
Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Steeds meer worden mensen blootgesteld aan elektromagnetische velden in het radio-frequente gebied, in dit rapport gedefinieerd als het gebied tussen 300 hertz (Hz) en 300 gigahertz (GHz = 10^9 Hz). Voorbeelden van bronnen zijn radio- en televisiezenders, draagbare telefoons en radarinstallaties. Onder bepaalde omstandigheden kan een dergelijke blootstelling negatieve gevolgen voor de gezondheid hebben. Het in acht nemen van blootstellingslimieten zorgt ervoor dat de kans daarop klein is. In dit advies beveelt een commissie van de Gezondheidsraad limieten aan voor blootstelling onder verschillende omstandigheden. Het is een actualisering van een advies van de Gezondheidsraad uit 1975 over dit onderwerp.

Frequentiegebieden

De werking van elektromagnetische velden op levende organismen verloopt via verschillende mechanismen, afhankelijk van de frequentie van de velden.

In het gebied van de lage frequenties, 300 Hz tot 1 megahertz (MHz = 10^6 Hz), worden elektrische stromen in het lichaam opgewekt. Deze kunnen biologische systemen beïnvloeden. Zij kunnen bijvoorbeeld invloed hebben op de informatieverwerkende processen in het centrale zenuwstelsel. Dit kan tot uitdrukking komen in stimulatie van zenuwen en spieren en in onvrijwillige bewegingen. De relevante dosimetrische eenheid in dit frequentiebereik is de stroomdichtheid, uitgedrukt in ampère per vierkante meter (A/m^2) of milliampère per vierkante meter ($mA/m^2 = 10^{-3} A/m^2$).

In het intermediaire frequentiegebied, 100 kilohertz (kHz = 10^3 Hz) tot 10 GHz, resulteert de absorptie van elektromagnetische energie in de opwekking van warmte. Het vermogen van een organisme om warmte te verdragen is hier de beperkende factor. De dosimetrise eenheid die hierbij hoort is de 'specific absorption rate' (SAR), de opgenomen hoeveelheid energie per massa-eenheid, uitgedrukt in watt per kilogram (W/kg). In het frequentiegebied tussen 100 kHz en 1 MHz vindt een geleidelijke overgang plaats van stroomdichtheid naar SAR als belangrijkste dosimetrise factor. Daarom zijn in dit gebied beide grootheden van toepassing.

In het bovenste frequentiegebied, 10 GHz tot 300 GHz, wordt de energie van de elektromagnetische velden met toenemende frequentie in toenemende mate geabsorbeerd aan het lichaamsoppervlak. Hierdoor vindt opwarming plaats van vooral de huid. Deze opwarming is direct gerelateerd aan de vermogensdichtheid (de 'stralingssterkte') van de elektromagnetische velden. Daarom wordt in dit frequentiegebied de vermogensdichtheid beschouwd als de relevante dosimetrise eenheid. Deze wordt uitgedrukt in watt per vierkante meter (W/m^2).

Basisbeperkingen

De commissie meent dat, om nadelige gevolgen voor de gezondheid te voorkomen, bepaalde niveaus van de stroomdichtheid, de SAR en de vermogensdichtheid niet zouden moeten worden overschreden. Zij gebruikt voor deze gezondheidskundige advieswaarden de benaming 'basisbeperkingen'.

Bij het vaststellen van deze basisbeperkingen maakt de commissie een onderscheid tussen beroeps- en algemene bevolking. De beroepsbevolking definieert zij als die volwassenen die in het kader van de uitoefening van hun beroep blootgesteld kunnen worden aan elektromagnetische velden en die als gevolg van voorlichting ter zake bekend zijn met de daaraan verbonden risico's en met adequate veiligheidsmaatregelen. In het kader van dit advies vallen dus niet alle werkenden onder het begrip beroepsbevolking. Als regel vormt de beroepsbevolking een homogene groep relatief gezonde mensen, terwijl de algemene bevolking ook bestaat uit oudere, jongere, zieke en zwakke personen bij wie het temperatuurreguleringsmechanisme minder goed kan functioneren. Daarom zijn de in dit advies voorgestelde basisbeperkingen voor de algemene bevolking lager dan die voor de beroepsbevolking.

Tabel 1 geeft een samenvatting van de basisbeperkingen die de commissie voorstelt.

Tabel 1 Basisbeperkingen.

frequentiegebied	stroomdichtheid (mA/m ²)		SAR (W/kg) ^a		vermogensdichtheid (W/m ²) ^b	
	beroeps-bevolking	algemene bevolking	beroeps-bevolking	algemene bevolking	beroeps-bevolking	algemene bevolking
300 Hz - 1 kHz	10	2				
1kHz - 100 kHz	$f/100$ ^c	$f/500$ ^c				
100 kHz - 10 MHz	$f/100$ ^c	$f/500$ ^c	0,4	0,08		
10 MHz - 10 GHz			0,4	0,08		
10 GHz - 300 GHz					100	$6,727 \times f^{0,473}$ ^d

^a middelingstijd = 6 minuten

^b middelingstijd = $68 / f^{1,05}$ minuten (frequentie f in GHz)

^c frequentie f in Hz

^d frequentie f in GHz

Afgeleide blootstellingslimieten

In de praktijk is het niet mogelijk om de SAR of de geïnduceerde stroom in een mens te meten. Daarom stelt de commissie voor om eenvoudiger meetbare grootheden te gebruiken: de veldsterktes van het ongestoorde elektrische en magnetische veld. De limieten voor deze grootheden worden afgeleid van de basisbeperkingen.

Bij het bepalen van de blootstellingslimieten voor het elektrische veld heeft de commissie behalve met de basisbeperkingen ook rekening gehouden met mogelijke indirecte effecten. Deze kunnen het gevolg zijn van contactstromen, die optreden bij aanraking van grote niet-geaarde metalen voorwerpen die opgeladen zijn door het elektrische veld.

De door de commissie voorgestelde blootstellingslimieten voor het elektrische en magnetische veld zijn vermeld in de tabellen 2 en 3.

Blootstelling van delen van het lichaam

De commissie meent dat bij gedeeltelijke blootstelling van het lichaam een hogere energieopname per massa-eenheid toelaatbaar is dan wanneer het gehele lichaam blootgesteld wordt. Zij stelt een maximale SAR van 10 W/kg voor, gemiddeld over 10 gram weefsel, voor blootstelling van het hoofd, de nek en de romp, en een SAR van 20 W/kg gemiddeld over 100 gram weefsel voor blootstelling van ledematen. Deze waarden hebben betrekking op de beroepsbevolking. De overeenkomstige SAR-limieten voor de algemene bevolking zijn respectievelijk 2 en 4 W/kg. Een

Tabel 2 Voorgestelde maximale sterktes voor het elektrisch veld.

frequentie	elektrische veldsterkte (volt per meter, V/m)			
	beroepsbevolking		algemene bevolking	
	geen indirecte effecten	indirecte effecten mogelijk		
300 Hz - 2,04 kHz	$1250 / f$	$500 / f$	$250 / f$	(f in kHz)
2,04 kHz - 2,58 kHz	614	$500 / f$	$250 / f$	(f in kHz)
2,58 kHz - 2,88 kHz	614	194	$250 / f$	(f in kHz)
2,88 kHz - 1 MHz	614	194	87	
1 MHz - 10 MHz	$614 / f$	$194 / f^{0,5}$	$87 / f^{0,5}$	(f in MHz)
10 MHz - 400 MHz	61	61	28	
400 MHz - 2 GHz	$118 \times f^{0,72}$	$118 \times f^{0,72}$	$53 \times f^{0,72}$	(f in GHz)
2 GHz - 10 GHz	194	194	87	
10 GHz - 300 GHz	194	194	$78 \times f^{0,16}$	(f in GHz)

waarde van 2 W/kg gemiddeld over 10 gram weefsel is ook van toepassing op blootstelling van de foetus. Ook voor het bepalen van deze SAR-waarden geldt een middelingstijd van zes minuten.

Tabel 3 Voorgestelde maximale magnetische fluxdichtheid en magnetische veldsterkte.

frequentie	magnetische fluxdichtheid (microtesla, μ T)		magnetische veldsterkte (ampère per meter, A/m)		
	beroepsbevolking	algemene bevolking	beroepsbevolking	algemene bevolking	
300 Hz - 1,0 kHz	$25 / f$	$5 / f$	$20 / f$	$4 / f$	(f in kHz)
1,0 kHz - 80 kHz	25	5	20	4	
80 kHz - 180 kHz	$2,0 / f$	5	$1,6 / f$	4	(f in MHz)
180 kHz - 10 MHz	$2,0 / f$	$0,92 / f$	$1,6 / f$	$0,73 / f$	(f in MHz)
10 MHz - 400 MHz	0,2	0,09	0,16	0,07	
400 MHz - 2 GHz	$0,39 \times f^{0,73}$	$0,17 \times f^{0,73}$	$0,31 \times f^{0,72}$	$0,14 \times f^{0,74}$	(f in GHz)
2 GHz - 10 GHz	0,65	0,29	0,52	0,23	
10 GHz - 300 GHz	0,65	$0,26 \times f^{0,16}$	0,52	$0,21 \times f^{0,16}$	(f in GHz)

Kortdurende blootstelling

Bij blootstelling gedurende korte tijd, dat wil zeggen minder dan 6 minuten, zijn hogere SAR-waarden toelaatbaar, zolang de SAR gemiddeld over elke periode van 6 minuten de advieswaarden niet overschrijdt.

Blootstelling aan meerdere frequenties tegelijk

In de praktijk komt meestal gelijktijdige blootstelling aan elektromagnetische velden met verschillende frequenties voor. De commissie beveelt aan voor het bepalen van de blootstellingslimieten in dergelijke gevallen de vermogensdichtheden of de gekwadrateerde elektrische of magnetische veldsterktes voor de verschillende frequenties, uitgedrukt als fractie van de respectievelijke limietwaarden, op te tellen. De uitkomst van die optelling mag niet meer zijn dan 1.

Gepulste velden

De commissie concludeert dat de effectiviteit van gepulste elektromagnetische velden overeenkomt met die van continue velden. Zij stelt daarom voor blootstelling aan gepulste velden dezelfde limieten voor als voor continue velden.

Contactstroom

De commissie doet de volgende aanbevelingen met betrekking tot maximaal toelaatbare waarden voor contactstroom. Voor frequenties tussen 300 Hz en 2,5 kHz dient een stroomsterkte van 1,0 mA niet overschreden te worden, voor het frequentiegebied van 2,5 kHz tot 100 kHz is de limiet $0,4 \times f$ kHz (f = frequentie in kHz) en voor het gebied tussen 100 kHz en 10 MHz geldt een maximumwaarde van 40 mA. Deze waarden gelden voor de beroepsbevolking. De limieten voor de algemene bevolking zijn een factor 2 lager.

0.1 Het gebruik van draagbare telefoons en enkele andere specifieke blootstellingssituaties

De commissie geeft aan het eind van dit advies een korte beschouwing over de gevolgen van de voorgestelde limieten voor enkele specifieke, frequent voorkomende blootstellingssituaties: het gebruik van draagbare telefoons, industriële seal-apparatuur en verwarmingstoestellen bij fysiotherapie.

Zij concludeert dat de beschikbare wetenschappelijke gegevens er niet op duiden dat de absorptie van stralingsenergie afkomstig van draagbare

radiotelecommunicatieapparatuur, zoals draagbare telefoons, een gevaar oplevert voor de gezondheid, mits deze apparatuur op een normale wijze gebruikt wordt. Zij wijst er echter op dat er slechts zeer weinig gegevens over de energieabsorptie zijn. Zij beveelt aan om meer gegevens te verkrijgen over SAR-waarden in het hoofd die het gevolg zijn van blootstelling aan door draagbare telefoons uitgezonden elektromagnetische velden. Hierbij dienen verscheidene types telefoons van elk systeem dat in Nederland in gebruik is, digitaal en analoog, onderzocht te worden. De commissie acht voorlopig de methode om SAR-waarden te bepalen door middel van metingen in fantomen het meest betrouwbaar. Zij meent dat de ontwikkelde computermodellen voor de berekening van de SAR niet nauwkeurig genoeg zijn om een adequate beschrijving van de SAR in het hoofd te geven en bepleit daarom optimalisering van deze modellen.

De elektromagnetische velden die door draagbare telefoons gegenereerd worden kunnen een indirecte bedreiging vormen voor de gezondheid wanneer zij door middel van elektromagnetische interferentie de werking van vitale medische apparatuur verstoren. De commissie onderschrijft daarom de aanbevelingen die onlangs vanuit de telecommunicatie-industrie zijn gedaan voor regulering van het gebruik van draagbare telefoons in de directe nabijheid van gevoelige medische apparatuur.

De commissie wijst ook op de mogelijke verstoring van de werking van pacemakers door elektromagnetische velden. Hoewel een dergelijke verstoring niet levensbedreigend hoeft te zijn, kan zij toch hinderlijk of beangstigend zijn voor de patiënt. De commissie onderschrijft de recente aanbevelingen ter zake van Wireless Technology Research uit de VS. Voor patiënten met een pacemaker houden die in dat een ingeschakelde draagbare telefoon op een afstand van ten minste 15 cm van een geïmplanteerde pacemaker gehouden dient te worden, tenzij bekend is dat de pacemaker voldoende beschermd is tegen de invloed van de elektromagnetische velden.

Er zijn gegevens waaruit blijkt dat de in dit advies voorgestelde limieten soms aanzienlijk worden overschreden in de directe omgeving van industriële en paramedische apparaten die radiofrequente elektromagnetische velden genereren, zoals seal-apparatuur en in de fysiotherapie gebruikte verwarmingsapparaten. De commissie beveelt daarom aan metingen te verrichten om de elektromagnetische veldsterktes bij dergelijke apparaten te bepalen en in het geval dat de advieswaarden worden overschreden maatregelen te nemen om de blootstelling tot uit gezondheidkundig oogpunt aanvaardbare niveaus terug te brengen.