



Gregor Dürrenberger¹, Jürg Fröhlich² / Februar 2020

Erläuterungen zu den neuen Strahlenschutzempfehlungen der ICNIRP für den Hochfrequenzbereich

Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)

Autoren: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)
Journal: Health Physics, 118; DOI: 10.1097/HP.0000000000001210.
Jahr: 2020
Status: Offizielle Empfehlung (ersetzt die bis anhin gültige aus dem Jahr 1998)

1. Kontext

1998 veröffentlichte die Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) ihre Grenzwertempfehlungen zu Wechselfeldern bis 300 GHz. 2010 wurden die Empfehlungen für den Frequenzbereich 1 Hz – 100 kHz revidiert und publiziert. Nun liegen, basierend auf den aktuellen Forschungserkenntnissen, auch revidierte Empfehlungen für den Frequenzbereich >100 kHz vor.

2. Das Wichtigste in Kürze

Die Berücksichtigung der neuesten Forschungsergebnisse zu gesundheitlichen Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung hat zu keinen wesentlichen Veränderungen der bisherigen Empfehlungen geführt. ICNIRP betont, dass die einzige wissenschaftlich belegte gesundheitsrelevante Wirkung die Erwärmung des Gewebes sei (bis 10 MHz muss zusätzlich die Nervenstimulation berücksichtigt werden – diese wird in der Empfehlung von 2010 geregelt). ICNIRP betont weiter, dass ihre Grenzwertempfehlung einen vorsorglichen Charakter habe (konservative Annahmen bei Berechnungen sowie Sicherheitsfaktoren zur Berücksichtigung von wissenschaftlichen Unsicherheiten und biologischer Variabilität). Zusätzliche protektive Massnahmen seien deshalb nicht nötig. Die wichtigsten Anpassungen betreffen den GHz-Bereich sowie bei den Referenzwerten die Berücksichtigung der Raumregionen einer Antenne (Fernfeld, Übergangsregion, reaktives Nahfeld).

¹ FSM

² FSM und Fields at Work GmbH



In praktischer Hinsicht bedeuten die Anpassungen gemäss ICNIRP, dass Funktechnologien – auch und insbesondere zukünftige 5G-Anwendungen – keine gesundheitlichen Schäden verursachen können, wenn die Empfehlungen eingehalten sind, denn neu: gelten die Grenzwerte für Ganzkörperexposition bis 300 GHz, werden auch kurzzeitige Expositionen (<6 Minuten) klar geregelt, und werden lokale Expositionen in den hohen Frequenzbereichen restriktiver gehandhabt.

In wissenschaftlicher Hinsicht: (1) die physikalische Grösse des Basisgrenzwerts «Leistungsdichte» wurde neu definiert, (2) die Frequenzschwellen wurden neu gelegt, (3) dadurch änderten sich in numerischer Hinsicht einige Expositionsobergrenzen und (4) die Raumregionen um Antennen werden berücksichtigt.

- (1) Der Basisgrenzwert für hohe Frequenzen ist nicht mehr die einfallende, sondern die vom Gewebe absorbierte Leistungsdichte (W/m^2). Sie entspricht der einfallenden minus der an der Oberfläche reflektierten Leistungsdichte. Es wurde auch die zur Beurteilung massgebende Fläche verringert, um den kurzen Wellenlängen gerechter zu werden. Die neuen Flächen sind auch für die Referenzwerte bindend. Unterhalb 30 GHz müssen die Leistungen auf 4 cm^2 , oberhalb 30 GHz auf 1 cm^2 bezogen werden.³
- (2) Bei den Basisgrenzwerten gilt die Ganzkörper SAR neu bis 300 GHz (früher: bis 10 GHz). Für lokale Bestrahlung gilt die SAR (über 10 g gemittelt) neu bis 6 GHz (früher: bis 10 GHz), darüber wird die absorbierte Leistungsdichte verwendet (gemittelt über 4 cm^2 , ab 30 GHz über 1 cm^2).
- (3) Die aus diesen Anpassungen resultierenden Grenzwerte betragen 20 W/m^2 für den neu definierten Basisgrenzwert (früher: 10 W/m^2) und 10 W/m^2 für den Referenzwert (unverändert). Weil sich die Werte auf kleinere Flächen beziehen, sind sie etwas restriktiver als bisher.
- (4) Die Referenzwerte hängen neu davon ab, ob die Exposition im Fernfeld, im reaktiven Nahfeld oder dazwischen (Fresnel-Region) stattfindet.

Weiterhin gilt: Ganzkörper-Expositionen sind über 30 Minuten zu mitteln, Teilkörperexpositionen über 6 Minuten. Für kurze Expositionszeiten (<6 Minuten) gelten separate Limiten, neu auch als Referenzwerte.

3. Vorgehen

Eine Arbeitsgruppe⁴ der ICNIRP verfasste den ersten Entwurf der neuen Empfehlung. Im Juli, August und September 2018 lag dieser für Korrektur- und Ergänzungsvorschläge der Öffentlichkeit zur Konsultation vor. Die eingegangenen Kommentare wurden intern gesichtet. Der finale Text wurde der Zeitschrift Health Physics zur Begutachtung eingereicht und nach letzten Korrekturen veröffentlicht. Der Prozess dauerte insgesamt 7 Jahre.

Basis für die Überarbeitung waren zwei Dokumente, die als Anhänge auch in die Konsultation eingebracht wurden: Anhang A fasste den Stand der Forschung zur Dosimetrie zusammen, Anhang B den Stand der Forschung zu biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung. Die Anhänge sind (wie der Entwurf des Haupttextes) auf der Website der ICNIRP verfügbar.⁵

³ in der alten Empfehlung: generell 20 cm^2 , plus ein räumliches Maximum (200 W/m^2) zu beziehen auf 1 cm^2

⁴ Rodney Croft (Vorsitz), Guglielmo D'Inzeo, Maria Feychting, Akimasa Hirata, Kari Jokela, Sarah Loughran, Carmela Marino, Gunnhild Oftedal, Eric van Rongen, Martin Rösli, Zenon Sienkiewicz, John Tattersall, Soichi Watanabe.

⁵ <https://www.icnirp.org/en/activities/public-consultation/consultation-1.html>



4. Herleitung der Grenzwerte

Ziel der Empfehlungen ist es, die Menschen vor gesundheitlichen Schäden aufgrund von in Beruf und Alltag anzutreffenden EMF-Expositionen zu schützen. Nicht eingeschlossen sind Expositionen in Medizin und Forschung. Die Empfehlungen sind «zweigeteilt»: für Menschen, die beruflich mit elektromagnetischen Feldern arbeiten und entsprechend geschult sind, gelten weniger restriktive Limiten als für den Rest der Bevölkerung. Schwangere zählen wegen des werdenden Kindes zur Kategorie «allgemeine Bevölkerung», sind also am Arbeitsplatz stärker geschützt als nicht-Schwangere.

Die Basis für die Grenzwertfestsetzung bilden alle wissenschaftlich belegten gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung. ICNIRP berücksichtigt keine denkbaren, befürchteten, behaupteten oder politisch diskutierten Risiken, sondern nur was als wissenschaftliche Evidenz verifiziert vorliegt. Aus diesen Arbeiten wird die gesundheitsschädliche Schwelle, die nicht überschritten werden sollte, abgeleitet. Sodann wird festgelegt, welche Dosis nötig ist, um diese Schwelle zu erreichen. Um ein Überschreiten des Schwellenwerts sicher zu verhindern, wird ein Reduktionsfaktor als Marge eingebaut. Dabei werden für die allgemeine Bevölkerung grössere Reduktionsfaktoren verwendet als für Berufstätige, die mit EMF zu tun haben. Die so erhaltene Dosis wird Basisgrenzwert genannt. Weil Körperdosen nicht einfach zu ermitteln sind, werden als einfacher messtechnischer «Ersatz» die Feldstärken bzw. Leistungsdichten der einstrahlenden Felder als Grenzwerte definiert. ICNIRP nennt diese Grenzwerte Referenzwerte. Ihnen liegen worst-case Annahmen zu Grunde, damit der Basisgrenzwert nicht überschritten wird, wenn der Referenzwert eingehalten ist (umgekehrt ist bei Überschreitung des Referenzwertes, wegen der konservativen Annahmen der Basisgrenzwert oft nicht erreicht). Je nach Feldsituation (Fernfeld, Nahfeld, reaktives Nahfeld), gelten andere Grenzwertkalküle.

5. Stand des Wissens

Die Literaturanalyse (Anhang B, siehe oben) basiert auf zwei umfassenden Reviewberichten sowie auf wichtigen, seit Erscheinen dieser Berichte publizierten Artikeln. Bei den Reviews handelt es sich zum einen um den Entwurf der WHO zu den «Environmental Health Criteria» zur Hochfrequenzstrahlung von 2014, zum andern um den Bericht der von der EU einberufenen Expertenkommission SCENIHR aus dem Jahr 2015. Die Schlussfolgerungen aus der Literaturanalyse:

Es gibt keine Evidenz, dass Hochfrequenzstrahlung Krankheiten wie Krebs verursacht. Es gibt keine Evidenz, dass Hochfrequenzstrahlung gesundheitliche Effekte jenseits der bekannten Wirkmechanismen zeitigt. Die bekannten Wirkmechanismen sind: Nervenstimulation⁶, Elektroporation⁷ und Erwärmung.

Figur 1 zeigt die Einschätzung der ICNIRP über die gesundheitlichen Risiken von Hochfrequenzstrahlung im Vergleich mit Beurteilungen anderer Gremien und Institutionen. Die 4 Evidenzkategorien sind im Wesentlichen selbsterklärend, Interessierte können aber die methodischen Details der Begriffe im angegebenen Link (in der Legende) nachlesen.

⁶ In der Empfehlung zu niederfrequenten Feldern behandelt

⁷ Im Alltag nicht anzutreffen. Die Grenzwerte für thermische Wirkung sind deutlich restriktiver als die für Elektroporation (Erhöhung der molekularen Durchlässigkeit der Zellmembran) nötigen Feldstärken



Endpunkt	EFHRAN	ANSES	SCENIHR	ICNIRP	SSM	FSM	
Krebs	Kopfbereich	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	Tendenz zu Risikoabwesenheit
	andere Tumore	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	Inkonsistente Resultate
Neurodegeneration	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Inkonsistent bei Tierstudien, kaum Humanstudien
Fertilität	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Keine robusten Hinweise auf Schäden
Entwicklung	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Kaum Humanstudien, Tierstudien Tendenz zu keine Effekte
Herz-Kreislauf-System	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Physiologische Effekte möglich, Tendenz zu keine Effekte
EEG	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Physiologische Effekte, Bedeutung und Auswirkungen unklar
Kognition	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Gesundheitlich kaum relevante Effekte
Schlaf	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Einige Studien mit Effekten
Blut-Hirn-Schranke	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Alle Hinweise für Risikoabwesenheit
Verhalten Kinder	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Eher Nutzung als Strahlung für Effekte verantwortlich
unspezifische Symptome/EHS	Wohlbefinden	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	Recht robuste Evidenz gegen kausale Verursachung
	Nozebo	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	keine Hinweise	Mehrfache Hinweise, als Ursache offen

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

Figur 1: Risikoeinschätzung der ICNIRP im Vergleich mit anderen Institutionen. Herkunft der Institutionen: EFHRAN, SCENIHR: EU; ANSES: F; SSM: S; FSM: CH. Quelle: <https://www.emf.ethz.ch/de/angebot/veroeffentlichungen/mobilfunk-ein-risiko/>

6. Schwellenwerte, Reduktionsfaktoren, Basisgrenzwerte

Bei den thermischen Effekten unterscheidet ICNIRP zwischen «Mikrowellenhören», lokaler Erwärmung von Gewebe und Ganzkörpererwärmung. Das Mikrowellenhören (ein «Klicken» bei kurzen, sehr starken Sendeimpulsen – etwa Radar – im Frequenzbereich 300 MHz – 10 GHz) wird nicht berücksichtigt, da es kein schädlicher Effekt ist.

Als medizinisch relevante Schwellenwerte von Temperaturerhöhungen werden angegeben: 5 °C für Haut, Fett, Muskeln und Knochen; 2 °C für Gewebe des Kopfs (Augen, Hirn, Drüsen) und des Torsos (innere Organe, inkl. Hoden); 1 °C für die Körperkerntemperatur. Diese Werte werden als konservativ angesehen.

Die Einwirkungszeiten die nötig sind, um via Thermoregulation höhere Gleichgewichtstemperaturen zu erreichen, betragen für den Körperkern um 30 Minuten, für lokal exponierte Gewebe um 6 Minuten. Für kurze Expositionszeiten unter 6 Minuten mit vergleichsweise starker Strahlung gelten separate Limiten.

Welche Expositionen bewirken die oben erwähnten Temperaturerhöhungen? Für eine um 1 °C höhere Körperkerntemperatur ist ein Energieeintrag von 4 – 6 W/kg über den Körper gemittelt während 30 Min. notwendig (gilt für alle Frequenzen von 100 kHz – 300 GHz). Für die lokale Erwärmung von Fett, Haut, Muskeln und Knochen um 5 °C sind bei Frequenzen unter 6 GHz Strahlungsleistungen pro kg Gewebe (gemittelt über einen Würfel von 10 g) von ca. 40 W/kg während 6 Min. notwendig, für die Erwärmung des restlichen Gewebes (in Kopf und Torso) um 2 °C solche von ca. 20 W/kg während 6 Min.



Für Frequenzen oberhalb 6 GHz (sie dringen kaum mehr in den Körper ein), wird als physikalisches Mass des Energieeintrags nicht mehr die SAR⁸ in W/kg verwendet, sondern die von der Haut absorbierte Leistungsdichte in W/m². Für Frequenzen von 6 – 300 GHz wird als Bezugsfläche (analog den 10 g Gewebe bei der SAR) 4 cm² angegeben, bei Frequenzen > 30 GHz muss zusätzlich ein über 1 cm² gemittelter Wert eingehalten sein. Damit wird den kleineren Einstrahlungsflächen von Millimeterwellen Rechnung getragen. Für eine lokale Erwärmung von 5 °C sind absorbierte Leistungsdichten von ca. 200 W/m² während 6 Min. nötig.⁹ Wegen der geringen Eindringtiefe dieser hohen Frequenzen sind damit die inneren Gewebe von Kopf und Torso vor Übererwärmung (> 2 °C) geschützt.

Um gesundheitsgefährdende Energieeinträge sicher zu vermeiden, werden die Grenzwerte deutlich unterhalb der oben gelisteten biologischen Schwellen gelegt. Dazu führt die ICNIRP Sicherheits- oder Reduktionsfaktoren ein. Sie tragen auch wissenschaftlichen Unsicherheiten und biologischer Variabilität Rechnung. Für Berufstätige, die mit erhöhter Strahlung zu tun haben, sind die Faktoren kleiner als für die allgemeine (ungeschulte) Bevölkerung. Für die Ganzkörperexposition betragen die Margen Faktor 10 (Beruf) bzw. Faktor 50 (Bevölkerung), für lokale Expositionen Faktor 2 bzw. Faktor 10.

		100 kHz - 6 GHz	6 GHz - 30 GHz	30 GHz - 300 GHz
Ganzkörper- exposition	Schwellenwert	1 °C		
	nötige Exposition	4 W/kg		
	Dauer	30 Min.		
	Volumen/Fläche	ganzer Körper		
	Reduktionsfaktor	50		
	Basisgrenzwert	0.08 W/kg		
Lokale Exposition (Auge, Hirn, innere Organe)	Schwellenwert	2 °C		
	nötige Exposition	20 W/kg	200 W/m ²	
	Dauer	6 Min.		
	Masse/Fläche	10 g	4 cm ²	*
	Reduktionsfaktor	10		
	Basisgrenzwert	2 W/kg	20 W/m ²	**
Lokale Exposition (Haut, Fett, Muskeln, Glieder)	Schwellenwert	5 °C		
	nötige Exposition	40 W/kg	200 W/m ²	
	Dauer	6 Min.		
	Masse/Fläche	10 g	4 cm ²	*
	Reduktionsfaktor	10		
	Basisgrenzwert	4 W/kg	20 W/m ²	**

Figur 2: Kennzahlen zur Herleitung der Basisgrenzwerte, nach Expositionsarten und Frequenzbereichen für die durchschnittliche Exposition (≥6 Min.) der allgemeinen Bevölkerung (zusätzliche Restriktionen im Bereich > 30 GHz: * Mittelung über 1 cm²; ** 40 W/m²)

⁸ SAR = spezifische Absorptionsrate

⁹ Als Vergleich: Ab einer Einstrahlung von 120 W/m² wird Sonnenschein angenommen (gemessen werden mit Heliographen v.a. das sichtbare Licht und Infrarot, also Frequenzen >300 GHz)



Kritische Exposition mal Reduktionsfaktor ergibt den Basisgrenzwert. Für die Ganzkörperexposition beläuft er sich über das ganze Frequenzspektrum von 100 kHz – 300 GHz für beruflich mit EMF operierende Beschäftigte auf 0.4 W/kg, für die allgemeine Bevölkerung auf 0.08 W/kg. Für lokale Expositionen unterhalb 6 GHz von Kopf und Torso beträgt er 10 W/kg (Beruf) und 2 W/kg (Bevölkerung), von Haut und Extremitäten 20 W/kg und 4 W/kg. Für lokale Expositionen oberhalb 6 GHz gilt für alle Gewebe eine absorbierte Leistungsdichten von 100 W/m² (Beruf) bzw. 20 W/m² (Bevölkerung).

Für starke Felder, die Gewebe kurzzeitig (<6 Minuten) exponieren, gelten separate Limiten in Abhängigkeit von der Einwirkungszeit (in kJ/kg, gemittelt über 10 g Gewebe, unter 6 GHz; in kJ/m², gemittelt über 4 cm² zwischen 6 und 30 GHz, gemittelt über 1 cm² oberhalb 30 GHz). Bei Frequenzen <6 GHz wird zwischen Kopf/Torso und Extremitäten unterschieden, wobei für Extremitäten weniger restriktive Werte gelten, bei Frequenzen >6 GHz entfällt diese Unterscheidung, weil die Energieabsorption nur noch in der Haut bzw. oberflächlich stattfindet.

7. Referenzwerte

Weil sich die Basisgrenzwerte auf körperinterne Dosen beziehen, die nicht auf einfache Art und Weise ermittelt werden können, werden für die Praxis sog. Referenzwerte definiert. Bei diesen handelt es sich um körperexterne Feldstärken oder Leistungsdichten der einfallenden Felder. Sie können vergleichsweise einfach gemessen werden. Die Referenzwerte sind mit Computerberechnungen (Simulationen) und Labormessungen festgelegt worden. Dabei kamen konservative Annahmen zum Einsatz, so dass in beinahe allen Fällen die Referenzwerte restriktiver sind als die Basisgrenzwerte. Es ist deshalb so, dass bei Überschreitung eines Referenzwertes der zugehörige Basisgrenzwert meist noch respektiert wird. Um die Grenzwertempfehlung zu erfüllen, genügt es nachzuweisen, dass entweder der Referenzwert oder der Basisgrenzwerte eingehalten ist. Wenn ein Referenzwert überschritten wird, muss mit Computersimulationen und Messungen dosimetrisch gezeigt werden, ob bzw. dass der Basisgrenzwert respektiert ist.

Referenzwerte für Ganzkörperexposition (Figur 3): Je nach Distanz zur Antenne müssen einer oder mehrere der gelisteten Grenzwerte erfüllt sein. Unterschieden werden drei Distanzzonen in Abhängigkeit von Wellenlänge und Antennendimension: Fernfeld, reaktives Nahfeld und die Zone dazwischen (Fresnel-Region). Wo welche Referenzwerte eingehalten sein müssen, wird in den Fussnoten der Tabelle in Figur 3 erklärt. In Fernfeldsituationen zum Beispiel müssen zwischen 30 MHz und 2 GHz die Grenzwerte entweder für das elektrische Feld oder für das magnetische Feld oder für die Leistungsflussdichte eingehalten sein, im reaktiven Nahfeld dagegen müssen in diesem Frequenzbereich die Grenzwerte sowohl für das elektrische als auch für das magnetische Feld respektiert werden. Oberhalb 2 GHz wird nur noch die Leistungsflussdichte als Referenzwert verwendet. Im reaktiven Nahfeld sind keine Referenzwerte sinnvoll anwendbar. Hier muss der Basisgrenzwert eingehalten werden.

Hinsichtlich der NISV ergeben sich aus den neuen Empfehlungen keine Änderungen betreffend Immissionen von Basisstationen. Die Referenzwerte für die Ganzkörperexposition in den relevanten Frequenzbereichen bei Fernfeldbedingungen haben sich materiell nicht verändert.



Exposure scenario	Frequency range	Incident E-field strength; E_{inc} (V m ⁻¹)	Incident H-field strength; H_{inc} (A m ⁻¹)	Incident power density; S_{inc} (W m ⁻²)
Occupational	0.1 – 30 MHz	$660/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	61	0.16	10
	>400 – 2000 MHz	$3f_M^{0.5}$	$0.008f_M^{0.5}$	$f_M/40$
	>2 – 300 GHz	NA	NA	50
General public	0.1 – 30 MHz	$300/f_M^{0.7}$	$2.2/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	27.7	0.073	2
	>400 – 2000 MHz	$1.375f_M^{0.5}$	$0.0037f_M^{0.5}$	$f_M/200$
	>2 – 300 GHz	NA	NA	10

^aNote:

1. “NA” signifies “not applicable” and does not need to be taken into account when determining compliance.
2. f_M is frequency in MHz.
3. S_{inc} , E_{inc} , and H_{inc} are to be averaged over 30 min, over the whole-body space. Temporal and spatial averaging of each of E_{inc} and H_{inc} must be conducted by averaging over the relevant square values (see eqn 8 in Appendix A for details).
4. For frequencies of 100 kHz to 30 MHz, regardless of the far-field/near-field zone distinctions, compliance is demonstrated if neither E_{inc} or H_{inc} exceeds the above reference level values.
5. For frequencies of >30 MHz to 2 GHz: (a) within the far-field zone: compliance is demonstrated if either S_{inc} , E_{inc} or H_{inc} , does not exceed the above reference level values (only one is required); S_{eq} may be substituted for S_{inc} ; (b) within the radiative near-field zone, compliance is demonstrated if either S_{inc} , or both E_{inc} and H_{inc} , does not exceed the above reference level values; and (c) within the reactive near-field zone: compliance is demonstrated if both E_{inc} and H_{inc} do not exceed the above reference level values; S_{inc} cannot be used to demonstrate compliance, and so basic restrictions must be assessed.
6. For frequencies of >2 GHz to 300 GHz: (a) within the far-field zone: compliance is demonstrated if S_{inc} does not exceed the above reference level values; S_{eq} may be substituted for S_{inc} ; (b) within the radiative near-field zone, compliance is demonstrated if S_{inc} does not exceed the above reference level values; and (c) within the reactive near-field zone, reference levels cannot be used to determine compliance, and so basic restrictions must be assessed.

Figur 3: Referenzwerte für Ganzkörperexposition

Exposure scenario	Frequency range	Incident E-field strength; E_{inc} (V m ⁻¹)	Incident H-field strength; H_{inc} (A m ⁻¹)	Incident power density; S_{inc} (W m ⁻²)
Occupational	0.1 – 30 MHz	$1504/f_M^{0.7}$	$10.8/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	139	0.36	50
	>400 – 2000 MHz	$10.58f_M^{0.43}$	$0.0274f_M^{0.43}$	$0.29f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	NA	NA	200
	>6 – <300 GHz	NA	NA	$275/f_G^{0.177}$
	300 GHz	NA	NA	100
General public	0.1 – 30 MHz	$671/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	62	0.163	10
	>400 – 2000 MHz	$4.72f_M^{0.43}$	$0.0123f_M^{0.43}$	$0.058f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	NA	NA	40
	>6 – 300 GHz	NA	NA	$55/f_G^{0.177}$
300 GHz	NA	NA	20	

^a Note:

1. “NA” signifies “not applicable” and does not need to be taken into account when determining compliance.
2. f_M is frequency in MHz; f_G is frequency in GHz.
3. S_{inc} , E_{inc} , and H_{inc} are to be averaged over 6 min, and where spatial averaging is specified in Notes 6–7, over the relevant projected body space. Temporal and spatial averaging of each of E_{inc} and H_{inc} must be conducted by averaging over the relevant square values (see eqn 8 in Appendix A for details).
4. For frequencies of 100 kHz to 30 MHz, regardless of the far-field/near-field zone distinctions, compliance is demonstrated if neither peak spatial E_{inc} or peak spatial H_{inc} , over the projected whole-body space, exceeds the above reference level values.
5. For frequencies of >30 MHz to 6 GHz: (a) within the far-field zone, compliance is demonstrated if one of peak spatial S_{inc} , E_{inc} or H_{inc} , over the projected whole-body space, does not exceed the above reference level values (only one is required); S_{eq} may be substituted for S_{inc} ; (b) within the radiative near-field zone, compliance is demonstrated if either peak spatial S_{inc} , or both peak spatial E_{inc} and H_{inc} , over the projected whole-body space, does not exceed the above reference level values; and (c) within the reactive near-field zone: compliance is demonstrated if both E_{inc} and H_{inc} do not exceed the above reference level values; S_{inc} cannot be used to demonstrate compliance; for frequencies >2 GHz, reference levels cannot be used to determine compliance, and so basic restrictions must be assessed.
6. For frequencies of >6 GHz to 300 GHz: (a) within the far-field zone, compliance is demonstrated if S_{inc} , averaged over a square 4-cm² projected body surface space, does not exceed the above reference level values; S_{eq} may be substituted for S_{inc} ; (b) within the radiative near-field zone, compliance is demonstrated if S_{inc} , averaged over a square 4-cm² projected body surface space, does not exceed the above reference level values; and (c) within the reactive near-field zone reference levels cannot be used to determine compliance, and so basic restrictions must be assessed.
7. For frequencies of >30 GHz to 300 GHz, exposure averaged over a square 1-cm² projected body surface space must not exceed twice that of the square 4-cm² restrictions.



Figur 4: Referenzwerte für lokale Exposition bei Einstrahlungszeiten ≥ 6 Min.

Neu definiert wurden Referenzwerte für lokale Expositionen >400 MHz (für Frequenzen unterhalb 400 MHz schützt der Referenzwert für Ganzkörperexposition ausreichend vor lokalen Überexpositionen). Es wird wie bei den Basisgrenzwerten zwischen kurz- und langzeitigen (≥ 6 Minuten) Expositionen, sowie Nah- und Fernfeldbedingungen unterschieden (Figur 4 für Langzeitexposition). Diese neu eingeführten Referenzwerte sind eine Option, um Geräten eine einfache Grenzwertprüfung zu ermöglichen. Wo keine Referenzwerte anwendbar sind, gilt der Basisgrenzwerte.

Für starke Felder >400 MHz die Gewebe kurzzeitig (unter 6 Minuten) exponieren, gelten separate Limiten (in kJ/m^2) in Abhängigkeit von der Einwirkungszeit (Pulslänge).

Zuletzt: Für Kontaktströme im Frequenzbereich 100 kHz – 110 MHz sind keine fixen Limiten mehr vorgesehen, sondern es wird «guidance» angeboten, also Hinweise, wie die in der Regel komplexen Situationen eingeschätzt werden sollen um kritische Körperableitströme zu vermeiden. Ab ca. 50 mA können Erwachsene Ableitströme im oben erwähnten Frequenzbereich als schmerzhaft empfinden. Der Referenzwert für die allgemeine Bevölkerung wird bei 45 mA angesetzt. ICNIRP empfiehlt für Erwachsene (allgemeinen Bevölkerung) maximale Ströme von 20 mA, für Kinder solche von 10 mA.

8. Fazit

Die Empfehlungen der ICNIRP basieren auf wissenschaftlichen Fakten. Nicht bestätigte und erhärtete Studienbefunde fliessen nicht in die Grenzwertfestsetzung ein. Gemäss ICNIRP hat die Forschung der letzten 20 Jahre keine Evidenzen für nicht-thermische Effekte geliefert. Die neue Richtlinie zum Schutz des Menschen vor Hochfrequenzstrahlung basiert deshalb nach wie vor auf den bisher bekannten Wirkmechanismen, insbesondere der Erwärmung.

Die Grenzwerte sind so bemessen, dass substanzielle Sicherheitsmargen eingebaut sind und zusätzliche Emissionsbegrenzungen als nicht notwendig erachtet werden.

Im Vergleich zur Empfehlung von 1998 ist die nun vorliegende Fassung komplexer, insbesondere weil bei den Referenzwerten Antennenregionen berücksichtigt werden. Sodann wurden im GHz-Bereich Anpassungen vorgenommen. Für die Praxis verändern diese in den meisten Fällen wenig. Die bisherigen Referenzwerte für Ganzkörperexpositionen (diese liegen den Immissionsgrenzwerten der schweizerischen Schutzverordnung, der NISV, zu Grunde) bleiben für die Mobilfunkfrequenzen unverändert.

Für lokale Expositionen (Geräte die nahe am Körper verwendet werden) wurden etliche Anpassungen, basierend auf den neuesten Erkenntnissen der Dosimetrie, vorgenommen. Neu sind hier auch Referenzwerte definiert. Unter dem Strich resultierten etwas restriktivere Limiten für lokale Einstrahlungen von Frequenzen ≥ 6 GHz. Man beachte: die numerische Grösse des Basisgrenzwerts für lokale Expositionen ist in der neuen Empfehlung zwar doppelt so gross wie in der alten ($20 \text{ W}/\text{m}^2$, bisher $10 \text{ W}/\text{m}^2$), aber er bezieht sich einerseits auf eine kleinere Fläche (frequenzabhängig 4 cm^2 oder 1 cm^2 , bisher 20 cm^2) und andererseits auf die absorbierte und nicht mehr auf die einfallende Strahlungsleistung.

Insgesamt bekräftigt die ICNIRP ihre Grenzwertphilosophie und bestätigt im Wesentlichen die bisherigen Empfehlungen. Anpassungen wurden v.a. für Nahfeldsituationen sowie im



GHz und Millimeterwellenbereich getätigt, also dort wo die dosimetrische Forschung in den letzten Jahren genauere Aussagen und Analysen erzielt hat.