STRALINGSHYGIËNE VOOR DUMMY'S

Deel 5

STRALINGSHYGIËNE bij RADIOFREQUENTE (RF- en ELF-) STRALING

Willem van Gaalen

Bevat informatie op het gebied van Stralingshygiëne
voor een algemeen inzicht.

∞

SAMENVATTING

Doelgroep

"Stralingshygiëne radiofrequente (RF- en ELF-) straling" is bedoeld als zelfstudie voor leerlingen en studenten met belangstelling voor de Stralingshygiëne. Ook voor hen die met enige vorm van straling uitzendende toestellen in aanraking kunnen komen. Zoals bij werkzaamheden op het gebied van veiligheid, onderhoud en het gebruiken van zendinrichtingen.

Leerstof

De leerstof wordt in deze instructie niet vanuit de puur theoretische kant benaderd, maar richt zich op de praktijksituaties, zoals deze zich (kunnen) voordoen binnen een organisatie of zendinrichting.

Opzet

De leerstof is gebaseerd op de door mij ontwikkelde Defensie-instructie TSD/SBD-99.9386 van 21 maart 1996. Om een bredere doelgroep te kunnen bedienen is alle bedrijfsgevoelige informatie hieruit verwijderd. Het uitreikstuk bevat de tekst over de beginselen van de stralingshygiëne bij het omgaan met radiofrequente (RF-) straling. Er wordt uitleg gegeven over de definities, aard, biologische effecten, normen en veiligheidsmaatregelen. Afsluitend worden enkele wetenswaardigheden van GSM- en UMTS-installaties, het bereken van veldsterkten en ELF-straling besproken.

Met deze basisuitleg van theorie, regels en praktijksituaties wordt beoogd meer inzicht te verschaffen over de wijze waarop de lezer kan om gaan met de hieraan verbonden risico´s. De lezing is ook als een powerpoint presentatie en op overheadsheets beschikbaar.

Veel leesplezier, Willem

Nota Bene:
Dit uitreikstuk wordt beschikbaar gesteld voor persoonlijk gebruik en zelfstudie. Het maken van kopiëren voor commerciële doeleinden is niet toegestaan. Daarom mag niets uit deze tekst commercieel worden gebruikt zonder toestemming van de auteur.

../SHvD_5_SH RF- en ELF-straling-99-9386-v3.docx

0-0-0

INHOUD

HOOFDSTUK			Blad
		SAMENVATTING	2.
		INHOUDSOPGAVE	3.
1		**RADIOFREQUENTE STRALING**	4.
1.1	-	Inleiding	
1.2	-	Neveneffecten	5.
1.3	-	Risico's	
1.4	-	Frequentieafhankelijkheid	6.
1.5	-	Biologische effecten van blootstelling	
1.6	-	Het thermisch of opwarmeffect	8.
1.7	-	Natuurlijke koeling	9.
1.8	-	Het waarnemen van opwarmingseffecten	
1.9	-	Andere biologische effecten	12.
1.10	-	Indirecte effecten	
1.11	-	Specific Absorption Rate(SAR)	
1.12	-	Normen	15.
1.13	-	Veilig werken met RF-straling uitzendende apparatuur	16.
1.14	-	Overbestraling	18.
1.15	-	Wetenswaardigheden over GSM- en UMTS-installaties	
1.16	-	Veldsterkte berekening	23.
1.17	-	Extreem Lage Frequentie (ELF)-straling	25.

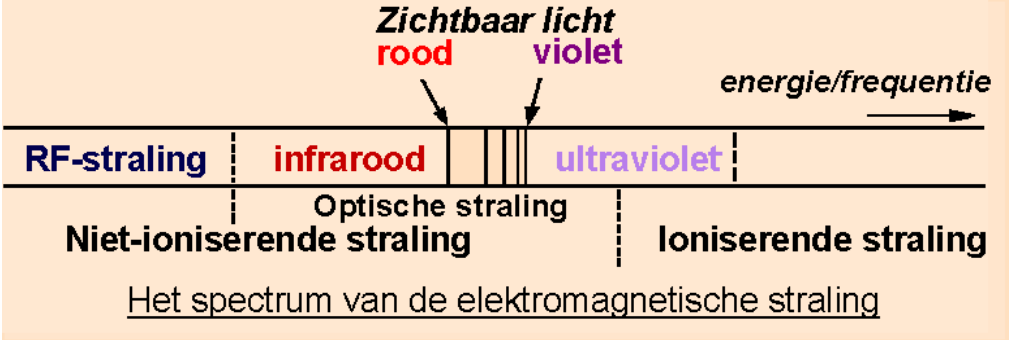
0-0-0

HOOFDSTUK 1. RADIOFREQUENTE STRALING

1.1 INLEIDING

De elektromagnetische straling (EM-straling) wordt gekarakteriseerd door de grootheid frequentie of door de grootheid golflengte. Aan de kant van de lage frequenties grenst het te beschouwen gebied aan de "mechanische" elektromagnetische velden en aan de hoge kant aan de infrarode straling. Globaal ligt het gebied van het eerste deel van deze lesstof dus tussen de 3 kHz, met een golflengte van 10 km, en 300 GHz, met een golflengte van 1 mm.

In de praktijk rekent men alle EM-straling van “0” tot 3000 MHz tot de **"Radiofrequente straling (RF-)"** en van 3000 MHz tot 300 GHz tot de "microgolven". De steeds voortschrijdende ontwikkelingen in de techniek maken het mogelijk een groter deel van het Elektromagnetisch spectrum in gebruik te nemen. Elk frequentiegebied heeft daarbij zijn eigen toepassingen, mogelijkheden en problemen. Dit geldt voor de optredende biologische effecten, het gedrag van de straling en de te nemen maatregelen ter bescherming. De RF-straling valt qua eigenschappen onder de "niet-ioniserende” straling, omdat de energie daarvan te laag is om te kunnen ioniseren (zie ook figuur 1).



Figuur 1.

Onder deze **radiofrequente (RF-) straling** tussen 0 Hz en 300 GHz zijn ook weer onderverdelingen te maken, zoals ELF, LG, MG, KG, VHF, UHF, SHF. Het gebruik van de radiofrequente straling kan een risico geven, waarbij de volgende toepassingen worden onderscheiden:

Verwarmingsdoeleinden. Hierbij wordt de toegevoerde energie zoveel mogelijk in warmte omgezet:

- medische toepassingen (diathermie);
- verwarming van voedsel (magnetronoven);
- industriële verhittingsprocessen (drukinkt, metaal en plastics).

Informatieoverdracht. De RF-straling wordt al dan niet sterk gebundeld in de ruimte gezonden:

- radarinstallaties (al sinds WO II);
- communicatiesystemen (radioamateurs, mobilofoons en portofoons);
- straalverbindingen, GSM en omroep.

1.2 NEVENEFFECTEN

Bij alle bovengenoemde toepassingen moet men rekening houden met het optreden van ongewenste neveneffecten. Deze neveneffecten kunnen ontstaan door:

Directe blootstelling aan:

- hoofdbundel, zijlussen (spill-over, side-lobes);
- hoogspanning (brandwonden);
- bestraling door parasitaire röntgenstraling.

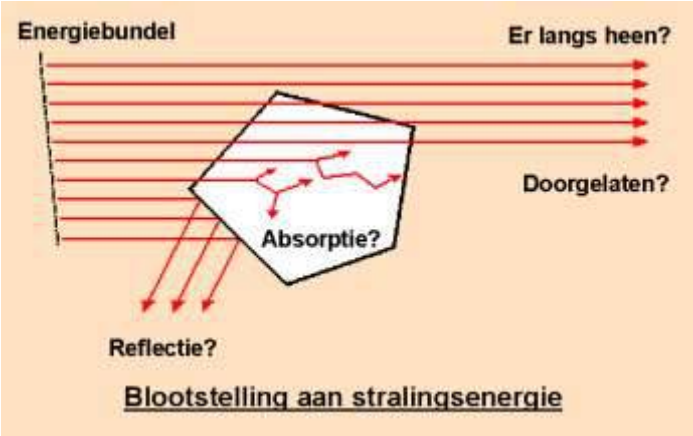
Indirecte blootstelling door effecten van inductie van spanning en stroom in geleiders:

- pacemaker (EMC, LFD en RFI)
- botpennen, gebit, ringen
- brand en explosie

De uitleg beperkt zich tot de biologische effecten van “directe blootstelling” aan radiofrequente straling.

1.3 RISICO´s

Ook bij RF-straling kan men stellen dat het risico zit in de geabsorbeerde hoeveelheid van de opvallende energie. In onderstaande figuur 2 is de mogelijke verdeling weergegeven.



Figuur 2.

De hamvraag blijft: "**Hoeveel energie wordt bij blootstelling geabsorbeerd?"**

Sinds mensenheugenis zijn we vertrouwd met de absorptie van energie. Voorbeelden van absorptie van energie in biologisch weefsel zijn:

In positieve zin:

- de absorptie van warmte **===>** behaaglijkheid
- de absorptie van ultraviolet **===>** vitaminevorming
- de absorptie van licht **===>** het zien

In negatieve zin:

- de absorptie van warmte ===> verbrandingen
- de absorptie van ultraviolet ===> lasogen, zonnebrand
- de absorptie van licht ===> verblinding

Uit deze voorbeelden mag blijken dat de mens dus al lange tijd een nuttig gebruik maakt van de verschillende stralingssoorten. Met EM-straling is dus - *afgezien van de naamgeving* - niets nieuws onder de zon!

1.4 FREQUENTIEAFHANKELIJKHEID

De geabsorbeerde hoeveelheid energie is bij RF-straling sterk afhankelijk van de frequentie. Dit komt mede door het verschil in eigenschappen van biologische weefsels, onder invloed van RF-straling en de afstand waarover absorptie plaatsvindt. Deze afstand, de zogenaamde *indringdiepte*, kan een waarde hebben tussen het 0,1 en 0,01-ste deel van de golflengte van de opvallende RF-straling.

Bij frequenties boven 2000 MHz - golflengte kleiner dan 15 cm - is de indringdiepte klein, waardoor absorptie hoofdzakelijk plaatsvindt in de buitenste weefsellagen van het lichaam. Bij lagere frequenties vindt de absorptie plaats over grotere afstanden, zodat dieper liggende weefsels en organen schade kunnen ondervinden (zie tabel 1).

Frequentieafhankelijkheid bij wisselwerking in biologisch weefsel (naar H.P. Swan).

Frequentie (MHz)	Golflengte (cm)	Absorptie * (%)	Max. Indringdiepte (cm)	Opmerkingen
< 150	>200	-	>20	Lichaam veelal transparant
150 - 1000	200 - 30	30 - 50	20 - 3	Schade aan interne organen
1000 - 3000	30 - 10	20 - 100**	3 - 1	Ooglens, testes
> 3000	<10	40 - 70	<1	Huid (brandwonden), ooglens
circa 2500	circa 12			Kritische frequentie ooglens

* De rest wordt gereflecteerd of doorgelaten
** Is zeer afhankelijk van de weefseldikte en samenstelling

Tabel 1. Frequentie afhankelijkheid bij absorptie RF-straling.

1.5 BIOLOGISCHE EFFECTEN VAN BLOOTSTELLING

Met de ontwikkeling van relatief hoog vermogen radarbuizen rond 1940 onderkende men dat zulke apparaten verwarming in het menselijk weefsel konden veroorzaken. Vanaf dat moment wordt aandacht besteed aan de biologische effecten. Deze effecten zijn voornamelijk van thermische aard (opwarming). Omstreeks 1942 ging men van het standpunt uit dat radaroperators onder normale omstandigheden, als men de voorzorgsmaatregelen in acht nam, geen schadelijke gevolgen zouden ondervinden.

In 1948 werd gerapporteerd dat uit experimenteel onderzoek was gebleken dat RF-straling cataract (vertroebeling van de ooglens) bij honden kan veroorzaken. Na die tijd is een groot scala aan wetenschappelijke onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van RF-straling en microgolven op weefsel van mens en dier en ook naar mogelijke gedragsveranderingen of psychische effecten.

De resultaten van al deze onderzoeken moeten echter zorgvuldig en kritisch worden bekeken omdat nogal wat speculatieve en moeilijk of niet te bewijzen conclusies zijn gepubliceerd. Aan de hand van een overzicht van S.M. Michaelson uit oktober 1981 worden de mogelijke biologische effecten en hun waarschijnlijkheid geven. De meeste resultaten ondersteunen de theorie dat de effecten van microgolven en radiogolven primair worden veroorzaakt door opwarming. Andere oorzaken zijn moeilijk te definiëren. Er zijn echter ook veel verwarrende, onzekere of zelfs foute conclusies, vaak te herleiden tot thermische effecten.

Er kunnen processen veranderen, die na deze straling weer in hun normale toestand terugkeren. Sommige reacties kunnen natuurlijk wel schadelijk zijn. De niet gelijkmatige, onvoorspelbare verdeling van de energieabsorptie in het lichaam kan aanleiding zijn tot unieke biologische effecten. Experimenteel, dus in laboratoria, zijn de volgende groepen van effecten gevonden, waarbij echter duidelijk beperkende voorwaarden aanwezig zijn:

a. ***Celeffecten, chromosoomafwijkingen***. genetische effecten. Sommige onderzoekers hebben chromosoomafwijkingen in cellen van dieren en planten aangetoond. De resultaten worden ernstig bekritiseerd omdat de systemen te heet werden. Grote velden of slecht vastgestelde velden geven dat de resultaten nog steeds niet onafhankelijk kunnen worden bevestigd.
b. ***Groei en ontwikkeling.*** Microgolven en RF-straling zou de groei en ontwikkeling van embryo`s nadelig beïnvloeden. Ook hier blijkt een te hoge verwarming de oorzaak te zijn.
c. ***De effecten op de testes*** (zaadballen). De temperatuurgevoeligheid van de testes is goed bekend. Uitgebreid is bestudeerd dat de door microgolven veroorzaakte opwarming een effect kan geven.
d. ***Neuro-endocrine effecten***. Endocrine effecten zijn effecten door verandering van de werking van diverse klieren (endocrine klieren = hormoonklieren). Omdat de werking door het centrale zenuwstelsel en de hypofyse wordt beïnvloed, zou blootstelling van het zenuwstelsel en de hypofyse aan microgolven en RF-straling verandering van de werking van diverse klieren veroorzaken. Deze effecten zijn echter niet schadelijk omdat het evenwicht door de automatische productie van andere hormonen wordt hersteld. Er zijn door verschillende onderzoekers effecten gerapporteerd die echter niet consistent waren. Ook in dit geval blijven vraagtekens staan.
e. ***Immunologie.*** Bij muizen zijn effecten aangetoond. Een toename in de hoeveelheid van een bepaald type lymfe cellen werd gevonden. Het is echter bekend dat verhoogde temperatuur de immuun responsie beïnvloedt.

f. ***Effecten op het zenuwstelsel.*** Bij low level (< 10 mW/cm$^{2)}$ blootstelling zijn voorbijgaande effecten gerapporteerd. Thermische effecten en niet-thermische effecten worden genoemd. De niet-thermische effecten heeft men tot op heden niet experimenteel kunnen bevestigen. Het eerste rapport hierover kwam uit de USSR (1995).

g. ***Blood-brain barrier***. Ook hier moeilijk te herhalen experimenten. Wijzen in de richting van hoge temperaturen. In augustus 1984 werd in Florance een verhaal gehouden over verhoogd calcium effect uit kippenhersenen t.g.v. 16 Hz wisselend elektrisch veld met een magnetische component.

h. ***Gedragsveranderingen.*** Verandering van de inwendige temperatuur door microgolf energieabsorptie veroorzaakt een logisch te verklaren gedrag.

i. ***Effecten op het bloed*** en bloedvormende organen zijn afhankelijk van:
   - de veldsterkte,
   - duur van de blootstelling,
   - geïnduceerde temperatuurverhoging.

j. ***Effecten op de ogen***. 200 MHz - 10 GHz, 1 uur bij 100 mW/cm^2 geeft cataractvorming bij konijnen. Bij ander beesten is de drempel hoger. In alle gevallen door thermisch effect. Bij mensen zijn wel cataracten gevonden, maar door de weinige gegevens levert de beoordeling problemen op.

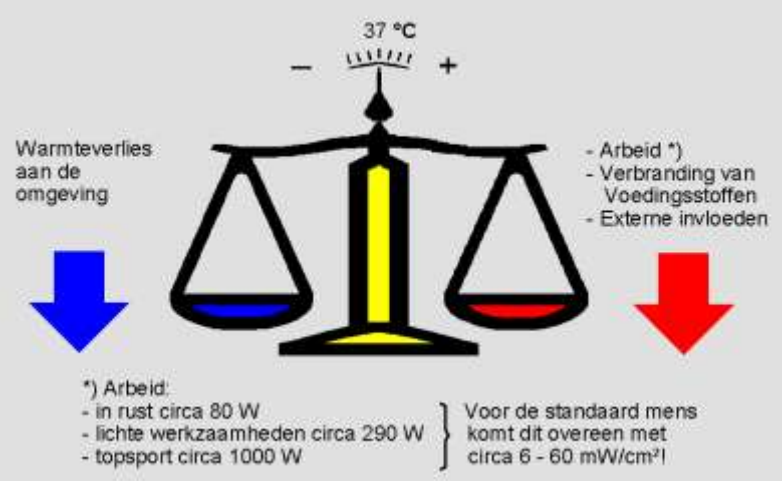
Mede uit het voorgaande blijkt dat als gevolg van blootstelling aan RF-straling de volgende effecten kunnen optreden:

- Het "opwarming- of thermisch effect".
- Andere biologische effecten, zoals in laboratoriumonderzoek is vastgesteld:
  - Resonantieverschijnselen
  - Bloedafwijkingen
  - Verstoring EEG en ECG
  - Chromosoomafwijkingen

  Deze effecten waren géén reden voor bijstelling van de normwaarden, welke nog steeds zijn gebaseerd op het “thermische effect”.
- Subjectieve bevindingen.

1.6 HET THERMISCH OF OPWARMINGSEFFECT

Bij het opwarmingseffect wordt het menselijk lichaam opgewarmd doordat de geabsorbeerde EM-straling in warmte wordt omgezet. Niet alle hierdoor veroorzaakte warmte wordt als schadelijk ervaren. Bij diathermie maakt men om genezingsprocessen te bevorderen hiervan al lange tijd een dankbaar gebruik. De lichaamstemperatuur schommelt rond de 37° Celsius en wordt enerzijds bepaald door de eigen warmteproductie ten gevolge van de verbranding van voedingsstoffen en gedane arbeid, anderzijds door warmteverlies aan de omgeving. Bepalend voor de schadelijke gevolgen is de mate waarin het temperatuursevenwicht rond de 37° Celsius wordt verstoord door de extra toegevoerde warmte. Bij verhoging van temperatuur tracht het lichaam het teveel aan warmte door natuurlijke koeling af te voeren (zie figuur 3).



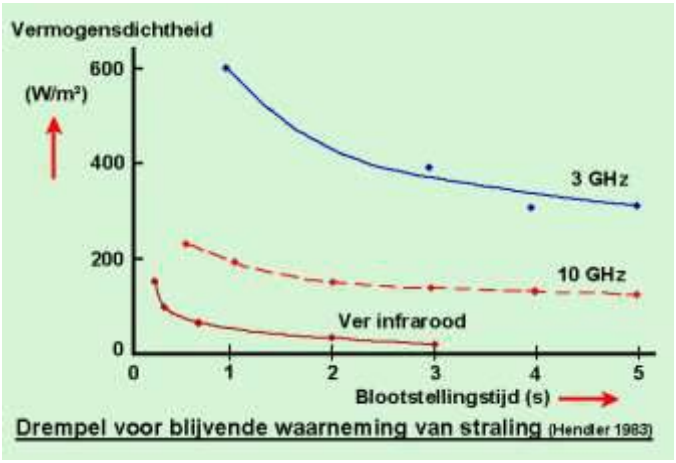
Figuur 3. De natuurlijke warmtebalans.

1.7 NATUURLIJKE KOELING

De dieper in het lichaam aanwezige organen en weefsels zijn voor koeling uitsluitend aangewezen op het transport van warmte door het bloed. De koeling kan worden vergroot door vaatverwijding, waardoor een grotere hoeveelheid bloed de organen en weefsels koelt, totdat het evenwicht weer is bereikt. Het bloed transporteert de warmte naar en verdeelt die over een groter oppervlak van het lichaam. Het is duidelijk dat (inwendige) organen, waarin de doorbloeding - en dus de koeling - minder is, zoals de ooglens en vetweefsel en de testes (zaadballen), buitengewoon gevoelig zijn voor een te hoge stijging in temperatuur. Voor de huid en de weefsels dicht onder het oppervlak van het lichaam spelen de volgende factoren een grote rol bij de mate van koeling:

- luchtstroming langs de huid,
- mate van transpireren,
- luchtvochtigheid en temperatuur,
- soort kleding waarmee de huid is bedekt.

Door deze factoren is het mogelijk dat de voor het organisme kritische temperatuur **NIET** of pas na zeer lange tijd van blootstelling wordt bereikt.



Figuur 4. Waarnemen van warmte sensatie.

1.8 HET WAARNEMEN VAN OPWARMINGSEFFECTEN

De opwarming door RF-straling kan onder bepaalde omstandigheden zintuiglijk worden opgemerkt. In de huid geabsorbeerde warmte kan, doordat daar pijn- en warmtesensoren aanwezig zijn, als warmtesensatie worden waargenomen.
Er bestaat een drempel voor het waarnemen van een temperatuursverhoging, op het voorhoofd (zie ook de tabel in tabel 2).

Warmtesensatie op het voorhoofd*					
	3000 MHz	10.000 MHz		Ver infrarood	
Tijd (s)	Pd (mW/cm²)	Pd (mW/cm²)	Temp.verhoging (°C)	Pd (mW/cm²)	Temp. verhoging (°C)
1	58,6	21,0	0,025	4,2 – 8,4	0,035
2	46,0	16,7	0,040	4,2	0,025
4	33,5	12,6	0,060	4,2	-------
* Voor 37 cm² oppervlak van het voorhoofd; naar Hendler 1968					

Tabel 2. Warmtesensatie op het voorhoofd.

Blootstelling aan RF-straling gedurende kortere tijden en of met lagere intensiteit kan zelf als "aangename warmte" of als "behaaglijk" worden ervaren Dit is te vergelijken met zonnebaden, zie figuur 5, waarbij we aan het gehele EM-spectrum van de zon bloot staan!

Figuur 5. EM-straling van de zon

Bij plotseling optredende warmtesensaties dient men na te gaan of dit mogelijk een gevolg is van blootstelling aan EM-straling. In dieperliggende weefsels kan, indien de door absorptie van EM-straling veroorzaakte warmte niet voldoende wordt afgevoerd, dit aanleiding geven tot gekookte organen of delen ervan. Helaas is dit pas vast te stellen nadat gebleken is dat deze organen slecht of niet meer functioneren. Pijn wordt daarbij veelal niet gevoeld, daar in de dieperliggende weefsels weinig of geen warmte- en pijnsensoren aanwezig zijn.

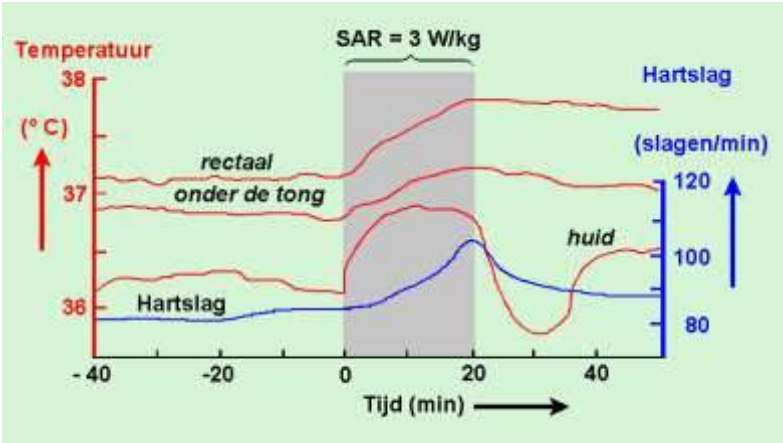
Voor de “waarnemingsdrempel” geldt een grote spreiding, dit in tegenstelling tot de pijndrempel, welke voor iedereen op een vrij constant niveau ligt (zie tabel 3).

Pijndrempel op de onderarm (naar Cook)

Pd (mW/cm²)	Tijd (s)	Opmerkingen
3100 2500 1800 1000 830	20 30 60 120 >180	Frequentie 3 GHz; met een bestraald oppervlak op de onderarm van 9,5 cm².

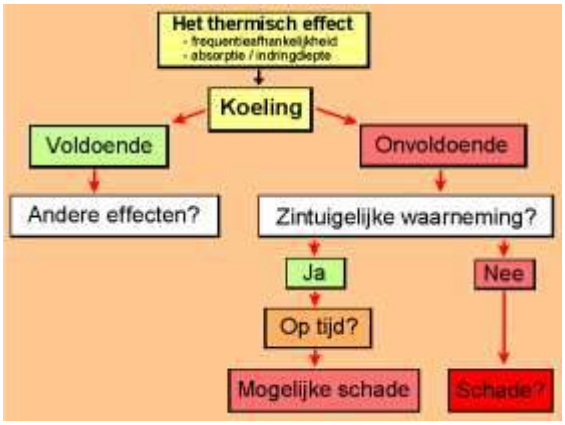
Tabel 3. De pijndrempel op de onderarm.

De intensiteit van de straling kan dus **NIET DIRECT** worden waargenomen, zoals figuur 6 laat zien.



Figuur 6. Optredende vertraging in de waarneming.

In figuur 7. geeft schematisch de mogelijkheid tot het waarnemen van het thermisch effect weer:



Figuur 7. Het thermisch effect

1.9 ANDERE BIOLOGISCHE EFFECTEN EN SUBJECTIEVE BEVINDINGEN

Andere biologische effecten. Uit vele onderzoeken, in laboratoriumopstelling, is gebleken dat andere biologische effecten meestal pas *bij langdurige en regelmatige blootstelling* aan EM-straling kunnen optreden.

Subjectieve bevindingen. De volgende subjectieve bevindingen worden vaak ten onrechte aan blootstelling van EM-straling toegeschreven:

- vermoeidheid
- slapeloosheid
- hoofdpijn
- gebrek aan eetlust
- slecht concentratievermogen
- geheugenstoornis
- angst
- verminderde potentie

Deze effecten kunnen zelfs **bij langdurige blootstelling van de normwaarde gedurende uren per dag en dagen achter elkaar niet** worden aangetoond.

1.10 INDIRECTE EFFECTEN

De risico´s van indirecte effecten kunnen zelfs catastrofaal zijn. De effecten berusten meestal op het feit dat metalen delen als een antenne werken. De hierdoor geïnduceerde spanningen kunnen weer andere, zogenaamde vervolgeffecten, veroorzaken. Zo kan vonkoverslag weer aanleiding zijn voor explosies en of brand. Ook kunnen storingen optreden in gehoorapparaten, pacemakers en andere elektrische- en elektronische systemen.
Bij de opwekking en het gebruik van radiofrequente straling komen hoge spanningen voor. Het aanraken van delen die deze spanning voeren is veelal dodelijk. Tevens kan in voedingskasten, bij zendermodulatoren en eindtrappen (denk aan thyratrons, klystrons, magnetrons en TWT's) parasitaire röntgenstraling worden opgewekt.

1.11 SPECIFIC ABSORPTION RATE

Uit het voorgaande kunnen we opmaken dat onzekerheid in de experimentele gegevens de extrapolatie naar de mens moeilijk maakt. Het is daarom belangrijk dat over goede dosimetrische gegevens kan worden beschikt om een relatie te leggen tussen de blootstelling en het effect. Zo zijn de frequentie en de oriëntatie van het lichaam mede bepalend voor de mate van absorptie.

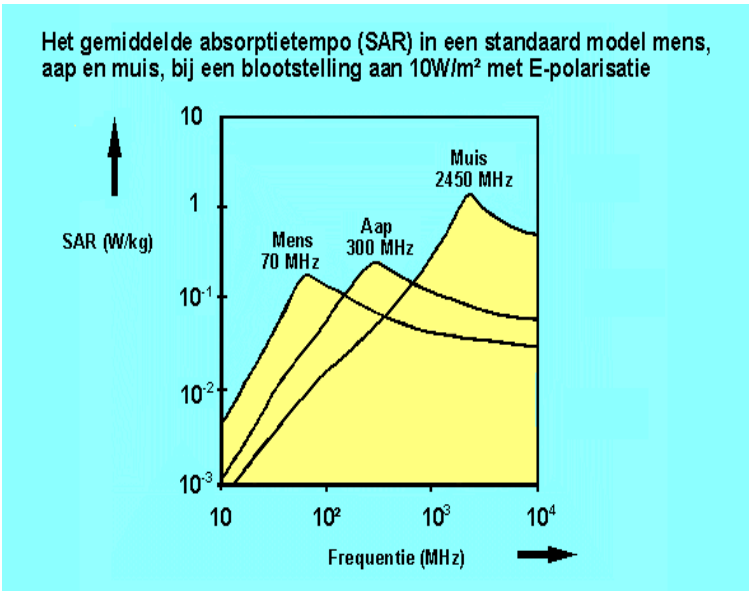
Basisbeperking. De Specific Absorption Rate, kortweg **SAR** genaamd, is ingevoerd om biologische effecten te voorspellen. Deze grootheid geeft de tijd afhankelijke toename van geabsorbeerde energie per massa-eenheid en wordt uitgedrukt in **Watt per kg (W/kg).**

Hierbij wordt uitgegaan van de hoeveelheid hoogfrequent energie die nodig is om het menselijk lichaam **ten hoogste 1° Celsius** in temperatuur te laten stijgen.

Dit is een ongevaarlijk geachte temperatuursverhoging welke het lichaam nog heel goed op een natuurlijke wijze kan verwerken (zie ook figuur 3).

Om deze temperatuurverhoging te bereiken is gemiddeld een vermogen nodig van **4 W/kg,** welke **de basisbeperking** wordt genoemd.

Het probleem is hierbij hoe de relaties te leggen tussen waargenomen biologische effecten, door externe en interne radiofrequente velden en de extrapolatie van de resultaten van dierexperimenten naar de mens (zie ook onderstaande figuur 8). Bij kleine dieren maximale absorptie bij 0,5 - 3 GHz en bij de mens 60 - 100 MHz, met een piek bij 80 MHz.



Figuur 8.

Bij de SAR domineert de magnetisch geïnduceerde component van het **Radio Frequente(RF)-veld** in het frequentiegebied van 1 tot 20 MHz. In het gebied van 20 tot 200 MHz neemt zowel de gemiddelde als de maximale SAR proportioneel toe met de frequentie. Boven 200 MHz neemt de maximale SAR toe - in een steeds dunner wordende laag weefsel - echter de gemiddelde SAR blijft constant.

***De grootheid SAR is niet direct te meten*,** maar moet altijd uit andere grootheden worden berekend. Tot 10 MHz wordt de stroomdichtheid (mA/m²) en de magnetische **flux B** (µT) gemeten, van 10 MHz tot 10 GHz de **E-** en **H**-veldsterkte (E/m en A/m) en vanaf 10 GHz de vermogensdichtheid (W/m²).

Voor de beroepsbevolking wordt aangenomen dat de betrokkenen weten wat ze aan het doen zijn en hierover voorlichting en of instructie hebben gehad. De toelaatbare maximum waarden voor deze groep, die dus werkt in een gecontroleerde omgeving, liggen een **factor 10** onder deze SAR-waarde van 4 W/kg en bedraagt **0,4 W/kg** (zie tabel 4).

Tabel 4. Basisbeperking voor de beroeps bevolking (artikel 3, lid 1, EU2004/L184/80).

Frequentiegebied	Stroom-dichtheid (f in Hz) mA/m^2	SAR in W/kg			Vermogens-dichtheid W/m^2
		Lichaam	Hoofd en Romp	Extremiteiten	
Tot 1 Hz	**40**	**-**	**-**	**-**	**-**
1 – 4 Hz	**40/f**	**-**	**-**	**-**	**-**
4 Hz – 1 kHz	**10**	**-**	**-**	**-**	**-**
1 kHz – 100 kHz	**f/100**	**-**	**-**	**-**	**-**
100 kHz – 10 MHz	**f/100**	**0,4**	**10**	**20**	**-**
10 MHz – 10 GHz	**-**	**0,4**	**10**	**20**	**-**
10 GHz – 300 GHz	**-**	**-**	**-**	**-**	**50**

Voor deze werkers geldt een SAR-waarde welke wordt gemiddeld over enige periode van 6 minuten. Een lokale blootstelling (hot-spot) mag geen hogere SAR-waarde geven dan 8,0 W/kg gemiddeld over 10 gram weefsel. De limietwaarden van de SAR afgeleide grootheden (actiewaarden) worden globaal per frequentiegebied in tabel 5 gepresenteerd.

Tabel 5. Actiewaarden (ongestoorde middelbare waarden) (artikel 3, lid 2, EU2004/L184/80).

Frequentiegebied	Elektrische veldsterkte **E** (V/m)	Magnetische veldsterkte **H** (A/m)	Magnetische Fluxdichtheid **B** (µT)	Pd [*)] S_{eq} (W/m^2)	Contact stroom I_c (mA)	Extremiteiten stroom I_L (mA)
0-1Hz	-	$1{,}63 \times 10^5$	2×10^5	-	1,0	-
1-8 Hz	20 000	$1{,}63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-	1,0	-
8-25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2{,}5 \times 10^4/f$	-	1,0	-
0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	-	1,0	-
0,82-2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5-65 kHz	610	24,4	30,7	-	0,4 f	-
65-100 kHz	610	1600/f	2000/f	-	0,4 f	-
0,1-1 MHz	610	1,6/f	2/f	-	40	-
1-10 MHz	610/f	1,6/f	20/f	-	40	-
10-110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110-400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400-2 000 MHz	$3\ f^{½}$	$0{,}008\ f^{½}$	$0{,}01\ f^{½}$	f/40	-	-
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-

[*)] Pd = Equivalente vermogensdichtheid vlakke golf.

De algemene bevolking (Publiek). Hieronder valt iedereen die niet tot de beroepsbevolking wordt gerekend, zoals ook gebruikers van de mobiele telefoons en wordt rekening gehouden met ouderen, zieken en kinderen. Voor deze groep gelden de maximum toelaatbare waarden van de basisbeperking voor een "uncontrolled environment". Het maximum ligt nu een **factor 50** onder de SAR-waarde van 4 W/kg en bedraagt **0,08 W/kg** (zie Tabel 6).

Tabel 6. Basisbeperking voor de algemene bevolking

Frequentiegebied	Stroom-dichtheid (f in Hz) mA/m^2	SAR in W/kg			Vermogens-dichtheid W/m^2
		Lichaam	Hoofd en Romp	Extremiteiten	
300 Hz – 1 kHz	**2**	**-**	**-**	**-**	**-**
1 kHz – 100 kHz	**f/500**	**-**	**-**	**-**	**-**
100 kHz – 10 MHz	**f/500**	**0,08**	**2**	**4**	**-**
10 MHz – 10 GHz	**-**	**0,08**	**2**	**4**	**-**
10 GHz – 300 GHz	**-**	**-**	**-**	**-**	**10**

Ook voor de algemene bevolking mag de maximum waarde voor blootstelling aan RF-straling over 6 minuten worden gemiddeld. De limietwaarden van de SAR afgeleide grootheden (actiewaarden) worden globaal per frequentiegebied in tabel 7 gepresenteerd.

Frequentiegebied	E-veldsterkte (V/m)	H-veldsterkte (A/m)	B-veld (μT)	Equivalente vermogensdichtheid voor vlakke golven S_{eq} (W/m^2)
0-1 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	4 000/f	5 000/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
400-2 000 MHz	$1,375\ f^{1/2}$	$0,0037\ f^{1/2}$	$0,0046\ f^{1/2}$	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabel 7. Afgeleide limietwaarden algemene bevolking.

1.12 NORMEN

Europese aanbevelingen over blootstellingslimieten. De International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), een onafhankelijke organisatie van wetenschappers, heeft in 1998 na analyse van alle wetenschappelijke publicaties op dit gebied aanbevelingen opgesteld voor veilig verblijf in elektromagnetische velden. In 1999 heeft de Raad van Ministers van de EU het gedeelte voor de algemene bevolking overgenomen als aanbeveling aan de lidstaten. Nederland hanteert, naast het advies van de Gezondheid Raad (GR nr 2004/01, 2009/02 van 19 maart 2009), anno 2013 de Europese richtlijnen 2004/40/EG en EU2004/L184/80 voor werknemers en 1999/519/EG voor leden van de bevolking. Deze richtlijnen vormen sinds 2012 de bron waarop de Arbeidsinspectie handhaaft en zijn ook opgenomen in de Telecommunicatiewet.

1.13 VEILIG WERKEN MET RF-STRALING UITZENDENDE APPARATUUR

De grens van het gebied waarbinnen de normen overschreden kunnen worden wordt - ***HET POTENTIEEL GEVAARLIJKE GEBIED*** - genoemd en wordt met borden volgens figuur 9 aangegeven. Buiten dit gebied zal de te verwachten maximale gemiddelde vermogensdichtheid de norm niet meer overschrijden.

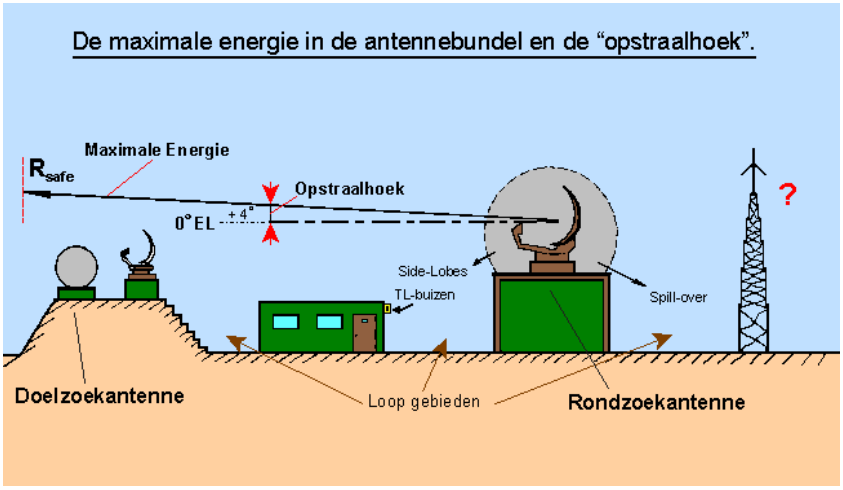
Figuur 9. waarschuwingstekens voor radiofrequente straling

Potentieel gevaarlijke gebieden mogen uitsluitend na het nemen van maatregelen worden betreden. Bedenk dat de veilige afstanden, zoals die in de handboeken van de afzonderlijke installaties worden genoemd, niet altijd zijn gebaseerd op dezelfde normen!

Wanneer meerdere zend- of radarinstallaties in bij elkaar zijn opgesteld, zal een aanvullend veiligheidsonderzoek nodig zijn, omdat de vermogensdichtheid in de nabijheid van een installatie beïnvloed kan worden door de omgeving. In deze gevallen kunnen alleen metingen uitkomst brengen, ter vaststelling van de grenzen van het veilig te betreden gebied (zie figuur 10).

Figuur 10. Veldsterktemetingen

Het gebruik van een bepaalde zend- of radarinstallatie en spelen de hoogte waarop de antennes zijn geplaatst, een belangrijke rol bij het bepalen van het gevaar hiervan voor de omgeving (zie figuur 11).

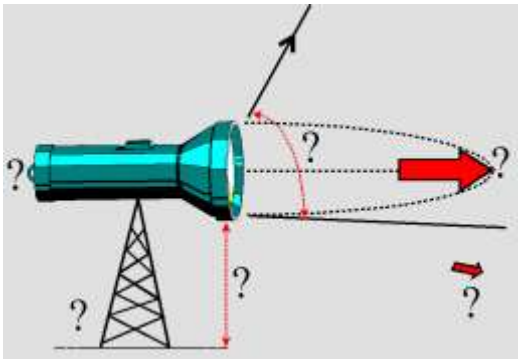


Figuur 11. De maximale energie in de antennebundel en de opstraalhoek.

Indien in het zogenaamde nabije veld van een antenne reflecties zijn te verwachten, dient het potentieel gevaarlijke gebied te worden vergroot.

Het is zinvol om het personeel te instrueren over de gevaren van RF-straling, zoals de mogelijke gevolgen van onnodige blootstelling en daarbij ter plaatse aan te geven hoe directe blootstelling is te voorkomen. De volgende punten kunnen daarbij een handleiding vormen:

- Kijk **NOOIT** van nabij in openingen van golfpijpen terwijl signaalgeneratoren of de zenders in bedrijf zijn.
- Blijf zover mogelijk weg van de hartlijn (met maximale energie) van de hoofdbundel aan de voorzijde van een antenne (Let Op: Stel daarom de antennebundel met radiofrequente energie voor als een lichtbundel, zie figuur 12).



Figuur 12. RF-energie, voorgesteld als een lichtbundel

- Stilstaande antennes dienen een zodanige elevatie en/of richting te hebben, dat de antennebundel altijd in de vrije ruimte is gericht en geen andere radarantenne, personen en of gebouwen door de bundel worden "belicht".
- Beschouw, indien bij een volgradarantenne de veilig aan te houden afstand (op de hartlijn van de hoofdbundel) groter is dan de afstand tot een "beschenen" object, het verblijf bij dit object als gevaarlijk!

- Vermijdt het doorkruisen van onveilige gebieden en als zodanig aangegeven zones.
- Werk bij onderhoud of instructie zoveel mogelijk met een kunstbelasting of met een gereduceerd zendvermogen.
- Neem altijd voorzorgsmaatregelen bij het gebruik van (radar)antenne installaties in besloten ruimten, zodanig dat de normen ook hier niet kunnen worden overschreden, door bijvoorbeeld de (radar)antennebundel af te schermen met radiofrequent- energie absorberend materiaal.
- Verzuim **NOOIT** een situatie te melden, waarvan u vindt dat deze onveilig of voor verbetering vatbaar is.

1.14 OVERBESTRALING (ONGEVAL)

In geval van het vermoeden van een overbestraling (ongeval) dient de betrokkene zich te wenden tot de Arbeidsinspectie en/of GGD en moet er een ongevalrapport worden opgemaakt.

1.15 WETENSWAARDIGHEDEN OVER GSM- EN UMTS-INSTALLATIES

Inleiding. Nu steeds meer zendmasten voor de mobiele telefonie verschijnen worden vaak verbanden gelegd tussen gezondheidsklachten en de nabijheid van dergelijke masten. Onbekend maakt onbemind. Als we niets weten beschouwen we het altijd als gevaarlijk. Dit is een goede eigenschap om te overleven. Nog steeds wordt, zoals met de 2e kamervragen van 10 november 2003, zorg geuit ten aanzien van blootstelling aan straling van UMTS en GSM-installaties.

Indien men openstaat voor informatie en kennis, dan zal de materie minder onbekend worden en zal men daarmee evenwichtiger kunnen omgaan. We hebben dus informatie nodig! Bedenk dat met het geven van deze informatie de schrijver NIET probeert U gerust te stellen. Dat kan hij niet. Dit kunt u alleen zelf op basis van uw eigen oordeel. Hiervoor heeft u dus wel informatie nodig.

Om uw inzicht te voeden, over wat nu het risico van straling bij UMTS- en GSM-masten is, wordt de volgende informatie gegeven. In de volksmond, maar ook door de overheid, wordt gesproken over het risico van UMTS- en GSM-masten. Dit is een verkeerde voorstelling van zaken. Waarom? Wel, bovenin deze masten zitten UMTS-en GSM-antennes. Alleen deze antennes stralen de energie uit. De masten dus niet. Ergo, hoe hoger de masten, hoe groter de afstand is van de antenne tot een persoon onder deze antenne!

Stand van de wetenschap. In juni 2006 is een onderzoek verschenen waarin géén relatie werd gevonden tussen korte termijn gezondheidsklachten en welbevinden en blootstelling aan de straling die gebruikt wordt bij UMTS-zendmasten

Dit rapport van Sabine J., Sonja Negovetic, Martin Röösli, Veronica Berdinas, Jürgen Schuderer, Anke Huss, Urs Lott, Niels Kuster and Peter Acherman. UMTS Base Stion-Like Exposure, Well Being and Cognitive Performance. Doi:10.1289/ehp.8934 is per 6 June 2006 On-line gezet.

Met andere woorden: dit verband is niet aanwezig!

Effecten op de gezondheid van langdurige blootstelling van straling van GSM- en UMTS-zendmasten, bijvoorbeeld 20 jaar, kan echter nog niet worden aangegeven. Tot dusver houden de in internationaal verband geformuleerde normwaarden nog steeds stand en bestaat onvoldoende grond om hieraan te twijfelen. In Europees verband zijn momenteel wel onderzoeken gaande naar de invloed van UMTS en GSM-straling op celniveau. Deze onderzoeken kosten veel tijd en resultaten zullen daarom niet voor 2014 bekend zijn.

De opstelling. De GSM/UMTS zendinstallaties zijn met coaxkabels aangesloten op antennes welke in antennemasten zo hoog mogelijk boven een dak zijn opgesteld. De straling uit de antenne treedt in een bundelvorm naar buiten (vergelijk met een zaklantaarn).

Op plaatsen buiten de antennebundel, bijvoorbeeld dicht bij de voet van de antennemast, is echter de veldsterkte sterk afhankelijk van de richting waarde van de uitgestraalde energie.

De consequentie hiervan is dat op plaatsen buiten de antennebundel het niveau van de veldsterkte in dit nabije **E-veld** door metingen verkregen moet worden (GR 1997/1). Daarbij is in de praktijk niet altijd bekend of het uitgezonden vermogen van de antenne tijdens de metingen wel maximaal is. Het zendvermogen naar een GSM/UMTS-antenne kan daarbij variëren tussen **1,6** en wel **35 Watt** en is sterk afhankelijk van het aantal gebruikers van de installatie.

In kantoorruimtes onder de antennemast zal, door de afschermende werking van het dak en vloeren de veldsterkte van het **E-veld** lager zijn dan in de omgeving van de voet van de antennemast. Hierdoor worden in gebouwen per verdieping één of meer steunzenders aan het plafond aangebracht om de mobiele telefonie te garanderen.

In principe kunnen ook rondom de zenderkasten van de installaties en kabels wel strooivelden worden gemeten als gevolg van optredende staande golven in de coaxkabels. Deze strooivelden zullen, door de afschermende werking van kabels en kasten, altijd een zéér lage en te verwaarlozen waarde hebben

Metingen.
Om fouten te voorkomen bij metingen aan het lokale **E-veld,** afkomstig van de antennes in de mast(en) en van de steunzenders aan het plafond, moet er voor worden gezorgd dat tijdens de metingen binnen een straal van 3 meter van de meetapparatuur geen GSM en UMTS-telefoons in bedrijf zijn!

Bedenk dat bij metingen op een willekeurige plaats de veldsterkte ter plaatse ook wordt bepaald door de lokale Radio- en Televisie-zenders en passanten. Dus niet alleen van GSM-en UMTS-installaties.

Waar gaat het nu om?
Anno 2013 werken de GSM-zendinstallaties in het 900 en 1800 MHz gebied en de UMTS-zendinstallaties in het 2100 MHz gebied. Wat is nu het verschil tussen een GSM- en UMTS-installatie (zie tabel 8)?

	GSM	UMTS
Radiovermogen per cel	< 80 Watt	< 24 Watt
Maximale datacapaciteit per cel	700 kbits/s	2400 kbits/s
Vermogen per spraakverbinding basisstation	0,8 Watt	< 0,2 Watt
Vermogen voor spraakverbinding handset	< 0,25 Watt	< 0,12 Watt
Vermogensefficiëntie	12 kb/J	40 - 6000 kb/J
Meest gebruikte antennelengte	2,6 meter	1,3 meter
Actiewaarde ARBO (> 1 mimuut)	2 meter	0,4 meter
Elektrisch vermogen basisstation	3000 Watt	1000 Watt
Aantal kasten per basisstation	2 to 6	1

Tabel 8. Verschillen tussen GSM en UMTS installatie (volgens opgave KPN).

Uit voorgaande tabel is te zien dat:
* Het zendvermogen van het GSM-basisstation per abonneegesprek een factor 4 hoger is.
* Een handsetje (de telefoon) van de GSM tweemaal zoveel zendvermogen nodig heeft.
* Er met een UMTS-telefoon meer gesprekken mogelijk zijn voordat de batterij leeg is.
* De datasnelheid bij UMTS beduiden hoger is.
* De onveilige afstand voor de antennemonteur kleiner is.
* Het basisstation van de GSM-installatie veel meer vermogen uit het 50 Hz-net nodig heeft.

Ongeacht of het nu GSM of UMTS-basisstation betreft, de vraag blijft: *Aan welke veldsterkte sta ik nu als gebruiker/abonnee bloot?*

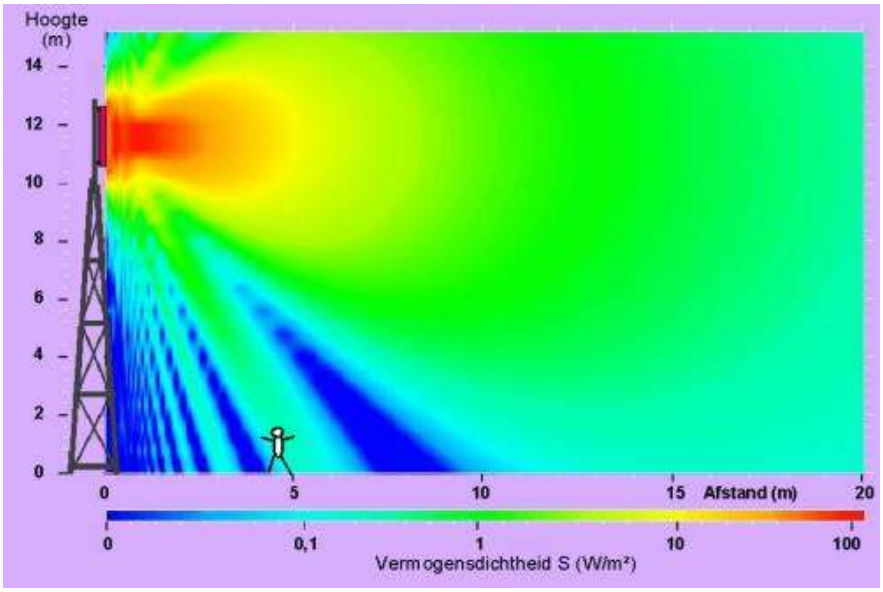
Antwoord: Bepalend is het stralingsniveau van uw eigen GSM- of UMTS-telefoon! Alleen een onderhoudsmonteur kan in de buurt van de antennes komen en heeft te maken met hogere niveaus. Hij weet dan precies wat hij moet doen en laten. Maar waaraan staat men dan bloot als er zo'n antenne in de buurt staat opgesteld,... bijvoorbeeld op het dak van een flat? Dit is eenvoudig voor te stellen door net te doen alsof de energiebundel van het basisstation een lichtbundel is (zie figuur 12)!
De vraag is dan.... waar staat u t.o.v. deze lichtbundel?.....Er recht onder?

Bedenk dat in de nabijheid van zendantennes, maar ook elders altijd elektromagnetische velden aanwezig zijn. Dicht bij antennes zijn deze velden het sterkst.

Op een zekere afstand van de antenne is veldsterkte kwadratisch afgenomen met de afstand tot de antenne (hoe verder weg, des te zwakker het veld of anders gezegd: bij een tweemaal zo grote afstand is de vermogensdichtheid 4-maal zo laag!). Alleen dicht bij de antenne kan de veldsterkte in de directe omgeving zeer sterk verschillen per plaats.

Een antenne straalt niet altijd evenveel energie uit in alle richtingen. Antennes zijn vaak ontworpen zodat ze in een bepaalde richting meer energie uitstralen. Een getal dat de verhouding aangeeft tussen de energie rondom en de energie in de bundel noemt men de antenneversterking van de antenne. In de hoofdbundel is de veldsterkte (en dus het stralingsrisico) groter dan naast de bundel.

In figuur 13 wordt een stralingsbundel weergegeven van de relatieve afname van de veldsterkte bij groter wordende afstand en hoogte. Duidelijk waarneembaar is dat in het gebied direct onder de stralingsbron (antenne) de intensiteit zeer gering is. De afname van de intensiteit bij een GSM- en UMTS mast is hiermee vergelijkbaar. Ergo: liever recht eronder dan op zekere afstand!



Figuur 13. Relatieve veldsterkte

Figuur 13 kan de situatie aangeven bij een antennemast welke op het dak van een flat staat. De GSM- of UMTS-antenne wordt minimaal op twee meter boven het beloopbare gebied geplaatst. Wordt de antenne in het veld geplaatst dan zal de mast hoger zijn en is de afstand tot een persoon op de grond nog groter. Van de overheid mogen masten van UMTS en GSM-antennes maximaal 40 meter hoog zijn.

Wat nu verder.....? Wel, we weten nu hoe de energie wordt uitgezonden en dat bij blootstelling aan deze energie de afstand en kijkhoek tot de antenne zeer bepalend zijn. Na het meten van de veldsterkte is het van belang te weten of deze waarde onder of boven de limiet van blootstelling ligt.

Normen. De meetwaarden worden getoetst aan de limieten zoals die in de stralingsnormen van de Gezondheidsraad (vastgelegd in het advies van de Gezondheidsraad rapport 1997/1 en 2004/01) en aan de richtlijnen van IRPA/ICNIRP/EU zijn vastgelegd.

Basisrestricties. Voor het algemene publiek geldt een SAR van 0,08 W/kg. Deze ligt een factor 5 lager dan die voor de beroepsbevolking! Voor gepulste velden, welke ook bij digitale, draadloze communicatie optreden, worden gelijke limieten aangehouden als voor continu velden. De grootheid SAR (in W/kg) is echter zelf niet te meten. In de praktijk wordt daarom een hiervan afgeleide grootheid gebruikt, de veldsterkte. Deze grootheid is goed te meten en boven een frequentie van 10 MHz is de elektrische veldsterkte (het E-veld) bepalend.

Limietwaarden. De Gezondheidsraad hanteert voor de algemene bevolking als limiet voor het maximale blootstellingniveau bij de frequentie van:

* circa 900 MHz een sterkte van het elektrische veld (E-veld) van **41 V/m**,
* circa 1800 MHz een veldsterkte **58 V/m**, en
* bij de UTMS frequentie van 2100 MHz een veldsterkte van **61 V/m.**

Deze limietwaarden gelden als continue waarde voor iedere periode van 6 minuten. De over kortere tijden gemeten waarden mogen daarom worden uitgemiddeld naar de periode van 6 minuten!

Meetresultaten

Uit mijn eigen metingen blijkt dat op het dak van een flat waarden van het E-veld voorkomen van 1 tot 8 V/m (maxima tussen 0 en 2 meter boven het dak).

Bij gebruik van telefoons kan, sterk afhankelijk van het merk, de waarde van het E-veld direct tegen de antenne van deze telefoons variëren tussen 1.6 - 6 V/m (stand-by) en 8 tot 16 V/m bij het aanzetten en het bellen van een nummer.

Bedenk dat, indien bij een telefoon gedurende 10 seconden een E-veld wordt gemeten van bijvoorbeeld 16 V/m en daarna niets meer, de gemiddelde waarde over een periode van 6 minuten een factor 36 maal lager is! De limiet wordt dus zeker niet overschreden!

De schrijver van dit artikel in niet het bezit is van een GSM- of UTMS-telefoon. Dit heeft niets te maken met het risico op gezondheidsschade. Het heeft alles te maken met:

* het feit van "onafhankelijk te willen zijn",
* het kunnen maken van goede afspraken;..... geen bericht is.... goed bericht!
* een kaartje sturen is leuker!, en.....
* géén behoefte hebben om "iedere vijf minuten" een praatje pot te houden.

Meetapparatuur. De metingen werden uitgevoerd met een NARDA meetset (zie figuur 14), bestaande uit de NARDA monitor 8712 met een 100 µW/cm² probe type 8760D voor het Elektrische veld (**E-veld**) in het frequentiegebied van 300 kHz tot 3 GHZ met een meetbereik van 0,5 tot 19,4 V/m. De frequentie correctiefactor bedraagt 1,03x bij 950 MHz en 0,95x bij 1800 MHz. De totale geschatte onnauwkeurigheid in de gemeten waarde bedraagt circa 25%. De ondergrens van deze probe is bij de metingen vastgelegd op 0,1 schaaldeel van de 8712 monitor en komt bij overeen met een veldsterkte van **0,61 V/meter**. (Deze waarde ligt op ongeveer 1/200 deel van de limietwaarde bij 900 MHz.)

Figuur 14. meetset 8712 en 8760D

1.16 VELDSTERKTE BEREKENING

Ter ondersteuning van metingen van de veldsterkte of vermogensdichtheid met meetapparatuur zoals in figuur 14 en 15 is weergegeven, kan men ook berekeningen uitvoeren.

Figuur 15. Meetapparatuur.

Berekeningen. De veldsterkte van het elektrische veld (E-veld) in de antennebundel is goed te berekenen. In de berekeningen wordt altijd uitgegaan van het maximale zendvermogen en maximale antenneversterking. Men spreekt dan van een worst-case situatie. De formule voor een “worst-case” benadering bij het berekenen van veldsterkten voor lage zendvermogens wordt in figuur 16 gegeven.

De relatie tussen de gemiddelde vermogensdichtheid en de afstand wordt voor de worst-case situatie berekend met de formule:

$$P_d = \frac{P_0 \cdot g}{4 \pi \cdot R^2}$$

Waarin:

P_d = gemiddelde vermogensdichtheid (W/m²)

P_0 = het aan de antenne toegevoerde vermogen (W)

g = antenneversterking (x)

R = afstand tot de antenne (m)

NB.: In het nabije veld van een antenne geeft het gebruik van deze formule een overschatting van de te verwachten vermogensdichtheid!

Figuur 16. Worst-case berekening van veldsterkte.

Rekenuitkomsten voor praktisch gebruik worden in tabel 9 en 10 gepresenteerd:

De Pd in mW/cm² voor verschillende antenneversterkingen (g) en toegevoerde vermogens.

Op 1 meter afstand					
g	1W	5W	10W	20W	50W
1x	0,008	0,04	0,08	0,16	0,4
10x (10 dB)	0,08	0,4	0,8	1,6	4
31,6x (15 dB)	0,25	1,25	2,5	5,0	**12,5**
Op 0,1 meter afstand					
g	1W	5W	10W	20W	50W
1x	0,8	4	8	**16**	**40**
10x (10 dB)	8	**40**	**80**	**160**	**400**
31,6x (15 dB)	**25**	**125**	**250**	**500**	**1250**

* 28 Mhz, halve golf dipool met 1000 Watt geeft 8 mW/cm² op 1 meter en 0,08 mW/cm² op 10 meter afstand!

* Whip antenne, f = 2,1 Mhz, P_o = 1000 Watt geeft 500 V/m op 1,5 meter afstand.

Tabel 9. Vermogensdichtheid versus antenneversterking en zendvermogen.

Stel; P_o = 35 Watt en g = 10x, dan is volgens $\frac{P_o \cdot g}{4\pi \cdot R^2}$

Afstand	Vermogensdichtheid		Veldsterkte
(m)	(W/m²)	(MW/cm²)	(V/m)
1	27,8	2,8	102
2	7	0,7	51
3	3,1	0,3	34
5	1,1	0,1	20,4
10	0,28	0,3	10,2
15	0,12	0,01	6,8
20	0,07	0,007	5,1

Tabel 10. Vermogensdichtheid en veldsterkte versus afstand.

Relevante Grootheden en Eenheden. Kennis en vaardigheid van onderstaande grootheden en eenheden zijn essentieel voor het uitvoeren van berekeningen:

[1] $\lambda = c/v$ (m) $v = c/\lambda$ (s^{-1}) en $c = \lambda . v = 3 \times 10^8$ (m/s)

[2] Elektrische veldsterkte **E** ($M.m^{-1}$)

[3] Magnetische veldsterkte **H** ($A.m^{-1}$)

Hieruit kan worden afgeleid:

[4] Vermogensdichtheid $\mathbf{P_d}$ **of S** = $E.H = E^2/Z = H^2.Z$ in ($Watt/m^2$)

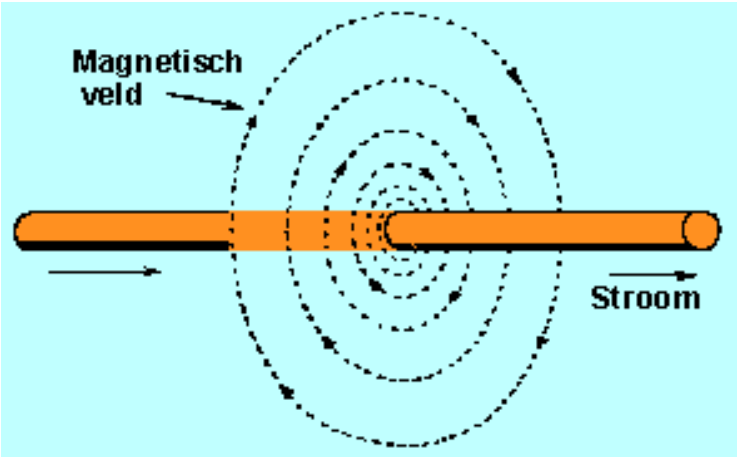
Vaak wordt de eenheid mW/cm^2 gebruikt, waarbij 1 mW/cm^2 = 10 W/m^2.

Z is de impedantie: Z = 120 Pi = 377 Ohm. In de formule is dit uitsluitend geldig in het zogenaamde "verre veld"!

1.17 Extreem Lage Frequentie (ELF-) straling

Inleiding. Het radiofrequente deel van het EM-spectrum omvat ook de Extreem Lage Frequenties (ELF), het gebied van “0” tot 3 kHz. In deze paragraaf wordt verklaard het ontstaan van ELF-velden, de hierbij behorende resultaten van onderzoek, referentie niveau’s en limieten, de praktijksituatie en gebruikte meetapparatuur en methoden.

ELF-velden. Rondom iedere geleider waarin een elektrische stroom loopt wordt een magnetisch veld gevormd. Bij een *gelijkstroom* wordt dit een *statisch magnetisch veld* of **DC-veld** genoemd en bij een geleider waarin een *wisselstroom* loopt wordt dit een *magnetisch inductieveld of* **B-veld** genoemd. Hoe groter de stroom, hoe groter de veldsterkte en hoe kleiner de afstand tot de geleider, hoe hoger de waarde van het statisch en B-veld is (zie figuur 17).



Figuur 17. Magnetisch veld rondom een stroomvoerende geleider.

Resultaten onderzoek. Ook naar de effecten van stroom door het mensellijk lichaam is veel onderzoek gedaan. De Nederlandse Gezondheidsraad (GR) heeft hierover gepubliceerd in haar publicatie nummer 2000/6 getiteld “Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz – 10 MHz)”. Een aantal tabellen uit dit rapport worden in deze paragraaf daarom weergegeven.

Omdat stroomdichtheid in het menselijk lichaam in de praktijk niet is te meten, worden uit de basisbeperkingen waarden herleid voor die grootheden welke wel eenvoudig zijn te meten.

De basisbeperkingen zijn gebaseerd op het voorkomen van twee onderscheiden biologische effecten. Voor het frequentiegebied tot circa 200 Hz zijn fosgenen van belang. Dit zijn lichtflekken of flitsen die waargenomen worden als gevolg van directe stimulatie van het netvlies door elektrische stroom. Het zijn op zich ongevaarlijke verschijnselen die na het wegnemen van de oorzakelijke factor vanzelf weer verdwijnen (in het algemeen binnen een uur). Het optreden van fosgenen kan echter wel hinder en schrikreacties veroorzaken.

Bij frequenties van enkele Hz tot circa 10 MHz kan stimulatie van zenuwen optreden, welke bij hoge stroomdichtheid in de hartstreek kan leiden tot hartkamerfibrillatie.

De resultaten van wetenschappelijk onderzoek naar de effecten van stroom door het menselijk lichaam en de optredende biologische effecten zijn te zien in respectievelijk tabel 11 en 12.

Effecten van stroom door het menselijk lichaam *)									
Effect	Subject	Drempelstroom in **mA** bij frequentie in **Hz**							
		50/60	300	10k	10k	30k	100k	300k	1M
Waarneming	Man	1,1	1,3	2,2	15	50	300	300	300
	Vrouw	0,7	0,9	1,5	10	35	200	200	200
	Kinderen	0,55	0,65	1,1	9	30	150	150	150
Los-laat drempel, Schok	Man	9	11,7	16,2	55	126	126	-	-
	Vrouw	6	7,8	10,8	37	84	84	-	-
	Kinderen	4,5	5,9	8,1	27	63	63	-	-
Borstkramp, Hevige schok	Man	23	30	41	94	320	320	-	-
	Vrouw	15	20	27	63	214	214	-	-
	Kinderen	12	15	20,5	47	160	160	-	-

Notes:

a. Waarnemings en verkrampingsdrempels gelden voor 50% van de bevolking; de los-laat drempel geldt voor 0,5% van de bevolking.

b. Waarneming ➔ indien een lichte tinteling in de hand wordt gevoeld bij het stevig vastpakken van een elektrode.

c. Los-laat drempel ➔ indien men vrijwillig in staat is de greep vrij te maken.

*) Naar NRPB-R239 d.d. juli 1991, tabel 4 van Bernhardt.

Tabel 11. Effecten van stroom door het menselijk lichaam.

Globale stroomdichtheid voor het optreden van biologische effecten *)	
Effect	**Stroomdichtheid (A/m^2)**
Stimulatie van zenuwen en spieren	1 – 10
Beïnvloeding van de werking van het centrale zenuwstelsel Veranderingen in het cel metabolisme *in vitro*	0,1 – 1
Veranderingen in de netvlies functie Mogelijke veranderingen in het centraal zenuwstelsel Veranderingen in het cel metabolisme *in vitro*	0,01 – 0,1
Inwendige stroomdichtheid bij spieren en hart	< 0,001 – 0,01
*) Referte: NRPB-R239 d.d. juli 1991, tabel 5.	

Tabel12. Globale stroomdichtheid voor het optreden van biologische effecten.

De invloed van statische magnetische velden wordt in tabel 13 gegeven.

Invloed van Statische Magnetische velden *)		
Directe effecten	**Late effecten**	**Genetische effecten**
< 2 T géén	Mogelijk >1 T	< 1 T géén (wel in muizen)
> 5 T wel	?	< 14 T bij mensen géén chromosoom afwijkingen
Invloed van Statische Elektrische velden *)		
< 12 kVolt géén blijvende effecten		
*) naar NRPB-R238 d.d. juli 1991		

Tabel 13. Invloed van statische magnetische velden.

Referentieniveau's. Voor 50 Hz velden worden de limieten afgeleid van de basisbeperkingen in onderstaande tabel 14.

Tabel 6. Basisbeperkingen voor 50 Hz (Referte GR2000/06).				
Frequentie	Stroomdichtheid (mA/m^2)			
	Beroepsmatig blootgestelden		Algemene bevolking	
	Lichaam, hoofd [a]	Lichaam, deels [b]	Lichaam, hoofd [a]	Lichaam, deels [b]
50 Hz	25	100	5	20
[a] lichaam, hoofd: lichaam geheel of gedeeltelijk blootgesteld, inbegrepen het hoofd [b] lichaam, deels: lichaam gedeeltelijk blootgesteld, hoofd niet inbegrepen				

Tabel 14. Basisbeperkingen voor 50 Hz.

Limieten voor het magnetische inductieveld (B-veld). Ter voorkoming van gezondheidseffecten stelt de GR dat een **continue** blootstelling van het gehele lichaam aan magnetische veldsterkte, bij een frequentie van 50 Hz, niet hoger mag zijn dan **120 µT** voor de algemene bevolking.

Voor de beroepsmatig blootstelling geldt een grenswaarde van **600 µT**. Deze waarden mogen gedurende kortere tijd worden overschreden. Daarnaast gelden voor de ledematen hogere limietwaarden van 360 en 1800 **µT** voor respectievelijk de algemene bevolking en beroepshalve blootstelling. Een samen vatting van de limietwaarden zoals de GR die ziet voor blootstelling aan het E-veld, B-veld en de magnetische veldsterkte in A/m wordt in tabel 15. gegeven.

Tabel 8. Referentieniveaus voor 50 Hz volgens GR2000/06

		Elektrische veldsterkte (kV/m)	Magnetische Fluxdichtheid (µT)	Magnetische veldsterkte (A/m)
Beroepsmatig blootgestelden	Indirecte effecten niet mogelijk, hoofd, gehele lichaam	62,5		
	Indirecte effecten niet mogelijk, lichaamsdelen m.u.v. hoofd	250		
	Indirecte effecten mogelijk	40		
	Lichaam		600	477
	Ledematen		1 800	1 432
Algemene bevolking	Indirecte effecten wel of niet mogelijk	8		
	Lichaam		120	95,5
	Ledematen		360	286

Tabel 15. Referentieniveau's voor 50 Hz.

Er bestaan kleine verschillen in gegeven limiet waarden tussen die van de GR en de internationale organisaties zoals IRPA, ICNIRP en de Europese Unie. Deze maximale waarden zijn internationaal naar beneden afgerond, zoals in de IRPA tabel 16 is te zien. Dit is belangrijk omdat de IRPA en ICNIRP waarden een leidraad vormen voor de limieten zoals de Europese Unie die voorschrijft.

Maximum Values of Exposures to 50/60 Hz Fields as recommended by IRPA*)		
Exposure	**Electric fieldstrength (kV/m)**	**Magnetic flux density (µT)**
Working environment		
Throughout the work day	10	500
Short-term	30	5000
To arms and legs	-	25.000
Population in general		
24 hours	5	100
A couple of hours a day	10	1000
*) Referte AK-NIR-10-1-94		

Tabel 16. Maximum waarden voor 50 Hz velden (IRPA en EU).

Limieten voor het statische magneetveld (DC-veld). De commissie van de Gezondheidsraad stelt tevens vast dat voor statische magnetische velden (DC-velden) geen concreet biologisch effect is aan te geven, waarop limitering van blootstelling gebaseerd kan worden.

De GR stelt als maximum bij kortdurende pieken in de blootstelling een magnetische veldsterkte voor, waarboven biologische effecten zijn aangetoond, evenals hinderlijke effecten (zoals misselijkheid en duizeligheid) bij mensen die zich in een dergelijk veld bewegen.

Voor een **continue** blootstelling van het gehele lichaam aan magnetische velden bij **gelijkspanningsinstallaties** (statische- of DC-velden) mag voor de algemene bevolking de waarde niet hoger zijn dan **40 mT.** Voor de beroepsmatig blootgestelden geldt hierbij een grenswaarde van **200 mT**. Deze waarden mogen gedurende kortere tijd tot een maximum van **2000 mT** worden overschreden. Bovendien geldt voor alleen de ledematen de hogere limietwaarde van **5000 mT.**

Immuniteitseisen. Ter bescherming van mensen die een medisch implantaat dragen ter ondersteuning van hun hartfunctie zijn ook de eisen waaraan het implantaat minimaal moet voldoen vastgelegd. Deze immuniteitseisen voor "Implanted active cardiac devices" zijn vastgelegd in EN 45502-2-1:2005 (pacemaker) en prEN 45502-2-2:2006 (defibrillator) en daarvan afgeleide normbladen IEC 60601-1-2.

Uit vergaarde informatie over immuniteitseisen van een geïmplanteerde defibrillator (internet) mogen de blootstellingsniveaus van dit type apparaat niet hoger zijn dan 10 mT.

Uit EMI-testresultaten blijkt dat deze implantaten immuun zijn voor DC-velden met een niveau van **1 mT** (10 Gauss) en dat bij velden van **10 mT** herstel binnen 5 seconden optreedt, hetgeen niet als levensbedreigend wordt gezien en **20 µT** voor wisselende velden. In tabel 17 volgt een korte samenvatting van de beschreven grenswaarden.

Tabel 17. Grenswaarden voor magnetische veldsterktes

	B-veld 50 Hz (**µT**)	DC-veld (**mT**)
Algemene bevolking, continue	120	40
Ledematen	360	
Beroepsmatige blootstelling		
Continue, het gehele lichaam	600	200
Piekblootstelling gehele lichaam		2000
Piekblootstelling van ledematen	1800	5000
Defibrillatoren,	10 A/m = 12,57 µT	1 (10 Gauss)
herstel van functie binnen 5 seconde.	20	10

Referentieniveau's voor blootstelling aan RF-straling, verdeeld ober de vier meetbare grootheden, volgens de richtlijn van de Europese Unie in onderstaande tabel 18 vermeld (zie ook tabel 4 t/m 7).

Frequentiegebied	E-veldsterkte (V/m)	H-veldsterkte (A/m)	B-veld (μT)	Equivalente vermogensdichtheid voor vlakke golven S_{eq} (W/m²)
0-1 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	4 000/f	5 000/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
400-2 000 MHz	$1{,}375\ f^{1/2}$	$0{,}0037\ f^{1/2}$	$0{,}0046\ f^{1/2}$	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Grootheden en eenheden. In lucht of biologisch weefsel:
1 T circa 0,796 x 10^6 A/m of 1 μT circa 0,796 A/m

Natuurlijke niveau's. Naast de door menselijk handelen opgewekte niveaus aan ELF-straling hebben we ook te maken met de natuurlijke niveau's aan straling (zie tabel 19).

Natuurlijke elektrische en magnetische velden *)	
E-veld (kV/m)	**Weerstype**
0,1	Mooi weer
1,5	Atmosferische storingen
3 - 20	Onweder
Het magneetveld van de aarde (B-veld) bedraagt circa 40 μT	
*) Referte AK-NIR-10-1-94	

Tabel 19. Natuurlijke elektrische en magnetische velden.

Huishoudelijke omgeving. Naast de natuurlijke velden hebben we ook in de huishoudelijke omgeveing met velden te maken. Bij de stroomvoorziening van apparatuur hebben de B-velden meestal een frequentie van circa 50 Hz. Huishoudelijke apparatuur is hiervan een voorbeeld. De optredende veldsterkte van de B-velden in een huishoudelijke omgeving kan variëren, zoals in tabel 20 en tabel 21 is weergegeven.

50 Herz E-en B-velden bij huishoudapparatuur op 0,3 meter afstand		
Apparaat	**E-veld** (V/m)	**Magnetische inductie (B)** (µT)
Oven, wasdroger	2 - 4	2
Gloeilamp	2 - 5	0,5
Stofzuiger, TV	15 -90	4
Handmixer	50 - 90	
Koelkast, strijkijzer	60 -110	
Stereo installatie	90 - 170	
Elektrische deken	250 - 500	
Vloerverwarming		8
Handboormachine		16
Elektrische kachel		20
Airconditioning		40
In lucht of biologisch weefsel: 1 T is circa 0,796 x 10^6 A/m (1 µT is circa 0,796 A/m)		

Tabel 20. 50 Hz E- en B-velden bij huishoudapparatuur op 0,3 meter afstand.

Magnetische inductie aan het oppervlak van huishoudapparaten (50Hz)*)	
Apparaat	**B-veld (µT)**
Koelkast	0,1 - 10
Keukenlamp, platenspeler, spoelmachine, strijkijzer, wasmachine	1 - 10
Afvalversnipperaar, beltransformator, stofzuiger, toaster, verwarmingskussen, wasdroger, Z/W-televisie	1 - 100
Boormachine, föhn, inductiemotor, lasapparaat, kleurentelevisie, slijpmachine	100- 500
Keukenkachel, scheerapparaat, soldeerbout (140W), tafellamp	650 - 1000
Haardroger, mixer, soldeerbout (325W)	1000 - 2500
*) Referte AK-NIR-10-1-94.	

Tabel 21. Magnetische inductie aan oppervlak van 50 Hz huishoudapparatuur.

Bedenk dat computerbeeldschermen met magnetische afbuiging, de nu ouderwetse CRT-schermen, al in hun goede werking gestoord konden worden door uitwendige magnetische veld met waarden gelijk of hoger dan circa 2 µT!

Industriële omgeving. In een industriële omgeving zijn, door de het gebruik van generatoren, lasinstallaties en elektrisch aangedreven motoren, ook B-velden (voornamelijk 50 Hz) en statische velden te verwachten.

Conform artikel 5 van de Arbo wet en de handhaving daarvan door de Arbeidsinspectie als gevolg van de in 2012 van kracht wordende Europese Regelgeving (**richtlijn 2004/40/EC**) is de werkgever verplicht om een risico inventarisatie uit te voeren naar alle bedreigingen op de werkplek. Vanaf 2012 valt hieronder ook het onderzoek naar alle radiofrequentie stralingsbronnen, inclusief de ELF-velden.

Het doel van dit onderzoek is te bepalen hoe hoog de maximale waarden van de magnetische veldsterkte zijn, welke tijdens de productieprocessen kunnen optreden in de verschillende ruimten en locaties. Op basis van deze informatie kan worden bepaald in hoeverre medewerkers en bezoekers met een pacemaker of inwendige defibrillator (Implantable Cardioverter Defibrillator, ICD) risico lopen op het verstoren van de goede werking van het apparaat en zo veilig kunnen werken (bijvoorbeeld de Renewal 4 RF model H235, van de Guidant Corporation CPI). Hiermee kan dan voor bedienaar en bezoeker het risico worden bepaald dat hij loopt als drager van een dergelijke defibrillator.

Zo moet ook rekening worden gehouden dat rondom de elektrische installatie van een vorkheftruck, met een 48 Volts de batterij, DC-motor en netspanning oplader zowel DC- als B-velden te verwachten zijn (zie figuur 17).

Figuur 17. De vorkheftruck

Praktijk. Uit de rapportage van vele onderzoeken blijkt dat in de industriële omgevingen de veldsterkten kunnen variëren van 0,04 tot 500 µT. In elektriciteitscentrales kunnen aan het oppervlak van de generatoren waarden gemeten worden van **300 tot wel 990 µT**. Onder het tracé van hoogspanningslijnen komen tussen 0 en 2 meter hoogte boven het maaiveld, afhankelijk van het getransporteerde vermogen, waarden voor **tot 10 µT**. Bij ondergrondse hoogspanningskabels kan het wegdek gemeten, het B-veld waarden bereiken van wel **40 tot 60 µT**.

Hoogspanningslijnen. Een energiemaatschappij had, ter voorbereiding op de toenemende vraag naar elektriciteit in de toekomst, een bouwvergunning aangevraagd voor de vervanging van de bestaande hoogspanningsmasten. Hierbij rezen er bij de omwonenden vragen over de risico's en de effecten van deze "opwaardering" van het hoogspanningsnet van 150 kV naar 380 kV. Er zou namelijk gebruik worden gemaakt van bredere en zwaardere hoogspanningsmasten. Men was daarom beducht voor meer "elektrosmog" in de nabije omgeving van woonhuizen, accommodaties van sportverenigingen en een kinderboerderij.

Een wijkcommissie uitte haar zorgen over het feit dat er een gigantische schade aan de wijkparken zou worden toegebracht, waarbij zelfs een kinderboerderij zou moeten wijken. Zij wilden er van af en gaven er daarom de voorkeur aan om de hoogspanningsleiding ondergronds aan te leggen. Het liefst op een zo groot mogelijke afstand van de woonwijk.

De energiemaatschappij neemt echter het standpunt in dat de nieuwe masten met meer draden minder "elektrosmog" opleveren dan de huidige masten. Dit werd door de wijkcommissie niet voor zoete koek aangenomen.

De wijkcommissie ging er van uit dat de blootstelling in de buurt van de bestaande 150 kV hoogspanningslijn niet veel meer zou zijn dan die waarden welke bij "het spoor" optreden. Het spoor heeft immers hoogspanningskabels van 110 kV, waarbij een waarde werd gemeten circa 0,1 µT. Mede door de wijziging van de actiewaarde van 100 µT naar 0,4 µT vond de wijkcommissie dat dit zou betekenen dat de nieuwe masten een zwaardere elektrosmog zou opleveren dan in de bestaande situatie. Zij geloofde daarom niet in de stellingname van de energiemaatschappij dat er een verbetering zou optreden. De wijkcommissie had daarbij dringend behoefte aan objectieve getallen om hun mening te onderbouwen en meer informatie over de voor- en nadelen van het ondergronds leggen van de hoogspanningskabels.

De wijkcommissie kreeg van mij het volgende antwoord op hun verzoek:

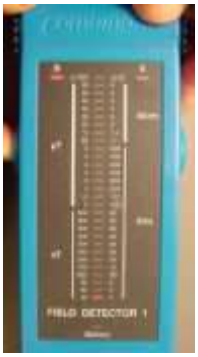
1. Bij transport van energie door een draad treedt vermogensverlies op. Dit verlies is gelijk aan het kwadraat van de stroom door die draad maal de weerstand van die draad (IxIxR). De stroom moet dus zo laag mogelijk worden!
2. Om dit verlies zo klein mogelijk te houden wordt de spanning waarbij het energietransport plaatsvindt verhoogd (in de praktijk dus van 150 kV naar 380 kV). Bij gelijkblijvend (te transporteren) vermogen en diameter van de draad zal de stroom door de draad lager zijn.
3. Ook geldt hoe **lager de stroom** (I) in een draad, hoe **kleiner het magnetisch inductie veld (B-veld)** om deze draad is.
4. Wanneer een hoogspanninglijn wordt "verzwaard " van 150 naar 380kV zal ook de mast hoger worden. Tevens wordt de afstand tussen **de leidingen en de bodem** vergroot.

5. Wanneer bij **een mast meer draden** worden toegepast, dan kan het resulterend B-veld op enige afstand kleiner zijn dan het B-veld van een afzonderlijk draad. Dit komt omdat het magnetische veld rondom de ene draad een faseverschuiving heeft t.o.v. de naastgelegen draad. De **magnetisch velden heffen elkaar daarbij voor een deel op**.
6. Door de bovengenoemde effecten/eigenschappen durf ik te stellen dat:
   (a) bij hogere masten,
   (b) hogere spanning op de leiding, en
   (c) met gebruik van meer draden,
   de waarde van het B-veld op enige afstand van deze draden (zeg tussen 0 en 2 meter boven het maaiveld) lager zal zijn dan op gelijke afstand t.o.v. de oude situatie.
7. Hoeveel dit precies is kan gemeten worden. De meetwaarde is daarbij sterk afhankelijk van het op dat moment door de draden getransporteerde vermogen!
8. Bij mijn weten zijn de berekeningen van de energiemaatschappij op de worst-case situatie gericht, het maximaal te transporteren vermogen en de daarbij behorende maximale stroom (Denk aan een strenge winter)!
9. Bedenk dat indien een ondergrondse kabel gebruikt gaat worden (op een diepte 1 meter) de hoogspanning op de kabel lager en de **stroom mogelijk vele malen hoger** wordt. Dit kan tot gevolg hebben dat de waarde van het B-veld boven een ondergrondse kabel, ter hoogte van het maaiveld, ruim boven de 0,4 µT uit zal komen.

Meetapparatuur. Bij de uitvoering van het onderzoek werd door mij gebruik gemaakt van draagbare batterijgevoede meetapparatuur:

- **Een EM field analyzer type EFA-200** van Wandel & Goltermann. Deze analyzer heeft een ingebouwde probe voor het meten van magnetische inductievelden in het meetbereik vanaf 0,04 µT tot 100 mT (zie figuur 18). In de peak value mode wordt de gemeten waarde over 250 milliseconde en in de RMS-mode over 1 seconde aangeven. De onzekerheid in de gemeten waarden bedraagt boven een waarde van 0,5 µT, in de mode broadband (5 Hz tot 2 kHz) ±8%.
- **Een EM-Fielddetector van het type FD-1** van Combinova uit Zweden, zie figuur 19). Deze breedband detector is geschikt voor het meten van Extreme Low frequency Fields. Hiermee kan het Elektrische (E-veld) en Magnetische inductieveld(B-veld) worden gemeten in het frequentiegebied van 5 tot 2000 Hz. De detector heeft voor het B-veld een meetbereik van 40 nT, tot 100 µT. en voor het E-veld van 4 V/m tot 10kV/m. De afwijking van de gemeten waarde bedraagt ± 5 %.
- **Een Magnetic Field Strength Meter van het type FH51** (Magnet-Physik, Dr. Steingroever GmbH, zie figuur 20). Is ook geschikt voor het meten van statische magneetvelden. De detector heeft een meetbereik van 0,1 mT tot 2T verdeeld in 3 meetbereiken. De onzekerheid van de gemeten waarde bedraagt voor DC-velden met de standaard meetprobe ± 2 %.

Figuur 18. EFA-200.



Figuur 19. FD-1.

Figuur20. FH51.

Op een aantal relevante plaatsen werd met deze monitor vastgesteld dat de waarde van het E-veld niet noemenswaardig afweken van een nominale (achtergrond) situatie, waardoor deze velden niet verder zijn gemeten en in de rapportage zijn opgenomen.

Meetmethoden. De metingen worden, voor zover niet anders aangegeven, verricht in een normale werksituatie en hebben altijd een indicatief karakter. De gemeten waarden geven de sterkte aan van de DC-velden en/of B-velden boven het niveau van de lokale “achtergrond”. De sterkte van dit veld zoals dat ook met de meetapparatuur buiten de meetplaatsen werd gemeten, moet van de waarde worden afgetrokken! Bedenk dat indien de meetprobe enkele centimeters naar links of rechts, of van de bron af wordt bewogen, de veldsterkte al minder is. De maximale waarden worden daarom genoteerd (zie figuur 21 en 22).

Figuur 21 en 22. Relevante meetplaatsen.

0-0-0

Veel leesplezier, Willem van Gaalen senior stralingshygiënist,
PA0WJG; 6de herziening, zomer 2013.

../SHvD_5_SH RF- en ELF-straling-99-9386-v3.docx