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$

H_j die magnetische Feldstärke bei Frequenz j , angegeben in $\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$

$H_{L,j}$ der Referenzwert für das Magnetfeld aus Tabelle 3.1-7 und 3.1-8, angegeben in $\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$

Für Berührungsströme und induzierte Ströme gelten ähnliche Überlegungen und Formeln [siehe *ICNIRP-Grenzwertempfehlungen (1998)*] auf die an dieser Stelle nicht im Detail eingegangen wird.

Ergänzende Klärungen durch ICNIRP

Als Reaktion auf Anfragen und Kommentare zu den Richtlinien veröffentlichte ICNIRP im Oktober 1998 einen Artikel mit Erläuterungen und näheren Festlegungen [*ICNIRP-Response (1998)*]:

- Bezüglich der Basis für den zusätzlichen Sicherheitsfaktor in den Basisgrenzwerten für die Allgemeinbevölkerung gegenüber der beruflichen Exposition und möglicher Unterschiede zwischen diesen Gruppen hinsichtlich der individuellen Empfindlichkeit verweist ICNIRP auf Befunde, die auf eine individuelle Variationsbreite hindeuten, und stellt fest, dass die Anwendung von Sicherheitsfaktoren zu deren Berücksichtigung im Einklang mit konventionellen Grundsätzen im Gesundheitsschutz steht.
- Eine weitere Frage bezieht sich auf die Einordnung von **schwangeren berufstätigen Frauen** unter die Allgemeinbevölkerung (Fötus) oder als Berufstätige. ICNIRP überläßt die Entscheidung nationalen Regelungen oder administrativen Regelungen der Arbeitgeber. (Ist in *ICNIRP 2020 geändert, Zuordnung zu Allgemeinbevölkerung!*) Eine ähnliche Position wird eingenommen, wenn es um Entscheidungen geht, wie, welche Einschränkungen bei Geräten gelten, die sowohl in Beruf als auch außerhalb benutzt werden, und, ob Landarbeiter unter Freileitungen als beruflich exponiert gelten, oder der Allgemeinbevölkerung zugezählt werden sollen.
- Zur Frage warum bei der Berechnung des SAR-Wertes als Mittelungsmasse 10 g (IEEE C95.1 und ÖNORM S 1120: 1 g) gewählt wurden, ohne gleichzeitig die Geometrie des Gewebes festzulegen, stellt ICNIRP fest, daß das Gewebe mit 10 g eines mit nahezu homogenen elektrischen Eigenschaften sein sollte. Dieses Konzept kann bei Computersimulationen angewandt werden, aber bei physikalischen Messungen Schwierigkeiten bereiten. Daher kann eine einfache Geometrie wie ein Würfel gewählt werden, vorausgesetzt, daß die berechneten dosimetrischen Größen im Vergleich zu den Expositionsrichtlinien konservative Werte besitzen. ICNIRP konzidiert auch, dass

unter bestimmten Expositionsbedingungen die Werte im Handgelenk geringfügig überschritten werden können, da diese Exposition kein wesentliches Risiko darstellt.

- Die Einhaltung der Grenzwerte stellt auch sicher, dass es zu keinen Temperaturerhöhungen kommt, die außerhalb des Normalbereiches für Variationen liegen, die mit den Körperfunktionen verbunden sind.
- ICNIRP erkennt, dass eine Anzahl von Geräten des normalen Gebrauches Felder emittiert, die die Referenzwerte überschreiten. Dies erfolgt jedoch allgemein unter Expositionsbedingungen, wo wegen der schwachen Kopplung die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden.

Die OVE Richtlinie R 23-1

In Österreich wird der Schutz der Bevölkerung gegenüber nachteiligen Wirkungen elektromagnetischer Felder (bis zu 300 GHz) über das Telekommunikationsgesetz 2003 (*TKG (2003)*) sowie das Elektrotechnikgesetz 1992 (*ETG (1992)*) bzw. der Novelle zum Elektrotechnikgesetz aus dem Jahr 2017 geregelt. Das *TKG (2003)* sieht dazu in seinem § 73 vor, dass bei der Errichtung und dem Betrieb von Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen der Schutz des Lebens und der Gesundheit von Menschen gewährleistet sein muss.

Die Bestimmungen der R 23-1:2017 sind zum Schutz von Personen der Allgemeinbevölkerung vor unzulässiger Exposition in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz anzuwenden. **Zweck der R 23-1 ist es, Grenzwerte für die Exposition durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder festzulegen, deren Einhaltung Schutz gegen bekannte schädliche Effekte auf die Gesundheit bietet. Das Schutzziel soll durch die Vorgabe von Basisgrenzwerten und Referenzwerten erreicht werden.** Die medizinische Anwendung von elektromagnetischen Feldern an Patienten, Trägern von elektronischen und metallischen Implantaten sowie berufliche Exposition wird von dieser Richtlinie nicht berührt. Die R 23-1:2017 wurde für den Hochfrequenzbereich auf Basis der *ICNIRP-Grenzwertempfehlungen (1998)* erstellt. Angaben zur Bewertung der Exposition durch Felder bei nur einer Frequenz sowie gleichzeitiger Exposition durch Felder verschiedener Frequenzen hinsichtlich einer möglichen additiven Wirkung der Exposition sind in diesen Bestimmungen ebenso enthalten.

Die Referenzwerte und Basisgrenzwerte der R 23-1 und der ICNIRP Richtlinie sind ab 100 kHz ident. **Unter 100 kHz handelt es sich bei den Basisgrenzwerten der R 23-1 um intrakorporale elektrische Feldstärken und nicht wie der ICNIRP Richtlinie um induzierte Stromdichten.** Die Summationsvorschriften der beiden Dokumente sind nicht ident, auf eine detaillierte Darstellung der etwas komplexeren Summationsvorschriften der R 23-1 wird hier verzichtet.

4.1.3 Anwendung der SAR-Basisgrenzwerte für die Expositionsbeurteilung bei Mobiltelefonen

Mit dem Amtsblatt C208 der Europäischen Gemeinschaften vom 26.7.2001 hat die Europäische Kommission erstmals eine Produktnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von Mobiltelefonen mit den Basisgrenzwerten hinsichtlich der Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern harmonisiert. Demnach müssen für jedes Mobiltelefon mit einer mittleren ausgesendeten Leistung von mehr als 20 mW die in der Empfehlung des Rates 1999/519/EG zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern angegebenen Basisgrenzwerte messtechnisch nachgewiesen werden.

Da Mobiltelefone in den Geltungsbereich der R&TTE-Richtlinie fallen, dürfen Hersteller von Mobiltelefonen diese nur dann in Verkehr bringen wenn sie eine Konformitätsbewertung gemäß dieser Richtlinie durchgeführt, die Übereinstimmung mit dieser Richtlinie erklärt und das CE-Kennzeichen am Gerät, auf der Verpackung und auf den Begleitunterlagen angebracht haben. Darüber hinaus müssen für den Benutzer Informationen über die bestimmungsgemäße Verwendung zusammen mit der Erklärung der Konformität mit den grundlegenden Anforderungen bereitgestellt werden.

Neben der Sicherheit des Benutzers einschließlich der Sicherheitsanforderungen der Niederspannungsrichtlinie (Richtlinie 73/23/EWG, jedoch ohne Anwendung der Spannungsgrenzen) und der Schutzanforderungen in Bezug auf die elektromagnetische Verträglichkeit (Richtlinie 89/336/EWG) ist gemäß Artikel 3 der R&TTE-Richtlinie der Schutz der Gesundheit des Benutzers eine grundlegende Anforderung (siehe Bild 4.1.3/1).

In der Mitteilung der Kommission im Amtsblatt C208 der Europäischen Gemeinschaften vom 26.7.2001 wurde erstmals die Produktnorm *EN 50360 (2001)* zum Nachweis der Übereinstimmung von Mobiltelefonen mit den Basisgrenzwerten hinsichtlich der Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern gelistet. Gemäß dieser Produktnorm muss ein Mobiltelefon die in der *EMF-Ratsempfehlung 1999/519/EG (1999)* zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern angegebenen SAR-Basisgrenzwerte einhalten.

Ist die durch das Mobiltelefon ausgesendete mittlere Leistung größer als 20 mW, dann müssen SAR-Messungen in Übereinstimmung mit der Basisnorm *EN 50361 (2001)* durchgeführt werden. Diese kann der Hersteller entweder selbst durchführen oder ein akkreditiertes Prüflabor damit beauftragen. Das EMV-Prüfzentrum Seibersdorf ist für Messungen gemäß EN 50360 und EN 50361 akkreditiert.

In Bild 4.1.3/1 ist der Versuch unternommen, das Regelwerk graphisch darzustellen.

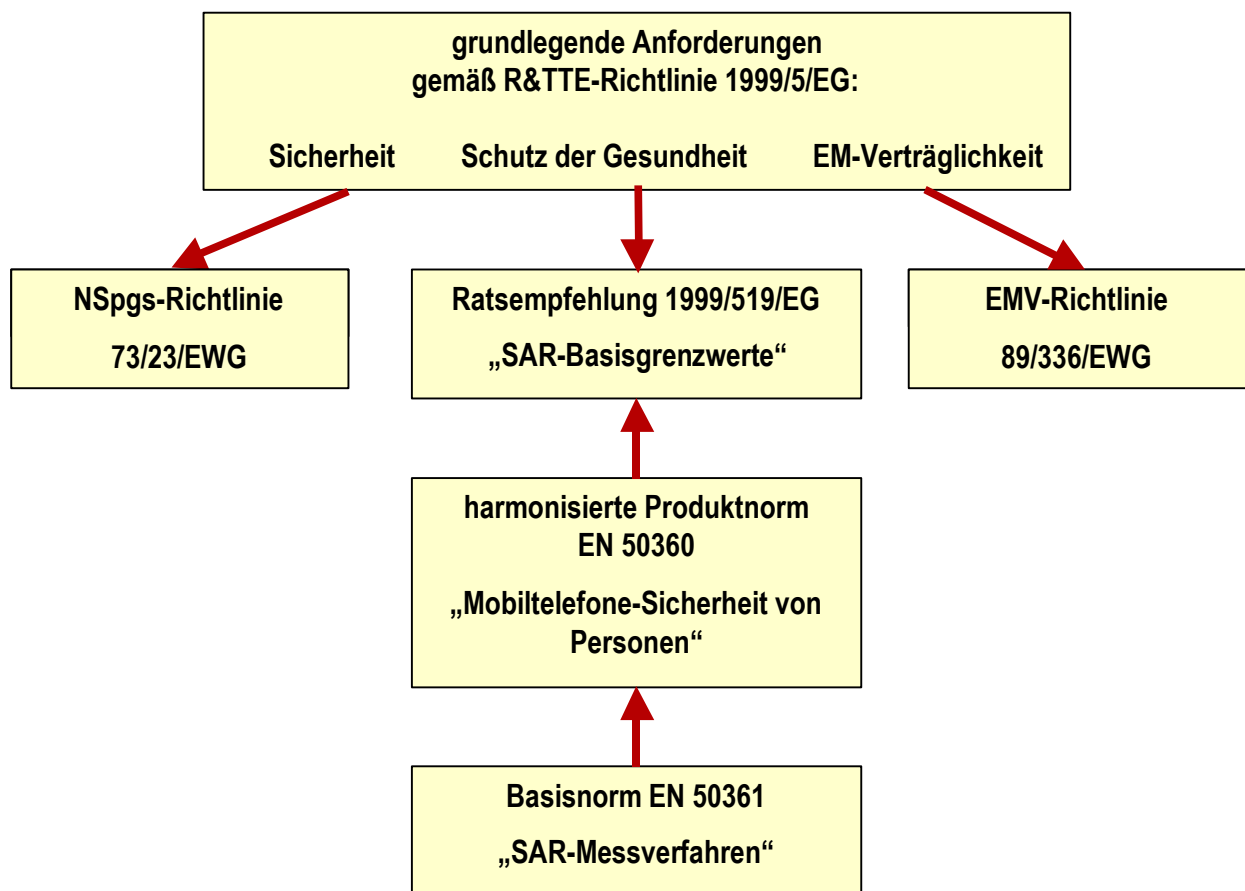


Bild 4.1.3/1: Grundlegende Anforderungen gemäß R&TTE-Richtlinie 1999/5/EG [aus Lamedschwandner et al (2002)]

SAR-Basisgrenzwerte für die Expositionsbeurteilung

Bei Benützung von Mobiltelefonen wird die durch Absorption von hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung verursachte Erwärmung des Körpergewebes anhand von sogenannten Basisgrenzwerten beurteilt. Diese sind in Form von Grenzwerten für die spezifische Absorptionsrate (SAR), gemessen in Watt pro Kilogramm (W/kg) festgelegt und geben die pro Gewebemasse absorbierte Strahlungsleistung an. Während in der Europäischen Union Mobiltelefone nach den Grenzwerten der EMF-Ratsempfehlung vom 12. Juli 1999 zu beurteilen sind, gelten in den USA die Grenzwerte der FCC. Die SAR-Grenzwerte der FCC basieren auf dem IEEE Standard C95.1.

Die am häufigsten verwendete Methode der SAR-Bestimmung ist die Messung der elektrischen Feldstärke in einer Nachbildung des menschlichen Kopfes und die anschließende Umrechnung über die Beziehung $SAR = \sigma \cdot E^2 / \rho$, wobei σ die spezifische Leitfähigkeit des exponierten Mediums (in S/m), ρ die Dichte des exponierten Mediums (in kg/m³) und E die elektrische Feldstärke im exponierten Medium (in V/m) bedeuten. Bei Einhaltung dieser SAR-Basisgrenzwerte ist nach heutigem Kenntnisstand mit keinen gesundheitlich nachteiligen Effekten zu rechnen.

Man unterscheidet zwischen SAR-Basisgrenzwerten für die Ganzkörperexposition und solchen für die Teilkörperexposition, die beide einzuhalten sind. In allen relevanten internationalen Dokumenten wird

für die Allgemeinbevölkerung ein Ganzkörpergrenzwert von 0,08 W/kg und für die berufliche Exposition ein Ganzkörpergrenzwert von 0,4 W/kg festgelegt. Dies bedeutet, dass über den ganzen Körper gemittelt nicht mehr als 0,08 W bzw. 0,4 W Leistung pro 1 kg Gewebemasse absorbiert werden darf.

Grenzwerte für Teilkörperexposition fordern, dass für bestimmte Körperteile die absorbierte Leistung vorgegebene Werte nicht überschreiten darf. In Tab 4.1.3-1 sind die für Teilkörperexposition der Allgemeinbevölkerung geltenden SAR-Basisgrenzwerte verschiedener Dokumente zum Vergleich gegenübergestellt.

Dokument	Frequenzbereich	SAR-Grenzwert	Mittelungsmasse	Anwendungsbereich
EU - Ratsempfehlung	0,1 MHz - 10 GHz	2 W/kg	10 g	Kopf und Rumpf
		4 W/kg	10 g	Gliedmaßen
ICNIRP 1998	0,1 MHz - 10 GHz	2 W/kg	10 g	Kopf und Rumpf
		4 W/kg	10 g	Gliedmaßen
FCC 47 CFR	0,1 MHz - 6 GHz	1,6 W/kg	1 g	Körper außer Hand, Handgelenk, Fuß Fußgelenk
		4 W/kg	10 g	Hand, Handgelenk, Fuß Fußgelenk
IEEE C95.1	0,1 MHz - 6 GHz	2 W/kg	10 g	Körper außer Hand, Handgelenk, Fuß Fußgelenk
		4 W/kg	10 g	Hand, Handgelenk, Fuß Fußgelenk
ÖNORM E 8850	0,1 MHz - 10 GHz	2 W/kg	10 g	Kopf und Rumpf
		4 W/kg	10 g	Gliedmaßen

Tab. 4.1.3-1: SAR-Basisgrenzwerte für Teilkörperexposition der Allgemeinbevölkerung

Der Tabelle 4.1.3-1 ist zu entnehmen, dass bei den Grenzwerten der lokalen SAR international keine vollkommene Übereinstimmung herrscht. Die Unterschiede sind sowohl durch den SAR-Grenzwert als auch durch Masse und Geometrie des Volumens über das gemittelt werden muss gegeben. In den *ICNIRP-Grenzwertempfehlungen (1998)* ist Mittelung über 10 g beliebig zusammenhängendes Körpergewebe festgelegt, im *IEEE Std C95.1-1999* und im *47 CFR (2001)* der FCC wird über 1 g würfelförmiges Körpergewebe gemittelt. Die *EMF-Ratsempfehlung 1999/519/EG (1999)*, deren Grenzwerte ident mit jenen der ICNIRP-Grenzwertempfehlungen für die Allgemeinbevölkerung sind, legt grundsätzlich eine Mittelung über 10 g beliebig zusammenhängendes Körpergewebe fest, ein Mittelungsvolumen würfelförmiger Gestalt wird jedoch aus mess- und rechentechnischen Überlegungen zugelassen. Grundsätzlich gilt: Je geringer die Masse über die gemittelt wird, desto schärfer ist die Forderung bei gleichem SAR-Grenzwert.

Die Grenzwerte der EMF-Ratsempfehlung und der ICNIRP von 2 W/kg gemittelt über 10 g Körpergewebe sind sowohl hinsichtlich des SAR-Grenzwertes als auch im Hinblick auf die Mittelungsmasse weniger restriktiv als der in den USA zur Anwendung kommende Grenzwert von 1,6 W/kg gemittelt über 1 g Körpergewebe. Die Unterschiede in den Mittelungsmassen wirken sich vor allem dann aus, wenn die SAR-Verteilung sehr heterogen ist und sehr lokal ausgeprägte Maxima der SAR auftreten.

4.1.4 Schutzmaßnahmen

Laut ÖNORM E8850 wird empfohlen, die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern entsprechend der wirtschaftlichen und technischen Zumutbarkeit möglichst gering zu halten. Wenn ein Referenzwert überschritten wird, sind jedenfalls Maßnahmen erforderlich, ausgenommen es kann durch geeignete Verfahren gezeigt werden, dass die relevanten Basisgrenzwerte eingehalten werden.

Geeignete Maßnahmen zur Minderung der Exposition sind:

- Technische Maßnahmen
- Organisatorische Maßnahmen
- Administrative Maßnahmen

Es wird empfohlen bevorzugt technische Maßnahmen anzuwenden. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen wie z.B. Reduktion der Leistung von Anlagen sind zu überprüfen.

Zu diesem Zweck können mehrere Wege beschränkt werden:

1. Vergrößerung des Abstandes zwischen exponierten Personen und EMF-Quellen
2. Absenkung oder Vermeidung der Emission (z.B. Leistungsreduktion; Abschalten; Anordnung der Leiter)
3. Durchführung von geeigneten Abschirmungsmaßnahmen
4. Beschränkung der Aufenthaltsdauer
5. Beschränkung der Expositionsdauer

Beruflich exponierte Personen sind grundsätzlich über die möglichen Auswirkungen und Gefahren der Exposition zu unterweisen. Primär sind technische Maßnahmen zu setzen. Reichen die technischen Maßnahmen nicht aus, so sind zusätzliche organisatorische und/oder administrative Maßnahmen wie

- Zugangsbeschränkungen
- Einhaltung von Sicherheitsabständen
- Beachtung der zulässigen Verweildauer
- Verwendung hör- und sichtbarer Warneinrichtungen
- Personenschutzprogramme einschließlich medizinischer Überwachung

anzuwenden. Maßnahmen beinhalten ein geeignetes Sicherheitskonzept wie z.B. mögliche Leistungsreduktion, die Verwendung von Schirmmaterialien, sowie nötigenfalls die Verwendung von Zutrittskontrollen oder vergleichbaren Vorkehrungen. Reichen die angeführten Maßnahmen nicht aus, so ist Schutzkleidung zu verwenden.

Bild 4.1.4.1 zeigt Beispiele für Warn- und Verbotsschilder wie sie im Anhang A.4 (informativ) der Vornorm ÖVE/ÖNORM E 8850 zu finden sind.



Bild 4.1.4.1: Beispiele für Warn- und Verbotsschilder (ÖNORM Z 1000-2)