



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch elektromagnetische Felder (bis 300 GHz)

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 158. Sitzung am 17./18. Dezember 1998

Veröffentlicht in: Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 44

Anmerkung der SSK-Geschäftsstelle: Die SSK hat zu dieser Empfehlung eine umfangreiche wissenschaftliche Begründung erarbeitet, der die deutsche Übersetzung der ICNIRP - „Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)“ als Anlage beigelegt ist. Die Empfehlung, die Begründung und die übersetzten ICNIRP-Guidelines sind als Heft 23 der Reihe „Berichte der Strahlenschutzkommission“ erschienen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Anwendungsbereich der Empfehlung	4
3	Schlußfolgerungen und Empfehlungen	6
4	Literatur	12

1 Einleitung

Statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder sowie hochfrequente elektromagnetische Felder (EMF) gehören zu den vielfältigen physikalischen Energieformen, denen der menschliche Körper im Alltagsleben ausgesetzt ist. Wissenschaftliche Untersuchungen lassen erkennen, daß je nach Feldstärke mit dem völligen Fehlen biologischer Wirkungen, mit geringfügigen biologischen Effekten, mit Belästigungen oder mit Gesundheitsgefährdungen zu rechnen ist.

In den letzten Jahren sind in der Öffentlichkeit zunehmend Besorgnisse darüber entstanden, daß die künstlich erzeugten elektromagnetischen Felder in unserer Umwelt eine Gesundheitsgefährdung darstellen könnten. Während die akuten Effekte einer Exposition durch starke elektromagnetische Felder – deutlich oberhalb der hier empfohlenen Grenzwerte – im allgemeinen gut verstanden sind, gibt es eine fortdauernde Debatte über das Risiko langfristiger Folgen durch Einwirkungen schwacher Felder. Solchen Befürchtungen kann nur durch gezielte und koordinierte Forschungsanstrengungen Rechnung getragen werden. Es gibt jedoch eine Reihe gesundheitlicher Auswirkungen elektromagnetischer Felder, die wissenschaftlich gut gesichert sind. Solche gesicherten Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Festlegung von Expositionsbegrenzungen.

Die Strahlenschutzkommission hat bereits 1991 eine Empfehlung zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung beim Mobilfunk [SSK 91] und 1995 eine Empfehlung zum Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern der Energieversorgung und -anwendung ausgesprochen [SSK 95]. Die Strahlenschutzkommission hat sich bei diesen Empfehlungen auf die Ergebnisse der internationalen Forschung und die international empfohlenen Schutzkonzepte gestützt. Mit der am 1. Januar 1997 in Kraft getretenen Verordnung über elektromagnetische Felder (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV)) ist in Deutschland erstmals eine spezielle Regelung zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern getroffen worden, die verbindliche Vorgaben insbesondere für den Gesundheitsschutz umfaßt [BGBI 96]. Beim Betrieb von Sendefunkanlagen, Stromversorgungseinrichtungen, Eisenbahn und öffentlichem Personennahverkehr sind die Grenzwerte der Verordnung einzuhalten¹⁾. Die Anforderungen in dieser Verordnung basieren im wesentlichen auf Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzvereinigung IRPA bzw. der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen ICNIRP. Im April 1998 hat die ICNIRP Richtlinien für die Begrenzung der Exposition durch frequenzabhängige elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (bis 300 GHz) veröffentlicht [ICN 98a]. Richtlinien zum Schutz vor statischen Magnetfeldern wurden bereits 1994 veröffentlicht [ICN 94]. Diese beiden ICNIRP-Richtlinien dienen auch als wissenschaftliche Grundlage für den Vorschlag einer Ratsempfehlung über Begrenzungen der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern von 0 bis 300 GHz, der sich derzeit bei der Europäischen Kommission in Beratung befindet [EU 98].

Die Strahlenschutzkommission hat sich in ihrer Klausurtagung im Mai 1997 über “Funkanwendungen – Technische Perspektiven, biologische Wirkungen und Schutzmaßnahmen” informiert und zu einzelnen Schwerpunkten eine Bewertung abgegeben [SSK 99].

¹⁾ Der Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) hat Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder erarbeitet, die den Vollzugsbehörden Erläuterungen und Empfehlungen mit dem Ziel geben, bundesweit im Vollzug der 26. BImSchV möglichst einheitlich zu verfahren.

Im Zusammenhang mit international und national abgestimmten Empfehlungen ist die Überarbeitung, Aktualisierung und Überprüfung der Dokumente über Gesundheitskriterien der Weltgesundheitsorganisation WHO [WHO 87, 93] von besonderer Bedeutung. Dies ist eines der Ziele des von der WHO Anfang 1996 begonnenen internationalen EMF-Projektes, an dem zahlreiche internationale Institutionen mitarbeiten. Es sollen Kenntnislücken identifiziert, Protokolle über die Durchführung von wissenschaftlichen Untersuchungen festgelegt und neue Forschungsarbeiten initiiert und gefördert werden, um mögliche Gesundheitsrisiken besser bewerten zu können²⁾.

Die Strahlenschutzkommission bewertet in der vorliegenden Empfehlung die wissenschaftlichen Erkenntnisse und faßt sie zusammen. Sie will damit eine Grundlage für ggfs. rechtliche Regeln zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern in der Bundesrepublik Deutschland geben als auch praktische Aspekte für deren Anwendung aufzeigen. Die vorliegende Empfehlung ergänzt die oben erwähnten SSK-Empfehlungen aus den Jahren 1991 (Mobilfunk) und 1995 (niederfrequente Felder).

Die Begründung zu dieser Empfehlung enthält eine zusammenfassende Dokumentation über typische Quellen und Anlagen, Wirkungsmechanismen, gesundheitliche Wirkungen, Grenzwertempfehlungen sowie Literaturzitate. Ein Anhang zu dieser Begründung enthält die deutsche Übersetzung der ICNIRP-Empfehlungen mit einer ausführlichen Besprechung der für die Grenzwertempfehlungen herangezogenen biologischen Wirkungen, einer Bewertung der epidemiologischen Befunde sowie einer Darstellung der Basisgrenzwerte und der abgeleiteten Grenzwerte.

2 Anwendungsbereich der Empfehlung

Das Hauptziel dieser Empfehlung besteht darin, Vorschläge für die Begrenzung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder zu erarbeiten, die einen Schutz vor schädlichen Gesundheitsfolgen bieten. Die Empfehlung gilt nicht für eine berufsbedingte Exposition durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder, die Personen während der Durchführung ihrer Arbeit erfahren.

Es werden Untersuchungen sowohl über die direkten als auch die indirekten Wirkungen von elektromagnetischen Feldern beschrieben und bewertet. Direkte Wirkungen ergeben sich aus der unmittelbaren Einwirkung von Feldern auf den Körper, bei indirekten Wirkungen sind Objekte mit vom Körper verschiedenen elektrischen Potentialen beteiligt. Es werden ferner die Ergebnisse von Labor- und epidemiologischen Untersuchungen, grundlegende Kriterien der Exposition sowie Grenzwerte für die praktische Risikoabschätzung erörtert. Zur Bewertung des Risikos bei der Exposition durch elektromagnetische Felder werden Befunde aus den Bereichen Biologie, Medizin, Epidemiologie und Dosimetrie zugrundegelegt, die als gesichert, quantifizierbar und gesundheitsrelevant angesehen werden können. Die empfohlenen Grenzwerte beruhen auf dem gesicherten Wissen über akute gesundheitliche Beeinträchtigungen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren.

²⁾ Unter Federführung der ICNIRP wurde mit der Überarbeitung der Gesundheitskriterien-Dokumente (EHC) über elektromagnetische Felder begonnen. Im Zusammenhang mit diesen Aktivitäten wurden mehrere internationale Symposien [ICN 97a, ICN 97b, ICN 98b] veranstaltet, die von der ICNIRP zusammen mit der WHO und dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt wurden.

Bei der Anwendung der Vorschläge für die Begrenzung der Exposition durch elektromagnetische Felder muß zwischen Basisgrenzwerten und abgeleiteten Grenzwerten unterschieden werden.

– *Basisgrenzwerte*

Grenzwerte der Exposition durch elektromagnetische Felder, die auf gesicherten Schwellenwerten³⁾ der unmittelbar im Gewebe wirksamen physikalischen Einflußgrößen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren beruhen, werden als “Basisgrenzwerte” bezeichnet. Je nach den Frequenzen der Felder sind die wirksamen physikalischen Größen die elektrische Feldstärke bzw. die zugehörige Stromdichte und die spezifische Energieabsorptionsrate im Gewebe. Jedoch können bei exponierten Personen nur die Feldstärken bzw. die Leistungsflußdichte in Luft, außerhalb des Körpers, ohne weiteres gemessen werden.

– *Abgeleitete Grenzwerte*

Da die Verfahren zur Überprüfung der Einhaltung der Basisgrenzwerte zu aufwendig sind, werden zur Expositionsbeurteilung “abgeleitete Grenzwerte” eingeführt. Zu ihrer Formulierung werden unmittelbar meßbare Größen verwendet, die in der Umgebung des Menschen ermittelt werden können. Einige abgeleitete Grenzwerte sind aus den entsprechenden Basisgrenzwerten unter Nutzung von Meßverfahren und/oder Berechnungsverfahren hergeleitet worden, wobei häufig ungünstige Expositionsbedingungen („worst case“) angenommen werden, die zu einer konservativen Abschätzung führen. Andere beziehen sich auf die Wahrnehmung und auf schädliche indirekte Wirkungen der Exposition durch elektromagnetische Felder.

Die abgeleiteten Größen sind: elektrische Feldstärke, magnetische Flußdichte und Leistungsflußdichte außerhalb des Körpers sowie die im Körper fließenden Ströme.

Die Einhaltung des abgeleiteten Grenzwerts bedeutet in jedem Falle die Einhaltung des entsprechenden Basisgrenzwerts. Übersteigt der gemessene oder berechnete Wert den abgeleiteten Grenzwert, so folgt daraus nicht unbedingt, daß auch der Basisgrenzwert überschritten wird. Allerdings ist es immer dann, wenn ein abgeleiteter Grenzwert überschritten wird, erforderlich, die Übereinstimmung mit dem relevanten Basisgrenzwert zu prüfen und festzustellen, ob zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Neben einer ausführlichen Dokumentation über die Basisgrenzwerte sowie die abgeleiteten Grenzwerte kontinuierlicher Sinusfelder enthält die Empfehlung noch Begrenzungen für eine gepulste Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder, abgeleitete Grenzwerte für Kontaktströme, die bei Berührung leitfähiger Objekte unter Feldeinfluß auftreten können, sowie Hinweise für die Risikobewertung bei gleichzeitiger Exposition durch Felder mit verschiedenen Frequenzen.

Die Grenzwertempfehlungen beziehen sich nicht direkt auf Vorschriften für die Begrenzung der Emission technischer Geräte. Sie behandeln auch keine Techniken, wie Methoden zur Messung oder Berechnung physikalischer Größen, die elektromagnetische Felder charakterisieren; einge-

³⁾ Der “Schwellenwert” einer physikalischen Einflußgröße ist der geringste Wert dieser Größe, bei dem die betrachtete biologische Wirkung gerade noch eintritt.

hende Beschreibungen meßtechnischer Ausrüstungen und Meßverfahren zur genauen Bestimmung solcher physikalischer Größen findet man in technischen Normen.

Die vorliegenden Grenzwertempfehlungen betreffen nicht die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten. Deren Einhaltung schließt Störungen von oder Wirkungen auf medizinische Geräte, wie Metallprothesen, Herzschrittmacher, Defibrillatoren und Cochlea-Implantate, nicht unbedingt aus. Störungen von Herzschrittmachern können bei Werten auftreten, die unterhalb der abgeleiteten Grenzwerte liegen. Festlegungen hierzu sind nicht Gegenstand dieser Empfehlungen.

Die Begrenzungen gelten ferner nicht für die medizinische Anwendung elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder.

3 **Schlußfolgerungen und Empfehlungen**

In Übereinstimmung mit den ICNIRP-Richtlinien für die Begrenzung der Exposition durch statische sowie zeitlich veränderliche elektrische und magnetische sowie hochfrequente elektromagnetische Felder gelangt die Strahlenschutzkommission zu folgenden Schlußfolgerungen und Empfehlungen:

- 3.1 Die in der 26. BImSchV genannten Grenzwerte (vgl. Tabellen 1a und 1b am Ende dieses Kapitels) entsprechen weitgehend den jetzt veröffentlichten ICNIRP-Richtlinien (Grenzwerte vgl. Tabellen 2 und 3 am Ende dieses Kapitels).
- 3.2 Zusätzlich enthalten die ICNIRP-Richtlinien auch Grenzwerte für diejenigen Frequenzbereiche, die in der 26. BImSchV noch nicht abgedeckt sind. Die Strahlenschutzkommission hat sich davon überzeugt, daß diese Grenzwertempfehlungen den aktuellen Kenntnisstand der Risikobewertung bei einer Exposition durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (bis 300 GHz) berücksichtigen.
- 3.3 Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, für die Festlegung der abgeleiteten Grenzwerte bei der Fortschreibung der 26. BImSchV die von ICNIRP angegebenen "reference levels" zu verwenden.
- 3.4 Die Strahlenschutzkommission hält das von der ICNIRP vorgeschlagene Grenzwertkonzept, bestehend aus Basisgrenzwerten sowie unter ungünstigen Expositionsbedingungen abgeleiteten Grenzwerten, für geeignet und flexibel genug, um eine Risikobewertung aller im Alltag derzeit vorkommenden Expositionsbedingungen durchzuführen.
- 3.5 Die Strahlenschutzkommission erinnert daran, daß im Vergleich zu früheren Empfehlungen die neuen ICNIRP-Richtlinien keine höheren Basisgrenzwerte oder abgeleiteten Grenzwerte mehr vorsehen, wenn die Expositionen nur von kurzer Dauer sind. Die Basisgrenzwerte für niederfrequente Felder basieren auf bestätigten gesundheitsrelevanten Wirkungen auf das Zentralnervensystem mit einem Sicherheitsfaktor. Solche Wirkungen treten auch bei kurzzeitiger Exposition auf, und die Strahlenschutzkommission ist wie ICNIRP der Auffassung, daß es deshalb keine wissenschaftliche Rechtfertigung gibt, die Basisgrenzwerte bei kurzzeitiger Exposition zu überschreiten.

Die Strahlenschutzkommission erinnert jedoch daran, daß die abgeleiteten Grenzwerte für niederfrequente Felder aus den Basisgrenzwerten unter Verwendung ungünstiger Expositionsbedingungen abgeleitet wurden. Für sehr lokale und inhomogene Immissionen (z.B. Handy, Fön, Trockenrasierer) dürfen die abgeleiteten Grenzwerte nicht angewandt werden. Einzelfallbezogen, z.B. bei sehr inhomogener Exposition, kann eine Überschreitung der abgeleiteten Grenzwerte zugelassen werden, vorausgesetzt, daß die Basisgrenzwerte eingehalten werden.

- 3.6 Die Strahlenschutzkommission stellt fest, daß bisher kein überzeugender Beweis dafür vorliegt, daß Expositionen durch statische sowie zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder sowie durch hochfrequente elektromagnetische Felder, wie sie in unserer Umgebung vorkommen, zu teratogenen Effekten oder zu einer erhöhten Krebs-Inzidenz führen. Auch nach internationaler Einschätzung bieten die derzeitigen epidemiologischen Befunde weder den Anlaß noch die Möglichkeit, Grenzwerte an ihnen auszurichten.
- 3.7 Die Strahlenschutzkommission stellt fest, daß durch die bisher durchgeführten Untersuchungen an biologischen Systemen bei Exposition im Bereich der Basisgrenzwerte keine gesundheitliche Gefährdung nachgewiesen ist.

Es wird jedoch eine Reihe biologischer Versuchsergebnisse an Zellen und Kleinlebewesen beschrieben, die einer weiteren Untersuchung hinsichtlich der gesundheitlichen Relevanz und der Übertragbarkeit auf den Menschen bedarf. Hier sieht die Strahlenschutzkommission weiteren Forschungsbedarf. Sie weist in diesem Zusammenhang auf die von ihr vorgelegten Vorschläge für Forschungsbedarf auf dem Gebiet der elektromagnetischen Felder sowie auf die internationalen Aktivitäten auf diesem Gebiet hin. Die SSK empfiehlt, in regelmäßigen Abständen die Forschungsergebnisse neu zu bewerten.

- 3.8 Die Strahlenschutzkommission stellt zur Frage zusätzlicher Expositionsbeschränkungen fest, daß die oben genannten Basisgrenzwerte und abgeleiteten Grenzwerte so festgelegt sind, daß gesundheitsschädigende Wirkungen auf Personen der Bevölkerung bei ganztägigem Aufenthalt am Einwirkungsort nach heutiger wissenschaftlicher Erkenntnis nicht eintreten können. Da Immissionen unterhalb der Grenzwerte nach dem Stand der Wissenschaft und Erfahrung den Menschen nicht gefährden, sind aus strahlenhygienischer Sicht keine zusätzlichen Feldstärkevermindierungen an Anlagen und Geräten erforderlich.

Jedoch sollte berücksichtigt werden, daß nicht selten auch technische Möglichkeiten zur weiteren Feldstärkeverringerung unterhalb der angegebenen Grenzwerte bestehen. Dem Gedanken einer zusätzlichen Feldstärkevermindering liegt u.a. die Berücksichtigung von Befürchtungen zugrunde, durch spätere Forschungsergebnisse könnten bei kleinen Feldstärken beobachtete biologische Wirkungen, die bisher als gesundheitlich unbedenklich erachtet werden, größere Bedeutung erlangen. Für einfache Reduktionsmaßnahmen hat die Strahlenschutzkommission einige Hinweise gegeben⁴⁾.

Eine zusätzliche Feldstärkereduktion kommt in erster Linie für neue Anlagen und Produkte in Frage. Für das Feldstärkeniveau infolge zusätzlicher Maßnahmen zur Feldstärkeverringerung liegen für den Bereich der Bevölkerung allgemein verbindliche Zahlen bisher

⁴⁾ Wissenschaftliche Begründung zur Empfehlung "Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch elektromagnetische Felder", Stellungnahme der SSK, verabschiedet in der 158. Sitzung am 17./18. Dezember 1998.

nicht vor. Solche Maßnahmen kommen in denjenigen Situationen in Betracht, in denen Personen über längere Zeit exponiert sind. Eine untere Grenze für eine sinnvolle Feldstärkeverminderung ist sicher dann erreicht, wenn die durch die normalen Körperfunktionen bedingten biogenen Feldstärkeniveaus um ein Mehrfaches unterschritten werden. Zusätzliche Maßnahmen zur Feldstärkeverringering unterhalb der empfohlenen Grenzwerte sollten nur dann durchgeführt werden, wenn sie technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar sind.

3.9 Die Strahlenschutzkommission hält eine fortlaufende strahlenhygienische Bewertung der Entwicklung neuer Technologien (z. B. Magnetschwebbahn, Personenidentifizierungs-Anlagen, Aufbau neuer Telekommunikationseinrichtungen, Entwicklung von Radarabstandsmessungen im Automobilbereich) und die frühzeitige Berücksichtigung von Strahlenschutzaspekten bei solchen Entwicklungen für erforderlich.

3.10 Die Strahlenschutzkommission hält es für erforderlich, die Produktnormen so zu gestalten, daß bei bestimmungsgemäßem Gebrauch der Geräte die Basisgrenzwerte eingehalten werden.

Insbesondere empfiehlt die SSK, die Einhaltung des empfohlenen Basisgrenzwertes für die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR-Werte) bei der Anwendung von Mobilfunk-Endgeräten (Handys) zu überprüfen.

3.11 Die Strahlenschutzkommission empfiehlt dem BMU, sich für eine beschleunigte Entwicklung international einheitlicher Normen für Meß- und Berechnungsverfahren durch die zuständigen Normungsgremien einzusetzen. Sie empfiehlt die Entwicklung standardisierter Phantome zur Überprüfung der Einhaltung der empfohlenen SAR-Werte von Mobilfunk-Handgeräten.

3.12 Die Strahlenschutzkommission sieht in der möglichen Störbeeinflussung von elektronischen Körperhilfen und Implantaten sowie von Medizingeräten durch elektromagnetische Felder, wie sie z.B. durch Diebstahlsicherungsanlagen oder durch Funkanwendungen erzeugt werden, ein wichtiges und bisher nicht vollständig gelöstes Problem. Dies betrifft sowohl die Abstrahlungseigenschaften der beispielhaft genannten Sicherungsanlagen oder der Funkgeräte als auch die Störanfälligkeit entsprechender Geräte (Implantate, Körperhilfen, Medizingeräte). Die Hersteller dieser Geräte sollten die Störschwellen ihrer Produkte spezifizieren und die Störfestigkeit weiter verbessern. Die technischen Möglichkeiten hierzu sind vorhanden.

3.13 Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, das von der ICNIRP vorgeschlagene Grenzwertkonzept für die Risikobewertung aller in unserer Umgebung vorkommenden Expositionsquellen anzuwenden.

Tabelle 1a: Grenzwerte der 26. BImSchV, Hochfrequenzanlagen

Frequenzbereich	Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt über 6 Minuten-Intervalle ^{a)}	
	elektrische Feldstärke in Volt pro Meter (V/m)	magnetische Feldstärke in Ampere pro Meter (A/m)
10 - 400 MHz	27,5	0,073
400 - 2000 MHz	$1,375 \sqrt{f}$	$0,0037 \sqrt{f}$
2000 - 300.000 MHz	61	0,16

^{a)} Anmerkung: Frequenz (f) in Megahertz (MHz)

Tabelle 1b: Grenzwerte der 26. BImSchV, Niederfrequenzanlagen

Frequenzbereich	Effektivwert der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flußdichte	
	elektrische Feldstärke in Kilovolt pro Meter (kV/m)	magnetische Flußdichte in Mikrottesla (μ T)
50 Hz-Felder	5	100
16 2/3 Hz-Felder	10	300

Tabelle 2: Basisgrenzwerte für die Exposition der Bevölkerung durch zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder bei Frequenzen bis zu 10 GHz bzw. zwischen 10 und 300 GHz - nach ICNIRP

Frequenzbereich 0 - 10 GHz ^{a)}	Stromdichte für Kopf und Rumpf (mA/m ²), Effektivwerte	Durchschnittliche Ganzkörper-SAR (W/kg)	Lokale SAR (Kopf und Rumpf) (W/kg)	Lokale SAR (Gliedermaßen) (W/kg)
bis 1 Hz	8	-	-	-
1 - 4 Hz	8 / f	-	-	-
4 Hz - 1 kHz	2	-	-	-
1 - 100 kHz	f / 500	-	-	-
100 kHz-10 MHz	f / 500	0,08	2	4
10 MHz-10 GHz	-	0,08	2	4

Frequenzbereich	Leistungsflußdichte (W/m ²)
10-300 GHz ^{b)}	10

^{a)} Anmerkungen:

1. f ist die Frequenz in Hertz.
2. Aufgrund der elektrischen Inhomogenität des menschlichen Körpers sollten die Stromdichten über einen Querschnitt von 1 cm² senkrecht zur Stromrichtung gemittelt werden.
3. Für Frequenzen bis 100 kHz können die Spitzenwerte für die Stromdichten erhalten werden, indem der Effektivwert mit $\sqrt{2}$ (~1,414) multipliziert wird. Für Pulse der Dauer t_p sollte die auf die Basisgrenzwerte anzuwendende Frequenz über $f = 1/(2 t_p)$ ermittelt werden.
4. Für Frequenzen bis 100 kHz und für gepulste Magnetfelder können die mit den Pulsen verbundenen maximalen Stromdichten aus den Anstiegs- und Abfallzeiten sowie der maximalen Änderungsrate der magnetischen Flußdichte berechnet werden. Die induzierte Stromdichte läßt sich dann mit den entsprechenden Basisgrenzwerten vergleichen.
5. Sämtliche SAR-Werte sind über beliebige 6-Minuten-Zeitintervalle zu mitteln.
6. Die zu mittelnde Gewebemasse für lokale SAR-Werte beträgt 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Körpergewebes; die so ermittelten SAR-Maximalwerte sollten für die Expositionsermittlung verwendet werden.

7. Für Pulse der Dauer t_p sollte die auf die Basisgrenzwerte anzuwendende Frequenz über $f=1/(2 t_p)$ ermittelt werden. Darüber hinaus wird für den Frequenzbereich von 3 bis 10 GHz und für die lokale Exposition des Kopfes ein zusätzlicher Basisgrenzwert empfohlen, um durch thermoelastische Expansion bedingte Höreffekte einzuschränken oder zu vermeiden. Danach sollte die spezifische Energieabsorption bei gepulsten Expositionen 10 mJ/kg bei Beschäftigten und 2 mJ/kg für die Normalbevölkerung nicht überschreiten, gemittelt über je 10 g Gewebe.
8. Die Basisgrenzwerte für die Stromdichte sollen akute Wirkungen im zentralnervösen Gewebe in Kopf und Rumpf vermeiden. In anderen Körpergeweben können bei entsprechender Exposition höhere Stromdichtewerte auftreten.

^{b)} Anmerkungen:

1. Leistungsflußdichten sind über eine beliebige Teilfläche von 20 cm² der exponierten Fläche und über einen $68/f^{0.05}$ -minütigen Zeitraum (wobei f in GHz anzugeben ist) zu mitteln, um die mit steigender Frequenz geringer werdenden Eindringtiefen auszugleichen.
2. Räumliche Maximal-Leistungsflußdichten, gemittelt über 1 cm², sollten das 20-fache der obigen Werte nicht überschreiten.

Tabelle 3: Abgeleitete Grenzwerte für die Exposition der Bevölkerung durch zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder (ungestörte Effektivwerte)^{c)} - nach ICNIRP

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

^{c)} Anmerkungen:

1. f ist der Zahlenwert der Frequenz in der in Spalte "Frequenzbereich" angegebenen Einheit.
2. Vorausgesetzt, daß die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden und schädliche indirekte Wirkungen ausgeschlossen werden können, dürfen die Werte für die Feldstärke überschritten werden.
3. Für Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 GHz sind S_{eq} , E^2 , H^2 und B^2 über einen beliebigen 6-Minuten-Zeitraum zu mitteln.
4. Für Spitzenwerte bei Frequenzen bis 100 kHz können die Spitzenwerte für die Stromdichten erhalten werden, indem der Effektivwert mit $\sqrt{2}$ ($\sim 1,414$) multipliziert wird. Für Pulse der Dauer t_p sollte die auf die Basisgrenzwerte anzuwendende Frequenz über $f = 1/(2 t_p)$ ermittelt werden.
5. Für Spitzenwerte bei Frequenzen über 100 kHz: Zwischen 100 kHz und 10 MHz werden die Spitzenwerte der Feldstärken durch Interpolation zwischen dem 1,5-fachen Spitzenwert bei 100 kHz und dem 32-fachen Spitzenwert bei 10 MHz erhalten. Für Frequenzen über 10 MHz wird vorgeschlagen, daß der Spitzenwert der äquivalenten Leistungsflußdichte ebener Wellen, gemittelt über die Pulsdauer, das 1000-fache der S_{eq} -Grenzwerte nicht überschreitet, bzw. daß die Feldstärke das 32-fache der in der Tabelle angegebenen Feldstärken-Expositionswerte nicht überschreitet.
6. Für Frequenzen über 10 GHz sind S_{eq} , E^2 , H^2 und B^2 über einen beliebigen $68/f^{1,05}$ -Minuten-Zeitraum zu mitteln (f in GHz).
7. Für Frequenzen < 1 Hz sind keine E-Feld-Werte angegeben, da es sich effektiv um statische elektrische Felder handelt. Bei den meisten Menschen wird die störende Wahrnehmung elektrischer Oberflächenladungen bei Feldstärken unter 25 kV/m nicht auftreten. Funkenentladungen, die Streß oder Belästigungen verursachen, sollten vermieden werden.

4 Literatur

- [BGBI 96] 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV). Bundesgesetzblatt I, S. 1966, 16.12.1996
- [EU 98] Kommission der Europäischen Gemeinschaften:
Vorschlag für eine Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder 0 Hz - 300 GHz. Dok. Kom (1998) 268 endg. vom 11.06.1998
- [ICN 94] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP:
Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields.
Health Physics 66(1): 100-106, 1994
- [ICN 97a] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP:
Proceedings of the International Seminar „Biological effects of non-thermal pulsed and amplitude modulated RF electromagnetic fields and related health risks”,
Munich, Germany, 20-21 November, 1996. ICNIRP 3/97,
Editors: J.H. Bernhardt, R. Matthes, M.H. Repacholi, 1997
- [ICN 97b] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP:
Proceedings of the International Seminar on “Biological Effects of Static and ELF Electric and Magnetic Fields and Related Health Risks”, Bologna, Italy, 4-5 June, 1997. ICNIRP 4/97,
Editors: R. Matthes, J.H. Bernhardt, M.H. Repacholi, 1997
- [ICN 98a] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP:
Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522, 1998
- [ICN 98b] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP:
Proceedings of the International Seminar „Risk Perception, Risk Communication and its Application to EMF exposure”, Vienna, Austria, 22-23 October, 1997. ICNIRP 5/98,
Editors: R. Matthes, J.H. Bernhardt, M.H. Repacholi, 1998
- [SSK 91] Strahlenschutzkommission:
Schutz vor elektromagnetischer Strahlung beim Mobilfunk. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 107. Sitzung am 12./13.12.1991. BAnz Nr. 43 vom 3.3.1992
- [SSK 95] Strahlenschutzkommission:
Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern der Energieversorgung und -anwendung. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 129. Sitzung am 16./17.02.1995. BAnz Nr. 147a vom 8. August 1995
- [SSK 99] Strahlenschutzkommission:
Funkanwendungen - Technische Perspektiven, biologische Wirkungen und Schutzmaßnahmen, Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse der SSK-Klausurtagung 1997, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 147. Sitzung am 3./4.07.1997.
Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 38, Urban und Fischer Verlag, München, 1999
- [WHO 87] United Nations Environment Programme, International Radiation Protection Association, World Health Organization:
Magnetic Fields. EHC 69, WHO, Geneva (1987)
- [WHO 93] United Nations Environment Programme, International Radiation Protection Association, World Health Organization:
Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 300 GHz. EHC 137, WHO, Geneva (1993)