

RIVM rapport 610059004

Gezondheidseffecten van mobiele telefonie

M. van der Plas en G.J. Eggink

maart 1999

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de directie Gezondheidsbeleid, afdeling Consumentenveiligheid en Omgevingsrisico's van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), in het kader van project 610059, Advisering Straling Volksgezondheid.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

Postbus 1, 3720 BA Bilthoven

Tel.: 030 - 2749111 Fax: 030 -2742971

ABSTRACT

The growth in the number of mobile phone-users and base stations has increased concern about possible health effects. The basic restrictions for exposure to radiofrequent radiation apply to the frequencies used for mobile telephony. To prevent a temperature increase of more than 1 °C these should not be exceeded. Measurements and calculations in phantoms have shown that these restrictions are not exceeded during use of the mobile phone. Sufficient measures are taken near base stations to prevent the basic restrictions being exceeded. Possible health effects can be divided into thermal, athermal and indirect. Thermal effects have been reported for GSM- and NMT-users, but no comparison was made with users of 'regular' phones. Studies on athermal effects occasionally point in the direction of a causal relationship between exposure and effects, but show several uncertainties and shortcomings. Indirect effects can be established by interference with electronic devices. People with pacemakers are advised to follow recommendations on safe use of the phone. In recent years, studies have also focused on aspecific symptoms like sleep disturbances, headaches and fatigue. Thus far, it can be concluded that no health hazard associated with the exposure to radiation from mobile phones and their base stations has been proven, provided that the basic restrictions are not exceeded.

INHOUD

Samenvatting	4
Voorwoord	5
1. Inleiding	6
1.1 Aanleiding en doelstelling	6
1.2 Leeswijzer	6
2. Radiofrequente straling	7
2.1 Het elektromagnetisch spectrum: begrippen en theorie	7
2.2 Dosimetrie	12
2.3 Gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan RF-straling in Nederland	13
3. Mobiele telefonie	17
3.1 Mobiele telefoons	17
3.2 Cellulaire technologie	18
3.3 Communicatie tussen mobiele telefoon en basisstation	19
3.4 Blootstelling van algemene bevolking	21
3.5 Blootstelling van gebruikers van zaktelefoons	21
3.6 Beleving van blootstelling aan RF-straling	23
4. Gezondheidseffecten	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Thermische effecten	25
4.3 A-thermische effecten	26
4.4 Indirecte effecten	27
4.5 Aspecifieke klachten	28
4.5.1 Slaapstoornissen	29
4.5.2 Hoofdpijn	30
4.5.3 Vermoeidheid	31
4.5.4 Concentratiestoornissen, geheugenverlies en duizeligheid	31
4.6 Lopende studies: het EMF-project	32
5. Conclusies en aanbevelingen	33
5.1 Discussie en conclusies	33
5.2 Aanbevelingen	35
Referenties	37
Appendix I: Verzendlijst	42
Appendix II: Berekening van de vermogensdichtheid	43
Appendix III: Lijst van afkortingen	44

SAMENVATTING

Met de toename van het aantal gebruikers van mobiele telefoons en het aantal basisstations groeit de zorg over mogelijke effecten op de gezondheid. De basisbeperkingen voor blootstelling aan radiofrequente straling zijn van toepassing op de frequenties die gebruikt worden voor mobiele telefonie. Deze beperkingen moeten niet overschreden worden om een temperatuursverhoging van meer dan 1 °C te voorkomen. Metingen en berekeningen in fantomen tonen aan dat de basisbeperkingen niet worden overschreden gedurende het gebruik van de mobiele telefoon. In de omgeving van basisstations zijn voldoende maatregelen getroffen om overschrijding van de basisbeperkingen te voorkomen. De mogelijke gezondheidseffecten zijn op te delen in thermische, a-thermische en indirecte effecten. Thermische effecten zijn gevonden bij GSM- en NMT-gebruikers, maar er is geen vergelijking gemaakt met gebruikers van 'gewone' telefoons. Studies naar a-thermische effecten wijzen in een enkel geval in de richting van een causale relatie tussen blootstelling en effecten, maar vertonen verscheidene onzekerheden en tekortkomingen. Indirecte effecten kunnen ontstaan door interferentie met elektronische apparatuur. Pacemakerdragers wordt geadviseerd de aanbevelingen voor veilig gebruik van de telefoon op te volgen. In de laatste jaren richten studies zich ook op specifieke klachten, zoals slaapstoornissen, hoofdpijn en vermoeidheid. Geconcludeerd kan worden dat er tot nu toe geen gevaar voor de gezondheid is aangetoond bij blootstelling aan straling van mobiele telefoons en hun basisstations, mits de basisbeperkingen niet worden overschreden.

VOORWOORD

De afdeling Consumentenveiligheid en Omgevingsrisico's van de directie Gezondheidsbeleid van het ministerie van VWS heeft bij het voorbereiden en onderbouwen van het beleid ten aanzien van blootstelling aan bronnen van ioniserende en niet-ioniserende straling behoefte aan wetenschappelijke analyses, adviezen en risicoschattingen. Vooral voor niet-ioniserende stralingsbronnen geldt dat de blootstelling zich niet alleen beperkt tot medische toepassingen. Gezien de actualiteit van het onderwerp en de toenemende ongerustheid onder de bevolking bestaat behoefte aan een overzicht van de mogelijke gezondheidseffecten van mobiele telefonie, één van de niet-ioniserende stralingsbronnen waaraan zowel niet-gebruikers als gebruikers van mobiele telefoons worden blootgesteld.

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding en doelstelling

In de afgelopen jaren is het aantal gebruikers van mobiele telefoons wereldwijd enorm toegenomen. Mede door de verbeterde technologie en een toenemend aantal basisstations heeft deze ontwikkeling kunnen plaatsvinden. Werd de mobiele telefoon, ook wel zaktelefoon genoemd, vroeger vrijwel alleen zakelijk gebruikt, tegenwoordig is het privégebruik sterk in opkomst. Dergelijke apparaten zenden een radiofrequent (RF-)signaal uit dat door een nabijgelegen basisstation wordt opgevangen en wordt doorgegeven aan het net, of aan een ander basisstation dat het signaal weer doorzendt aan de ontvanger. Als gevolg daarvan verschijnen er grote aantallen basisstations in het land, alle uitgerust met RF-antennes, om alle gesprekken mogelijk te maken. Door deze ontwikkeling worden mensen in toenemende mate blootgesteld aan RF-straling afkomstig van de mobiele telefoon zelf of van het basisstation. Met het toenemend aantal gebruikers groeit ook de zorg over het effect op de gezondheid.

Dit rapport richt zich op eventuele gezondheidseffecten van mobiele telefonie. Het rapport beperkt zich tot het verband tussen de niet-ioniserende stralingsaspecten en het effect op de gezondheid. De relatie tussen het gebruik van de telefoon in de auto en de verkeersveiligheid valt dus buiten deze beschouwing. Hierover is onlangs een rapport verschenen van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, waarin wordt aanbevolen het gebruik van de mobiele telefoon tijdens het autorijden te verbieden [Oe98].

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden fysische begrippen en theorie van elektromagnetische straling besproken, voor zover relevant voor eventuele gezondheidseffecten. Een aantal van deze begrippen is specifiek gericht op het radiofrequente deel van het elektromagnetisch spectrum. Daarnaast komen de basisbeperkingen en gezondheidskundige advieswaarden aan de orde. Hoofdstuk 3 behandelt de verschillende systemen van mobiele telefonie en de technologie ervan voor zover relevant voor eventuele gezondheidseffecten. Tevens komt hier de blootstelling aan radiofrequente straling van de gebruikers en de algemene bevolking aan de orde.

In hoofdstuk 4 worden de gezondheidseffecten behandeld die onder de noemer 'moeilijk medisch objectiveerbaar' vallen. Hieronder vallen klachten als hoofdpijn, concentratie- en slaapproblemen. Tevens worden de meest recente onderzoeken naar objectiveerbare gezondheidseffecten kort toegelicht.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 een aantal conclusies en aanbevelingen gegeven.

2. RADIOFREQUENTE STRALING

2.1 Het elektromagnetisch spectrum: begrippen en theorie

Energie, frequentie en golflengte

Niet-ioniserende straling is elektromagnetische (EM-)straling waarvan de energie te laag is om ionisatie in materie te veroorzaken. Deze energie E is het product van de frequentie f en de constante van Planck, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s, in formule:

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

De grens tussen ioniserende en niet-ioniserende straling ligt bij een golflengte λ van 100 nm.

Uit het verband tussen de snelheid van elektromagnetische golven c in vacuüm ($3,0 \cdot 10^8$ m/s), de golflengte en de frequentie:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

volgt dan dat straling met een frequentie lager dan 3000 THz en een energie lager dan 12,4 eV gerekend mag worden tot het niet-ioniserende deel van het elektromagnetisch spectrum (figuur 1). Radiofrequente (RF-)straling beslaat het frequentiegebied van 300 Hz tot 300 GHz.

Elektromagnetische velden hebben een elektrische component E en een magnetische component H die gekoppeld zijn (zie figuur 2). Beide grootheden hebben een grootte (sterkte) en een richting. De sterkte van het elektrisch veld wordt uitgedrukt in volt per meter (V/m) en de sterkte van het magnetisch veld wordt uitgedrukt in ampère per meter (A/m). De richting van de velden wordt aangegeven met pijlen, waarvan de lengte correspondeert met de sterkte van het desbetreffende veld. De magnetische fluxdichtheid B is, tenzij er sprake is van magnetisatie, evenredig met het magnetisch veld H . De verhouding tussen B en H hangt af van het medium waarin het veld zich bevindt.

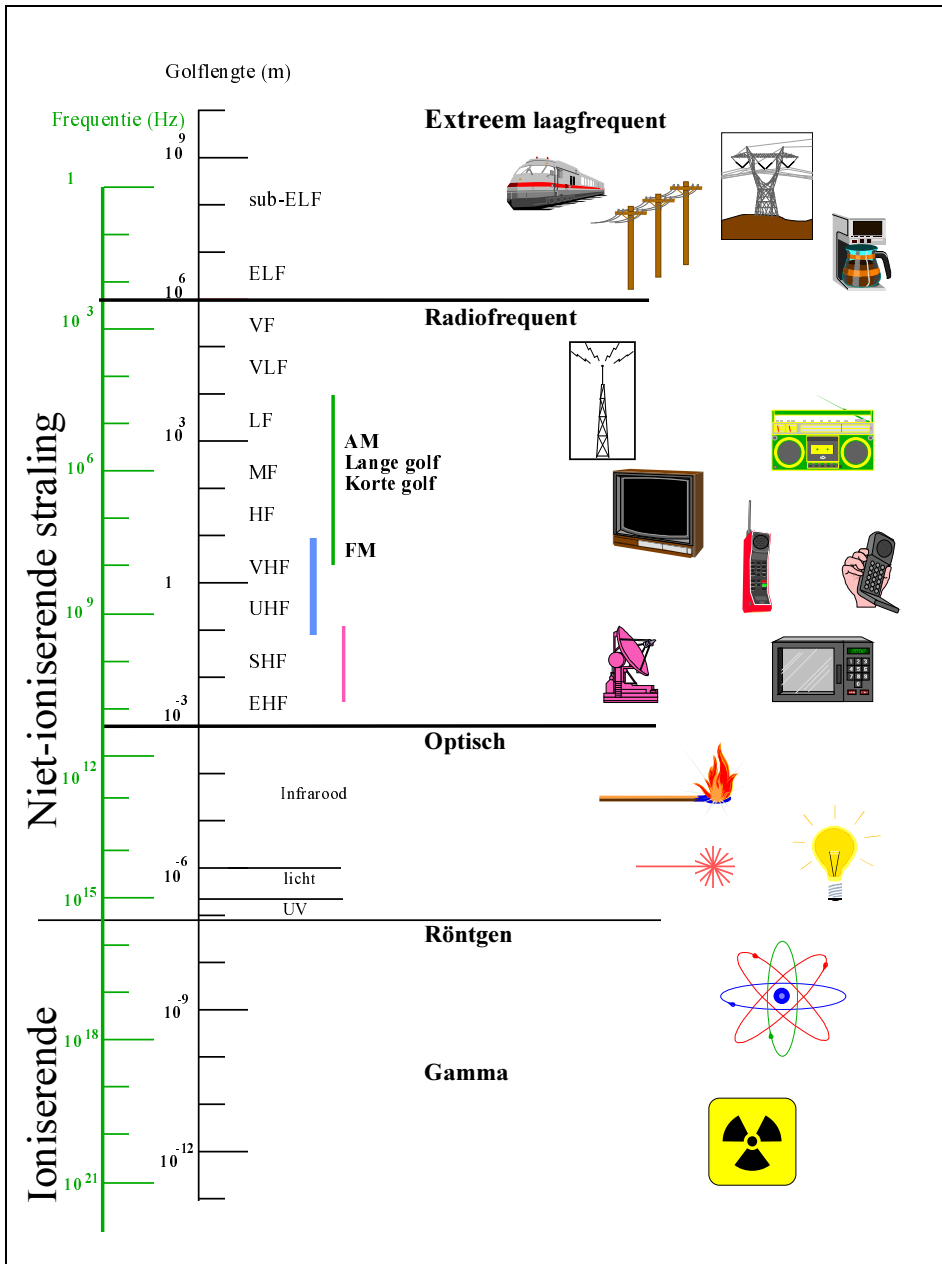
Veldkarakter

Het karakter van elektromagnetische velden varieert met de afstand r tot de bron (antenne). Drie velden kunnen onderscheiden worden:

1. het nabije veld:

Wanneer de golflengte λ van de EM-velden groot is ten opzichte van de afstand r tussen de bron en het object ($r < \lambda$), zijn het elektrische en magnetische veld niet gekoppeld. De veldsterkte neemt niet op een geleidelijke manier af met

toenemende afstand tot de bron, maar vertoont maxima en minima, die niet op dezelfde plaats voorkomen langs de voortplantingsrichting van de golf. Het veld is dus sterk inhomogeen en moeilijk te beschrijven.



Figuur 1: Het elektromagnetisch spectrum.

2. het veld in het overgangsgebied ($r \approx \lambda$):

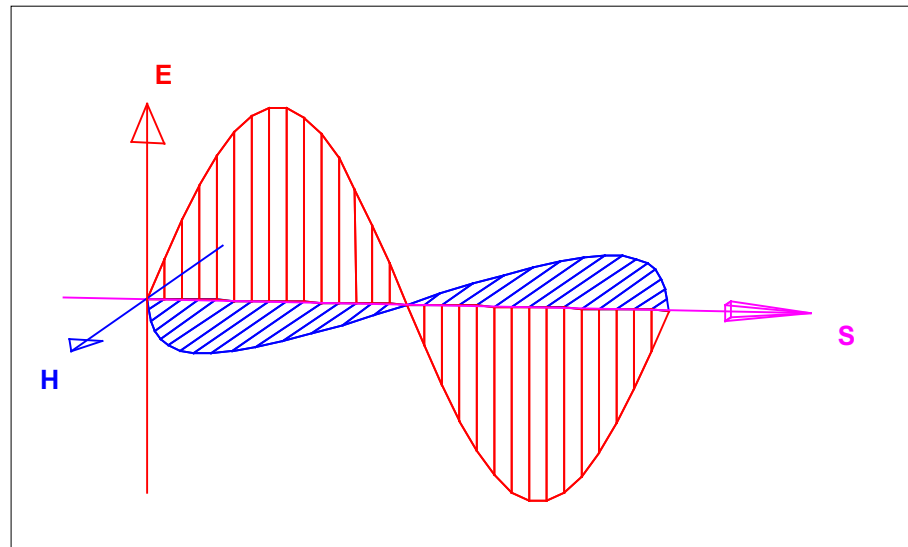
Dit is het overgangsgebied van het moeilijk te beschrijven elektromagnetische straling in het nabije veld en de vlakke golf EM-velden in het verre veld. Het beschrijven van de velden is ook hier moeilijk.

3. het verre veld:

Dit veld bevindt zich op grotere afstand van de bron ($r > \lambda$) en als grens wordt

vaak $r = 2\lambda$ aangehouden. Hier zijn het elektrische en magnetische veld wel gekoppeld en is er sprake van ‘echte’ elektromagnetische straling met het vlakke golf-karakter (alle veldgrootheden constant in het vlak loodrecht op de voortplantingsrichting, het golffront). De veldsterkte neemt evenredig af bij toenemende afstand tot de bron.

Bij de frequenties 900 en 1800 MHz voor mobiele telefonie zijn de golflengtes respectievelijk circa 33 en 17 cm. Het hoofd bevindt zich bij gebruik van de telefoon dus in het nabije veld. Hier wordt in paragraaf 3.5 op terug gekomen.



Figuur 2: Schematische voorstelling van een elektromagnetische golf.

Vermogensdichtheid

De vermogensdichtheid S is gedefinieerd als het vermogen per oppervlakte-eenheid in het golffront en wordt uitgedrukt in watt per vierkante meter (W/m^2). De vermogensdichtheid in het verre veld kan berekend worden uit het (uitwendig) vectorproduct van het E- en H-veld:

$$S = E \times H \quad (3)$$

De vermogensdichtheid neemt af bij toenemende afstand tot de bron. Het hangt dan van de configuratie van de bron af hoe sterk deze grootte afneemt. In het nabije veld kan de verhouding van de grootte van het elektrische en het magnetische veld, de golfimpedantie, sterk variëren. In appendix II wordt uiteengezet hoe uit deze gegevens de vermogensdichtheid berekend kan worden.

Polarisatie

Een elektromagnetische golf is gepolariseerd wanneer de vectoren die het E- en het H-veld beschrijven in het vlakke golffront een specifieke configuratie hebben. Zo kan een EM-veld lineair of circulair gepolariseerd zijn. Bij lineaire polarisatie bevindt het elektrisch veld zich in één vlak langs de voortplantingsrichting (zie figuur 2), de oriëntatie is constant. De oriëntatie van de vector die het elektrische

veld beschrijft is van invloed op de absorptie van straling in objecten.

Resonantie

Resonantie is het verschijnsel waarbij een object in een EM-veld met een bepaalde frequentie, de resonantiefrequentie, energie maximaal absorbeert. Het object heeft deze frequentie als ‘eigenfrequentie’. Of resonantie optreedt, is onder andere afhankelijk van de afmetingen en geometrie van het object. Wanneer het object ongeveer de grootte van een golflengte heeft, treedt dit verschijnsel op. Dus: hoe kleiner het lichaam, hoe hoger de resonantiefrequentie. Hiernaast spelen ook de elektromagnetische eigenschappen van het object een rol. Bij de mens ligt de resonantiefrequentie voor het gehele lichaam tussen 10 en 300 MHz, terwijl resonantie in ledematen optreedt bij hogere frequenties, voor het hoofd bijvoorbeeld 300 à 400 MHz [GR97].

Indringdiepte

Hoe diep EM-straling in een object doordringt, is afhankelijk van de frequentie van de straling en van de elektromagnetische eigenschappen van het weefsel. De indringdiepte is evenredig met de wortel van het reciproke produkt van de frequentie, de geleidingscoëfficiënt σ in siemens per meter (S/m) en de magnetische permeabiliteit in vacuüm μ_0 in henry per meter ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m) [Du90]:

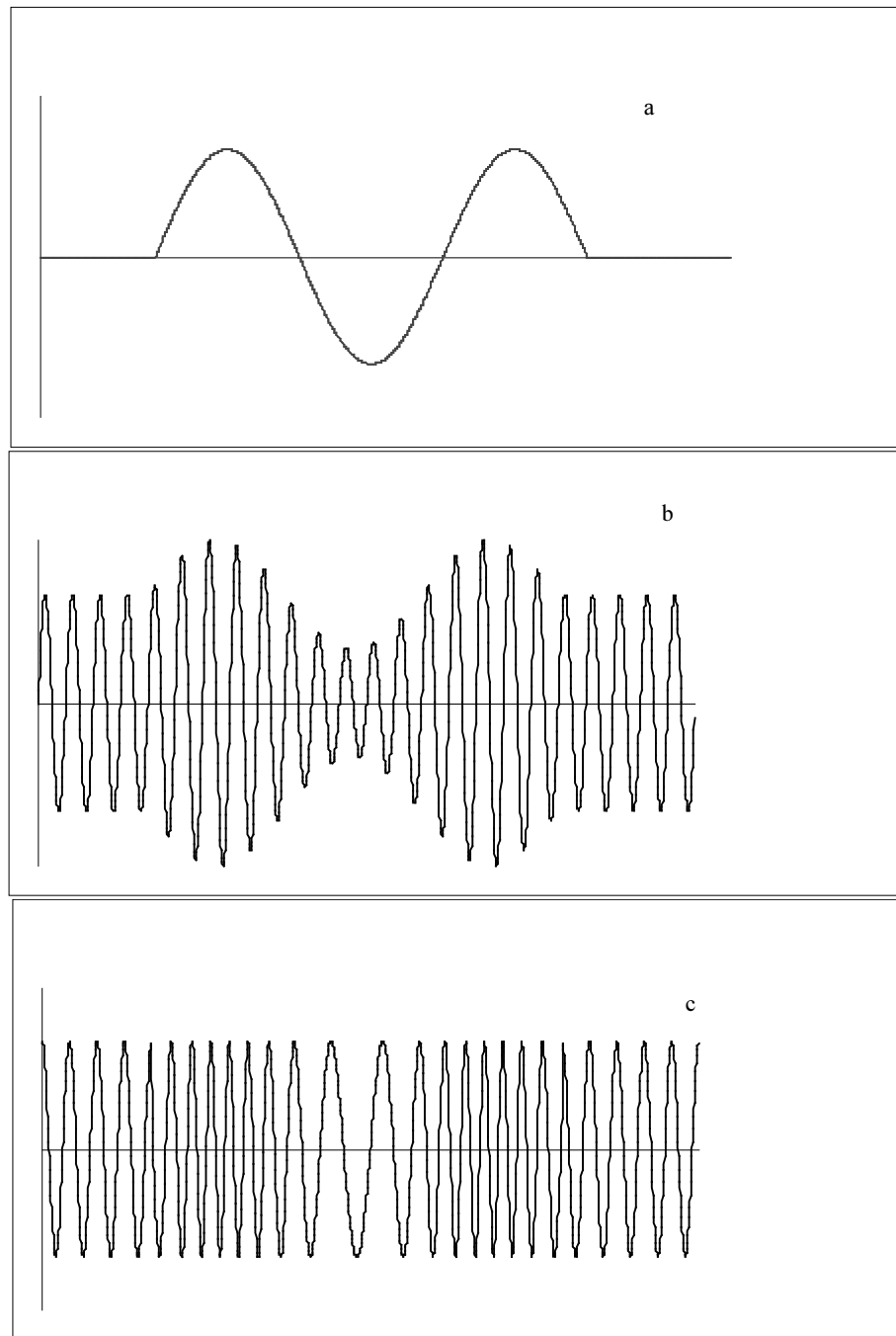
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \sigma \pi f}} \quad (4)$$

Dit betekent dat bij hogere frequentie (> 2 GHz) de absorptie in het menselijk lichaam beperkt blijft tot het huidoppervlak. De indringdiepte is dus frequentieafhankelijk: de indringdiepte voor de frequentie 1800 MHz is een factor $\sqrt{2}$ lager dan voor 900 MHz.

Signaaloverdracht

Signaaloverdracht kan op verschillende manieren plaatsvinden door het gebruik van zogeheten modulatietechnieken. Modulatie is een signaalbewerkingstechniek waarbij een signaal van vorm wordt veranderd, in principe zonder informatieverlies. Er is dus sprake van een signaal dat informatie bevat en een zogenaamde draaggolf met een bepaalde frequentie en amplitude.

Er zijn verschillende soorten modulatie. We zullen hier alleen amplitude modulatie (AM), frequentiemodulatie (FM) en gepulste modulatie bespreken, aangezien deze het meest relevant zijn voor signaaloverdracht bij mobiele telefonie (zie ook figuur 3) [IC96]:



Figuur 3: (a) Het ingangssignaal dat de informatie draagt. Het bijbehorende uitgangssignaal bij: (b) amplitudemodulatie (AM) en (c) frequentiemodulatie (FM).

1. Bij amplitudemodulatie (AM) wordt de amplitude van de draaggolf evenredig met de amplitude van het informatie-dragende signaal gevarieerd, terwijl de frequentie van de draaggolf niet verandert. De informatie is dan vervat in de amplitude van het gemoduleerde signaal.
2. Bij frequentiemodulatie (FM) wordt de frequentie van de draaggolf gevarieerd met de amplitude (!) van het informatie-dragende signaal, terwijl de amplitude van de draaggolf constant blijft. De informatie is vervat in de frequentie van het gemoduleerde signaal.

3. Bij gepulste modulatie spreekt men van pulshoogtemodulatie of pulsbreedtemodulatie. De draaggolf bestaat hierbij uit pulsen met gelijke hoogte en breedte en het informatie-dragende signaal bepaalt in deze gevallen de hoogte van de puls van het gemoduleerde signaal bij pulshoogtemodulatie en de breedte van de puls van het gemoduleerde signaal bij pulsbreedtemodulatie [Re90].

AM- en FM-signalen zijn beide continu en worden ook wel CW-('continuous wave') signalen genoemd, in tegenstelling tot gepulste gemoduleerde signalen, die echter wel CW-signalen kunnen bevatten.

2.2 Dosimetrie

Blootstelling aan RF-straling kan in een organisme leiden tot de inductie van kringstroompjes en de opwarming van weefsels door energie-absorptie. In welke mate deze effecten voorkomen hangt af van de afmetingen en geometrie van het organisme, zijn elektromagnetische eigenschappen en van de frequentie van de straling.

Bij frequenties vanaf ongeveer 1 MHz vindt opwarming plaats door absorptie van energie. Deze opwarming komt makkelijker tot stand wanneer het blootgestelde materiaal (weefsel) veel water bevat. Een watermolecuul is namelijk asymmetrisch geladen, dus heeft het een positief geladen en een negatief geladen deel. In een elektrisch veld zal het watermolecuul zich richten in de richting van het elektrische veld. In een wisselend elektrisch veld geven de watermoleculen door de wisselende beweging energie af, hetgeen resulteert in opwarming. Een hoger watergehalte levert daardoor meer absorptie en een hogere temperatuur op.

De opwekking van warmte wordt beschouwd als het meest relevante effect van blootstelling aan elektromagnetische velden met frequenties tussen 100 kHz en 10 GHz ([GR97], zie ook paragraaf 4.2). Het vermogen van een organisme om deze warmte te verdragen en af te voeren is bepalend voor de hoogte van blootstellingslimieten. In het frequentiegebied van 10 MHz tot 10 GHz is de meest gebruikte dosimetrische grootheid de *specific absorption rate* (SAR), dit is het dosistempo in het weefsel. In dit rapport zal de Nederlandse benaming voor SAR worden gebruikt: SAT (specifiek absorptietempo). De eenheid van SAT is W/kg. Wanneer de sterkte van het sinusvormige elektromagnetisch veld in weefsel bekend is, kan de SAT berekend worden volgens:

$$\text{SAT} = \frac{\sigma(E_{\text{rms}})^2}{\rho} \quad (5)$$

Hierin is E_{rms} de *root-mean-square* waarde van E ¹, ρ de dichtheid (kg/m^3) en σ de

¹ De rms-waarde is een berekende gemiddelde of effectieve waarde van een periodiek wisselende functie. De rms-waarde voor een elektrisch veld met veldsterkte $E(t)$ en periode T ($= 1/\text{frequentie}$) wordt berekend volgens:

$$E_{\text{rms}} = \left[\frac{1}{T} \int_t^{t+T} E(t)^2 dt \right]^{1/2}$$

geleidingscoëfficiënt van het weefsel of materiaal. De SAT is ook te berekenen wanneer de impedantie en de grootte van het E- of het H-veld bekend zijn. Dit is uiteengezet in de appendix.

De methodes en procedures voor het bepalen van de SAT zijn verre van gestandaardiseerd [Ro96]. Vanwege het invasieve karakter is het meten van elektromagnetische velden in het menselijk lichaam (en met name in het hoofd) over het algemeen niet mogelijk. Daarom wordt vaak gebruik gemaakt van fantomen. Daarnaast wordt ook gebruik gemaakt van modellen die de SAT redelijk kunnen berekenen, aan de hand van een mathematische voorstelling van het hoofd [Di94, IC96, GR97].

De temperatuursverhoging dT in een tijd dt is gerelateerd aan de SAT volgens de volgende formule (aangenomen dat geen warmteverliezen optreden):

$$dT = \frac{SAT}{C} dt \quad (6)$$

Hierin is C de soortelijke warmte van het materiaal in joules per kilogram per kelvin ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$).

2.3 Gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan RF-straling in Nederland

In Nederland bestaan geen wettelijke limieten voor blootstelling aan niet-ioniserende straling. Echter, de Gezondheidsraad heeft in een advies wel een aantal frequentie-afhankelijke gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan radiofrequente straling opgesteld, om schade aan de gezondheid zoveel mogelijk te voorkomen. Deze advieswaarden zijn er op gericht globale thermische belasting van het lichaam en excessieve plaatselijke verwarming van weefsels te voorkomen en zijn afgeleid van de hierna omschreven basisbeperkingen voor de SAT.

Experimenteel onderzoek heeft uitgewezen dat een SAT van 2 tot 4 W/kg, gemiddeld over het gehele lichaam gedurende meer dan 20 minuten leidt tot een verhoging van de lichaamstemperatuur met 0,1 tot 0,5 °C [GR97]. Bij een SAT van meer dan 4 W/kg gedurende langere tijd kunnen nadelige effecten optreden. Langdurige verhoging van de lichaamstemperatuur van meer dan 1 °C kan tot weefselschade leiden. De basisbeperkingen zijn zodanig opgesteld dat deze temperatuursverhoging wordt voorkomen. Hoewel het lichaam een dergelijke verhoging (tijdelijk) kan verdragen, wordt (voor werkers) een veiligheidsfactor 10 in rekening genomen om de kans op nadelige effecten zoveel mogelijk uit te sluiten. De basisbeperking voor de SAT komt dan uit op 0,4 W/kg.

Men maakt bij het vaststellen van de basisbeperkingen onderscheid tussen blootstelling van de algemene bevolking ('uncontrolled environment') en van de beroepsbevolking ('controlled environment'). De advieswaarden voor

blootstelling van de algemene bevolking zijn een factor 5 lager dan die voor de beroepsbevolking (zie Tabel 1). Eén van de redenen hiervoor is dat een deel van de algemene bevolking mensen met een geringere weerstand kan omvatten, zoals kinderen, bejaarden en mensen met een gestoord thermoregulerend vermogen. Daarentegen bestaat de beroepsbevolking uit gezonde volwassenen die maximaal 8 uur per dag worden blootgesteld. Bovendien kan de blootstelling van de algemene bevolking continu en minder gecontroleerd zijn. Dit resulteert in een basisbeperking voor de SAT van 0,08 W/kg voor het gehele lichaam en gedurende onbepaalde tijd.

Om te voorkomen dat een onverantwoord hoge blootstelling gedurende zeer korte tijd optreedt, hanteren de Gezondheidsraad en de NRPB in hun aanbevelingen een middelingstijd van 6 minuten voor het bepalen van de SAT [NR93]. Deze tijd is gebaseerd op de warmte-evenwichtstijd: de tijd waarin een toename van de lichaamstemperatuur tot de helft wordt teruggebracht wanneer de externe warmtebron wordt weggenomen. Aangenomen wordt dat dit de warmte-evenwichtstijd is, wanneer de mens in rust wordt blootgesteld aan een warmtebron.

De ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) beveelt aan bij blootstelling van het hoofd het SAT over een massa van 10 g te middelen, omdat de ruimtelijke verdeling van de geabsorbeerde energie sterk inhomogeen kan zijn [ICN96].

Tabel 1: Basisbeperkingen voor blootstelling van het gehele lichaam voor de algemene bevolking (ab) en de beroepsbevolking (bb) [GR97].

frequentie-gebied	stroomdichtheid (mA/m ²)		SAT (W/kg) ^a		vermogens-dichtheid (W/m ²) ^b	
	bb	ab	bb	ab	bb	ab
300 Hz - 1 kHz	10	2				
1 kHz - 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	6,727xf ^{0,473} d

^a middelingstijd = 6 min

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

^c frequentie f in Hz

^d frequentie f in GHz

De in Tabel 1 genoemde waarden gelden voor blootstelling van het gehele lichaam en onder verre-veld condities. Voor blootstelling van delen van het lichaam aan RF-straling gelden andere beperkingen die zijn gebaseerd op het voorkomen van een lokale temperatuur hoger dan ongeveer 38 °C in het hoofd of in de foetus, 39 °C in de hals en de romp en 40 °C in armen en benen. Voor hoofd, nek en romp is de maximale SAT-waarde vastgesteld op 10 W/kg

gemiddeld over 10 gram weefsel. Voor de ledematen geldt een waarde van 20 W/kg gemiddeld over 100 gram weefsel. Voornoemde waarden gelden als basisbeperking voor de beroepsbevolking, voor de algemene bevolking zijn deze waarden respectievelijk 2 en 4 W/kg. Deze waarden komen overeen met de aanbeveling van de ICNIRP voor blootstelling van het hoofd aan radiofrequente straling [ICN96] en de aanbevelingen van de Raad van de Europese Unie ten aanzien van beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 tot 300 GHz [EC98].

Tabel 2: Maximale SAR-waarden in W/kg voor blootstelling van delen van het lichaam.

frequentie	hoofd, hals, romp, foetus ^a gemiddeld over 10 g weefsel		ledematen gemiddeld over 100 g weefsel	
	beroeps- bevolking	algemene bevolking	beroeps- bevolking	algemene bevolking
100 kHz - 10 GHz	10	2	20	4

^a voor de foetus is alleen de waarde voor de algemene bevolking van toepassing

In de praktijk is het echter niet mogelijk om de SAT of de stroomdichtheid in het lichaam te meten. Door in plaats hiervan grenswaarden voor het elektrisch en magnetisch veld vast te stellen op de plaats van het object is dit probleem te vermijden. Door de normerende instanties zijn voor deze grootheden gezondheidkundige advieswaarden voorgesteld die alle zijn afgeleid van de basisbeperkingen voor de SAT en gebaseerd zijn op modelberekeningen. Door verschillen tussen de gebruikte modellen zijn er kleine verschillen met de basisbeperkingen zoals weergegeven in Tabel 1. De gezondheidkundige advieswaarden voor de maximale elektrische veldsterkte zijn in Tabel 3 weergegeven. Met indirecte effecten worden in deze tabel contactstromen bedoeld.

Tabel 3: Voorgestelde maximale sterktes voor het elektrische veld [GR97].

frequentiegebied	elektrische veldsterkte E (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	118xf ^{0,72}	118xf ^{0,72}	53xf ^{0,72}	(f in GHz)
2 GHz - 10 GHz	194	194	87	
10 GHz - 300 GHz	194	194	49xf ^{0,24} *)	(f in GHz)

*) Fout in [GR97], hier gecorrigeerd in overleg met Dr E. van Rongen van de Gezondheidsraad.

De gezondheidskundige advieswaarden voor het magnetisch veld zijn opgesplitst in waarden voor de magnetische veldsterkte en de magnetische fluxdichtheid en zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Voorgestelde maximale magnetische fluxdichtheid en magnetische veldsterkte [GR97].

frequentie gebied	magnetische fluxdichtheid B (μT)		magnetische veldsterkte H (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	0,39xf ^{0,73}	0,17xf ^{0,73}	0,31xf ^{0,72}	0,14xf ^{0,74}	(f in GHz)
2 GHz - 10 GHz	0,65	0,92	0,52	0,23	
10 GHz - 300 GHz	0,65	0,17xf ^{0,23} *)	0,52	0,13xf ^{0,24} *)	(f in GHz)

*) Fout in [GR97], hier gecorrigeerd in overleg met Dr E. van Rongen van de Gezondheidsraad.

De gegeven waarden moeten volgens de Gezondheidsraad niet gezien worden als een scheiding tussen 'gevaarlijk' en 'ongevaarlijk', maar als niveau's waarvan het overschrijden aandacht en maatregelen vereist [GR97].

3. MOBIELE TELEFONIE

Telecommunicatie in de vorm van mobiele telefonie is een sterk opkomende technologie die gebruik maakt van een klein deel van het radiofrequente gebied van het elektromagnetisch spectrum om het contact tussen basisstation en telefoon te onderhouden: het gebied van 30 tot 1800 MHz [GM98]. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de technologie achter mobiele telefonie voor zover die van belang is voor eventuele gezondheidseffecten.

3.1 Mobiele telefoons

Het is belangrijk onderscheid te maken tussen de verschillende systemen van mobiele telefonie. De verschillende telefoonsystemen maken gebruik van verschillende frequenties en het zendvermogen van de toestellen verschilt sterk. De volgende vormen kunnen we onderscheiden:

1. draadloze telefoons (niet-cellulair)

Draadloze telefoons maken gebruik van een basisstation in huis dat direct verbonden is met het telefoonnet. Het bereik van deze telefoons is circa 150 meter en hun uitgangsvermogen beperkt zich tot 10 mW [GR97]. Daarnaast zijn er de zogenaamde 'Greenhoppers' (voorheen Kermits), die gebruik maken van een dichtbijzijnd (binnen 150 m) openbaar basisstation ('Greenpoint') op het zogeheten CT.2-net (Cordless Telephone, digitaal, 1800 MHz). Ook van deze telefoons is het vermogen 10 mW. Met deze telefoons kunnen de gebruikers zelf geen berichten ontvangen. Het gebruik ervan neemt sterk af door de opkomst van zaktelefoons voor landelijk gebruik. PTT Telecom is met deze dienst gestopt per 1 januari 1999. Deze draadloze telefoons vallen vanwege hun lage vermogens buiten de beschouwing van dit rapport.

2. zaktelefoons (cellulair)

De zaktelefoons maken gebruik van een netwerk (NMT, GSM, DCS-1800) van zendmasten (basisstations) dat verbonden is met het telefoonnet. Het is dus mogelijk overal in Nederland te telefoneren, mits de afstand tot een zendmast niet te groot is. Het piekvermogen van toestellen die gebruik maken van de digitale GSM-technologie is 2 W (effectief vermogen 0,25 W), analoge toestellen zenden uit met een continu vermogen van 1 W. De gebruikte frequentie hangt af van het soort systeem, zie hiervoor Tabel 5. De gebruiker bevindt zich in alle gevallen in het nabije veld van de antenne van de telefoon, en in het verre veld van de antenne van het basisstation.

3. autotelefoons/portable sets (cellulair)

Autotelefoons en portable sets maken gebruik van een netwerk met dezelfde technologie als die van zaktelefoons. Echter, bij deze toepassing is de antenne

niet op de telefoon geplaatst, maar op een aparte zender en ontvanger, die door middel van een snoer met de telefoon verbonden is. De gebruiker bevindt zich bij gebruik doorgaans in het verre veld van de antenne. Dit is een essentieel verschil ten opzichte van de zaktelefoons. Ook is het vermogen dat deze antennes uitzenden hoger dan dat van zaktelefoons: 6 W bij gebruik van het NMT-netwerk (ATF3) en 8 W bij gebruik van het GSM-netwerk [GR97]. Deze netwerken worden in de volgende paragraaf besproken.

3.2 Cellulaire technologie

Bij cellulaire technologie wordt een geografisch gebied opgedeeld in een aantal zones of cellen, waarbij elke cel is uitgerust met een basisstation (BS): een RF-ontvanger en -zender. Dit wordt ook wel het mobiele netwerk genoemd. De dichtheid van het netwerk is afhankelijk van het vermogen van de zenders (zowel telefoon als basisstation). Meer cellen en/of minder zendvermogen betekent kleinere cellen. De basisstations zijn allen verbonden met een centraal station (*MSC = mobile switching centre*), dat verbinding heeft met het 'normale' telefoonnet.

Wanneer een telefoongesprek plaatsvindt met een mobiele telefoon, wordt vanuit de antenne van de telefoon een signaal met een bepaalde frequentie verzonden naar het basisstation. Dit signaal wordt opgevangen door het basisstation dat op dat moment een RF-kanaal beschikbaar stelt. Het telefoongesprek vindt dan plaats door het gelijktijdig zenden en ontvangen van signalen, die de gespreksinformatie bevatten. Wanneer geen gesprek plaatsvindt, onderhoudt de telefoon contact met het basisstation in de dichtstbijzijnde cel voor afstemmingsdoeleinden ('stand by'-stand).

Een toename van het aantal cellen in het netwerk maakt het mogelijk het vermogen per zendmast te beperken, waardoor het aantal gebruikers (van dezelfde frequentie) kan toenemen. Het bereik van de zendmasten ligt voor GSM in de orde van enkele tientallen kilometers. Met name in dichtbevolkte gebieden is het gebied dat de basisstations bestrijken vaak kleiner of het aantal zenders per station groter dan één (maximaal vier), om voldoende gesprekken te kunnen ondersteunen. Het maximum aantal gesprekken dat in één cel gelijktijdig kan worden verwerkt bedraagt (bij 4 zenders) is gelijk aan 30 (= (aantal zenders x 8)-2 (= aantal tijdsloten benodigd voor afstemmingsdoeleinden)). Dit vereist optimalisatie van de positionering en het vermogen van dergelijke zendmasten, zodanig dat geen verstoring van het signaal plaatsvindt door andere gebruikers die dezelfde frequentie gebruiken via een ander basisstation. De gebruikte technologie maakt het mogelijk het toestel met een zo laag mogelijk vermogen te laten functioneren om interferentie te voorkomen. Hoe verder de telefoon van een basisstation verwijderd is, des te groter is het zendvermogen om het contact met het basisstation te onderhouden. De vermogensreductie is dus een functie van de afstand tot het basisstation.

Binnen Nederland kan gebruik worden gemaakt van zowel digitale als analoge netwerken (Tabel 5). Het analoge netwerk wordt echter steeds minder gebruikt.

Het meest gebruikte netwerk is het digitale GSM-netwerk. Momenteel is men bezig met de uitbreiding van een nieuw netwerk: het DCS-1800 netwerk. Sinds 2 november 1998 is het mogelijk telefoongesprekken via dit netwerk te voeren [Te98]. Het DCS-1800 netwerk heeft een grotere dichtheid dan het GSM-netwerk en kan per zender ook meer gesprekken onderhouden.

Tabel 5: Belangrijkste mobiele netwerken in Nederland [GR97, AM98].

netwerk		frequentie	digitaal/analoog	gebruik
ATF2	Autotelefoon	450 MHz	analoog	autotelefoon
NMT (ATF3)	Nordic Mobile Telephone	900 MHz	analoog	autotelefoon, zaktelefoon
GSM	Global System for Mobile Communications	900 MHz	digitaal	zaktelefoon, autotelefoon
DCS-1800	Digital Communications System	1800 MHz	digitaal	zaktelefoon

3.3 Communicatie tussen mobiele telefoon en basisstation

Om in een cel meerdere gebruikers tegelijkertijd te kunnen laten telefoneren, moeten de individuele gesprekssignalen onderscheidbaar zijn. Er zijn twee manieren om dit mogelijk te maken:

1. frequentie-multiplexing (FDMA = Frequency Division Multiple Access)

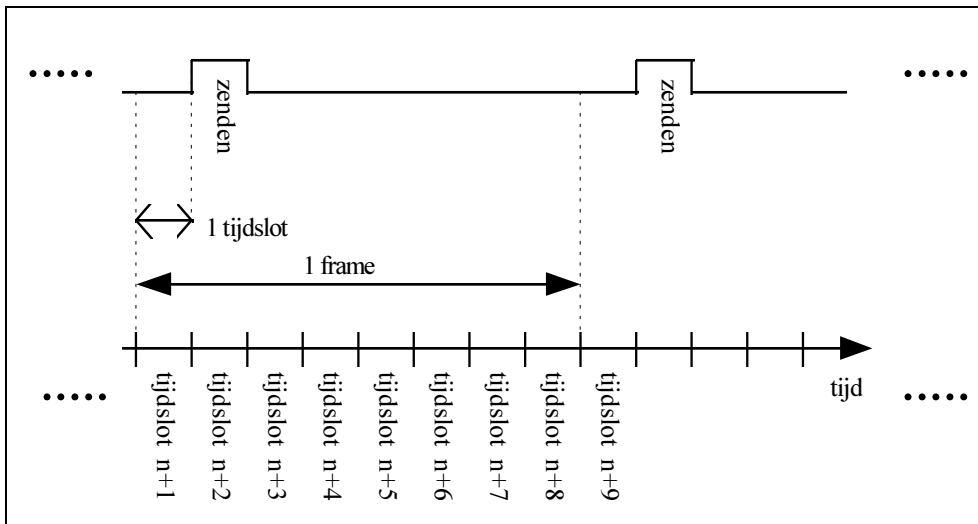
Frequentie-multiplexing wordt voornamelijk gebruikt door analoge systemen (NMT). Het basisprincipe is dat verschillende gebruikers een eigen unieke draaggolfrequentie krijgen toegewezen voor de duur van het gesprek. Deze draaggolf bevat de gespreksinformatie (zowel AM als FM) en is verschillend voor iedere gebruiker binnen een cel. Het vermogen dat wordt uitgezonden is continu [An97].

2. tijd-multiplexing (TDMA = Time Division Multiple Access)

Tijd-multiplexing wordt voor digitale communicatie gebruikt (GSM, DCS-1800). Tijd-multiplexing kenmerkt zich door het gedurende een deel van een periode zenden van een signaal (een puls), maar is wezenlijk verschillend van pulsbreedtemodulatie of pulshoogtemodulatie. Het principe is dat meerdere gebruikers dezelfde draaggolfrequentie delen, maar op verschillende tijdstippen door middel van compressie van gespreksinformatie. Hierdoor neemt de capaciteit van het netwerk toe.

Elke gebruiker krijgt een bepaald tijdslot toegewezen dat onderdeel is van een zogenaamd frame (zie figuur 3). Een frame bevat 8 tijdsloten, waarbij de duur van een frame gelijk is aan 4,615 ms en elk tijdslot een lengte heeft van $4,615/8 = 15/26 = 0,5769$ ms (duty cycle = 1/8). De frequentie van het frame (aantal keer

dat het frame in 1 seconde voorkomt) is dus $1/4,615 \text{ ms} = 217 \text{ Hz}$. De gebruiker krijgt de frequentie voor zichzelf voor de duur van het aangewezen tijdslot, waarna de overige 7 tijdsloten door anderen gebruikt kunnen worden. Vervolgens kan met het juiste vermogen weer een signaal gezonden worden in het tijdslot van een volgend frame. De tussenliggende tijd wordt nog wel gebruikt voor ontvangst, maar er zijn dan geen sterke velden rond de antenne. Het vermogen heeft dus een periodiciteit van 217 Hz met een piekwaarde van 2 W, wat gemiddeld neerkomt op 0,25 W.



Figuur 3: Transmissie als functie van de tijd voor een GSM en een DCS-1800 toestel. In dit voorbeeld gebruikt de telefoon tijdslot 2 in elk frame om te zenden [An97].

Wanneer het vermogensspectrum wordt opgenomen, zijn veelvoudigen van frequenties waarneembaar, namelijk de harmonische van 217 Hz, van 8 Hz en van 2 Hz [An97].

De periodiciteit van 8 Hz is als volgt te verklaren: het frame dat opgebouwd is uit 8 tijdsloten is op zichzelf tevens onderdeel van een zogenaamd multiframe. Het multiframe bestaat uit 26 frames dat in totaal dus een lengte heeft van $26 \times 4,615 \text{ ms} = 120 \text{ ms}$. In 1 seconde komen dus ongeveer 8 multiframe voor. Een eigenschap van het netwerk is dat in elk multiframe 1 frame ontbreekt, hetgeen resulteert in een periodiciteit van 8 Hz en een reductie van het effectieve vermogen met een factor $25/26$. Het effectieve vermogen komt dan uit op 0,24 W.

Wanneer de DTX-mode (GSM power saving mode) is ingeschakeld, is de 2 Hz periodiciteit terug te vinden in het vermogensspectrum. Elk vierde multiframe (dus ongeveer 2 maal in 1 seconde) onderhoudt de DTX-mode contact met het basisstation voor afstemmingsdoeleinden door het achtereenvolgens zenden van 8 signalen. Hierdoor ‘weet’ het systeem altijd waar een toestel zich bevindt. De DTX-mode zorgt er dan voor dat het toestel op een zo laag mogelijk vermogen functioneert [An97].

3.4 Blootstelling van algemene bevolking

Met de toename van het aantal mobiele telefoons is ook het aantal zendmasten of antennes toegenomen. Dit houdt in dat de blootstelling van de algemene bevolking aan deze vorm van straling gegroeid is. De soort blootstelling is anders dan bij gebruikers van zaktelefoons: de blootstelling is continu voor het gehele lichaam en voor niet-gebruikers van de telefoons onvrijwillig.

Twee soorten antennes worden onderscheiden:

- monopoolantennes:

Deze worden gebruikt voor de communicatie met de mobiele telefoon en het vermogen wordt in alle richtingen uitgezonden. De transmissie van een antenne is zoals hierboven genoemd afhankelijk van het aantal gebruikers en het aantal telefoongesprekken in een cel en is dus niet constant.

- schotelantennes (straalzenders) of sectorantennes:

Vaak worden deze gebruikt om contact te onderhouden met andere basisstations. Deze antennes zijn gericht: het vermogen wordt in een licht gekanteld horizontaal vlak uitgezonden, maar niet in alle richtingen. In de praktijk beslaan de sectorantennes voor GSM vaak eenderde van een cirkel en bevat een zendmast dus drie sectorantennes, die tezamen een volledige cirkel bestrijken.

De GSM-zendmasten zijn op een hoogte van ongeveer 40 meter geplaatst op daken van gebouwen of in ieder geval goed afgeschermd, zodanig dat niet bevoegd personeel geen toegang heeft tot de directe omgeving van de antenne. Op grondniveau zijn de vermogensdichtheden zeer laag (minder dan $0,003 \text{ W/m}^2$, [PW97]) en worden de advieswaarden (Tabel 1) niet overschreden [GM98].

De beleving van de blootstelling aan radiofrequente straling van mobiele telefoons en de basisstations kan verschillen van die aan radiofrequente straling in het algemeen. Een aantal factoren speelt in deze beleving een rol (zie hiervoor ook paragraaf 3.6). De mate van vrijwilligheid bij de blootstelling aan de straling van het basisstation, de mate van rechtvaardiging van de blootstelling (een groot aantal mensen, zowel niet-gebruikers als gebruikers, blootgesteld aan straling van het basisstation ten behoeve van gebruikers alleen), het gebrek aan controle over de situatie en onbekendheid met het soort straling zijn factoren die invloed hebben op de perceptie van het risico.

3.5 Blootstelling van gebruikers van zaktelefoons

De bron van onrust rond het gebruik van de zaktelefoon zelf is het feit dat de antenne zich bij gebruik dichtbij ($\pm 2 \text{ cm}$) het hoofd bevindt. De blootstelling aan radiofrequente straling is dus sterk anders van karakter: bij andere toepassingen

van radiofrequente straling wordt het gehele lichaam homogeen blootgesteld op grotere afstand van bronnen, in het geval van een mobiele telefoon is de blootstelling lokaal en vaak hoger. Bovendien is de blootstelling over het algemeen eenzijdig: de telefoon wordt doorgaans aan één kant van het hoofd gebruikt [Fu96].

Voor *gebruikers* van mobiele telefoons gelden de basisbeperkingen voor blootstelling van delen van het lichaam. Omdat het hoofd zich in het nabije veld (golflengte gebruikte straling ± 33 cm bij 900 MHz, ± 17 cm bij 1800 MHz) van de antenne bevindt, moet direct aan de SAT-waarden worden gerefereerd. De afgeleide gezondheidkundige advieswaarden voor het elektrische en magnetische veld die hiervan afgeleid zijn, gelden onder verrewedomstandigheden en zijn daarom niet toepasbaar.

Verschillende factoren beïnvloeden de uiteindelijke energie-opname in het hoofd [Ro96]: de frequentie en de intensiteit (vermogensdichtheid) van de elektromagnetische straling die wordt gebruikt voor de communicatie, de elektromagnetische eigenschappen van het weefsel (hoofdzakelijk bepaald door de hoeveelheid water in het weefsel), de geometrie en de afmetingen van het weefsel dat wordt blootgesteld, de oriëntatie in de ruimte in relatie tot de polarisatie van het elektromagnetische veld, het type antenne en de positie ten opzichte van het hoofd, de omgeving van de blootstelling en het signaalkarakter (amplitude-, frequentie- of gepulste modulatie).

In de praktijk heeft de positie en houding van de telefoon en de antenne ten opzichte van het hoofd een belangrijke invloed op de energie-opname in het hoofd. Ook speelt de aanwezigheid van de hand en het dragen van een (metalen) bril een rol in de uiteindelijke SAT-verdeling [Ku97b]. De indringdiepte van de straling in het lichaam bij de frequenties voor mobiele telefonie ligt tussen 1 en 10 cm [BS94].

Metingen in fantomen geven SAT-waarden van maximaal 0,83 W/kg in de hersenen en 0,21 W/kg in het oog [An95]. Andere metingen voor zes verschillende GSM-toestellen in fantomen komen bij standaardblootstelling niet boven de basisbeperkingen uit, terwijl dit wel gebeurt voor een enkel DCS-1800 toestel in de worst-case situatie² met uitgetrokken antenne [Ku97a]. Een vergelijkend onderzoek voor 16 verschillende toestellen, alle functionerend op een effectief vermogen van 0,25 W, toonde variaties van 0,28 W/kg tot 1,33 W/kg gemiddeld over 10 gram weefsel. SAT-waarden gemiddeld over 1 gram weefsel varieerden van 0,42 W/kg tot 2,0 W/kg [MN97].

Berekeningen voor systemen in de Verenigde Staten komen uit op piekwaarden voor de SAT van 0,09 tot 1,9 W/kg voor de hand, 0,16 tot 0,41 W/kg voor het hoofd en 0,06 tot 0,41 W/kg voor de hersenen, alle waarden gemiddeld over 1 gram weefsel (zie Tabel 6) [Ro96]. Een andere publicatie vermeldt berekende maximum waarden voor de SAT van 2,1 W/kg bij 900 MHz (GSM) en 3,0 W/kg

² Positie waarbij de telefoon wordt gedraaid totdat de antenne het fantoom raakt.

bij 1800 MHz (DCS-1800) gemiddeld over 10 gram weefsel bij een continu uitgangsvermogen van 1 W [Di94]. Het maximale vermogen van GSM-telefoons is echter 2 W met, zoals in paragraaf 3.3 beschreven, gedurende 1/8 van de tijd. De waarden voor de SAT moeten dus gecorrigeerd worden met een factor $2 * 1/8 = 0,25$, waardoor de waarde voor de SAT voor de GSM- en DCS-1800-technologie volgens Dimbylow *et al.* uitkomt op 0,53 W/kg respectievelijk 0,75 W/kg.

Tabel 6: Berekende SAT-piekwaarden voor analoge en digitale systemen.

	SAT gem. over 1 g weefsel (W/kg)	SAT gem. over 10 g weefsel (W/kg)	Referentie
hand	0,09 - 1,9 (VS)		[Ro96]
hersenen	0,06 - 0,41 (VS)		[Ro96]
hoofd	0,16 - 0,41 (VS)		[Ro96]
hoofd		0,53 (GSM)	[Di94]
		0,75 (DCS-1800)	
hoofd		0,28 - 1,33 (GSM)	[Ku97a]

De blootstelling van gebruikers aan straling van zaktelefoons zal in de loop der jaren onderhevig zijn aan een aantal ontwikkelingen die de netto individuele stralingsbelasting zullen beïnvloeden. Ten eerste streven de fabrikanten er de laatste jaren naar de toestellen steeds kleiner en lichter te maken. Dit heeft tot gevolg dat het vermogen van de toestellen afneemt. Voor het DCS-1800 netwerk geldt dat de vermogens van toestellen lager zijn omdat het netwerk een grotere dichtheid heeft. Anderzijds heeft het inkorten van de antenne tot gevolg dat een hoger vermogen nodig is om het toestel te laten functioneren. Wat de blootstellingsduur betreft is het te verwachten dat de duur van de gesprekken mogelijk zal toenemen door dalende gesprekskosten. Zeker is dat het aantal gebruikers in de toekomst sterk zal toenemen [TG98].

3.6 Beleving van blootstelling aan RF-straling

De perceptie van een risico door de mens is persoonlijk en heeft soms lichamelijke klachten tot gevolg. Bepaalde klachten kunnen gerekend worden tot specifieke klachten, ook wel ‘moeilijk medisch objectieveerbare klachten’ genoemd. Hieronder vallen psychosomatische klachten, dit wil zeggen lichamelijke klachten waarvan de diepere oorzaak van psychische aard is, en lichamelijke klachten die tot de psychosomatische klachten worden gerekend, maar feitelijk geen psychische oorzaak hebben. In het vervolg van dit rapport zal de term ‘specifieke klachten’ worden gehandhaafd. De volgende aspecten hebben invloed op de risicoperceptie [WH97b]:

1. Mate van vrijwilligheid. Mensen die dicht bij een basisstation wonen ervaren de blootstelling aan straling van deze antennes als een hoog risico omdat ze er

onvrijwillig aan blootgesteld worden. Gebruikers van mobiele telefoons echter zien vrijwel geen gevaar, terwijl de blootstelling aan RF-straling van de telefoon hoger kan zijn dan van het basisstation.

2. Mate van controle over een bepaalde situatie. De uitbreiding van netwerken voor telecommunicatie heeft men vaak niet in de hand en zaait op deze manier onrust. Daarbij kan ook het ontbreken van inspraak over de locatie van de masten van invloed zijn. Velen zullen de masten als 'horizonvervuiling' betitelen.

3. Mate van bekendheid. Men is relatief onbekend met de technologie en de straling gebruikt voor mobiele telecommunicatie. Goede voorlichting kan deze onrust wegnemen.

4. Mate van onzekerheid over effecten. Wanneer naar voren komt dat het niet uitgesloten is dat de straling kanker kan veroorzaken, of dat het in ieder geval niet bewezen is dat de gebruikte straling geen kanker veroorzaakt, blijft het beangstigend aan deze vorm van straling blootgesteld te worden.

5. Mate van rechtvaardiging. Plaatsing van basisstations voor gebruikers van mobiele telefoons zonder daar zelf als niet-gebruiker (in grote aantallen) voordeel van te hebben verhoogt het ervaren risico.

4. GEZONDHEIDSEFFECTEN

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden mogelijke thermische, a-thermische en indirecte effecten en het optreden van specifieke klachten bij het gebruik van zaktelefoons besproken.

4.2 Thermische effecten

Thermische effecten zijn effecten waarbij de temperatuur lokaal sterk kan oplopen, ondanks thermoregulatie-mechanismen zoals toename van de bloedcirculatie. Afhankelijk van de frequentie van de straling kan de opwarming diep in het weefsel optreden, maar ook oppervlakkig (zie paragraaf 2.1). Experimenteel onderzoek heeft aangetoond dat blootstelling van het gehele lichaam aan een SAT van 4 W/kg gedurende meer dan 20 minuten resulteert in de verhoging van de lichaamstemperatuur van ongeveer 1°C. Bij de mens kan weefselschade optreden wanneer de temperatuur hoger wordt dan 41 °C. Echter, de SATs waaraan de gebruiker van een mobiele telefoon is blootgesteld, zijn lager dan de basisbeperkingen voor blootstellingen van delen van het lichaam (2 W/kg voor het hoofd, gebaseerd op het voorkomen van een lokale temperatuur van meer dan 38 °C). Een excessieve temperatuursverhoging is dan ook niet te verwachten.

Er is weinig onderzoek gedaan naar de temperatuurstijging bij gebruikers van mobiele telefoons. In een recente Noors-Zweedse studie is het optreden van thermische effecten en specifieke klachten bij gebruikers van GSM-toestellen vergeleken met de effecten bij NMT-gebruikers. Hierbij is in een enquête gevraagd naar het optreden van een verwarmde huid ('burning skin') en is het voelen van warmte op en/of achter het oor bestudeerd in relatie tot de beltijd per dag. Ook zijn klachten als hoofdpijn en vermoeidheid geregistreerd, die in paragraaf 4.5.2 en 4.5.3 aan de orde komen [Mi98]. Voor alle klachten werden relatieve risico's ('odds ratios') berekend, waarbij de referentiegroep bestond uit gebruikers van het desbetreffende systeem (GSM of NMT) die korter dan 2 minuten per dag gebruik maakten van het toestel. De relatieve risico's zijn gecorrigeerd voor factoren die een rol kunnen spelen bij het voorkomen van de klachten, zoals geslacht, leeftijd, mate van beeldschermwerken en psychosociale factoren. Een resultaat waarvan de kans op het vinden van hetzelfde resultaat groter dan 95% was, werd als significant beschouwd.

Naarmate men meer en langer belde, nam de kans op het voelen van een verwarmde huid en het voelen van warmte op of achter het oor toe. In beide landen was de kans op het voelen van warmte op of achter het oor voor GSM-gebruikers lager dan voor NMT-gebruikers. Er werd helaas geen vergelijking gemaakt met het optreden van dergelijke klachten bij gebruikers van 'gewone'

telefoons, omdat dit voor het verwerpen dan wel bevestigen van de hypothese niet noodzakelijk was. Hierdoor kunnen geen definitieve conclusies worden getrokken omtrent de mogelijke relatie tussen de blootstelling aan straling van zaktelefoons en het optreden van dergelijke klachten.

De SAT kan overigens sterk variëren afhankelijk van de afstand tot het basisstation en de houding van de telefoon, waardoor de blootstellingsniveaus en -patronen moeilijk vast te stellen zijn [Ku97b]. Bij langdurig gebruik van de telefoon kan, zeker bij oudere modellen, het toestel wel warmer worden door weerstandsverhitting in de versterker in het toestel zelf. Törnevik *et al.* hebben de maximale toename van de temperatuur van het oor gemeten en vonden waarden tussen 37 °C en 41 °C voor analoge telefoons en tussen 36 °C en 39 °C voor digitale telefoons, allen functionerend met maximaal vermogen. De telefoon had hierbij een begintemperatuur van 15 °C tot 19 °C [Tö98]. Indien dit werkelijk een rol zou spelen bij het voelen van warmte op of achter het oor, verwachten Mild *et al.* dat dit vaker voorgekomen zou zijn bij langere beltijden dan is gevonden in het onderzoek [Mi98].

4.3 A-thermische effecten

Men spreekt van a-thermische effecten wanneer de temperatuur van het organisme constant blijft door thermoregulatie, maar waarbij desondanks andere effecten worden geconstateerd als gevolg van absorptie van energie. In deze paragraaf worden de meest recente studies naar a-thermische effecten kort toegelicht.

Carcinogenese

De vele onzekerheden en diverse tekortkomingen in onderzoeken naar het ontstaan van kanker door blootstelling aan EM-velden maken het (nog) niet mogelijk definitieve conclusies te trekken, aldus een advies van de Gezondheidsraad [GR97].

Na het verschijnen van dit advies werd een toename van het aantal geregistreerde hersentumoren in Australië sinds 1982 in eerste instantie geweten aan de toename van het gebruik van mobiele telefoons [Da98]. Nadere analyse door medici en epidemiologen leidde tot de conclusie dat deze vaststelling prematuur is en zonder verder onderzoek geen bron van ongerustheid mag vormen [Ho98a, MW98, Ar98, Bo98, Ru98, Sm98]. In de Verenigde Staten bleek het mortaliteitstempo (mogelijk als gevolg van hersentumoren) onder gebruikers van zaktelefoons (antenne dicht bij het hoofd) en portables (antenne niet op de telefoon zelf geplaatst, zie ook paragraaf 3.1) niet van elkaar te verschillen en voor beide groepen zelfs lager te zijn dan onder de algemene bevolking. Mogelijk werd het lagere mortaliteitstempo onder gebruikers van zaktelefoons mede bepaald door hun hogere socio-economische status [RL96].

Een dierexperimentele studie waarbij transgene muizen, die een genetische

aanleg hadden voor de ontwikkeling van lymfomen, blootgesteld werden aan straling volgens de GSM-technologie leverde een significant groter aantal lymfomen in de blootgestelde groep op [Re97]. De blootstellingsniveaus en -condities weken echter af van die bij het gebruik van mobiele telefoons [MN97]. De muizen bevonden zich tijdens de blootstelling in het verre veld, hetgeen niet het geval is bij het gebruik van de mobiele telefoon [Fi97]. Tevens is de absorptie van de RF-straling afhankelijk van de geometrie en de afmetingen van het blootgestelde object. Extrapolatie van de resultaten naar de mens is om deze reden en vanwege het ontbreken van een mechanisme niet zonder meer mogelijk. De Wereldgezondheidsorganisatie stelde dat de latentietijd voor de blootgestelde groep verkort zou kunnen zijn, waardoor er in beide groepen wel hetzelfde effect zou zijn opgetreden als de dieren lang genoeg (langer dan 18 maanden) geleefd zouden hebben [MN97].

Desondanks wijzen deze uitkomsten wel in de richting van een causale relatie tussen radiofrequente straling en carcinogenese, en bestaat er een sterke behoefte aan replicatieonderzoek. Vooralsnog kan nog geen enkele conclusie over risico's voor de mens worden getrokken [MN97].

Een Japanse studie naar kankerpromotie waarbij gebruik gemaakt werd van ratten met een door een chemische stof (diethylnitrosamine) geïnitieerd levercarcinoom toonde geen significante verschillen aan tussen de groep die blootgesteld werd aan straling volgens de Japanse PDC-standaard voor zaktelefoons (929.2 MHz, 50 pulsen/s, duty cycle 1/3) en de groep die niet was blootgesteld [Im98].

Aangeboren gedragsstoornissen

Teratogene effecten komen alleen voor na blootstelling aan EM-velden met vermogensdichtheden die hoog genoeg zijn om een aanzienlijke verhoging van de lichaamstemperatuur van de moeder te veroorzaken [GR97].

In een latere studie bij ratten naar mogelijke aangeboren gedragsstoornissen na prenatale blootstelling aan continue microgolfstraling (21 dagen, 6 uur per dag, 915, 2450 en 6000 MHz met vermogensdichtheden van respectievelijk 100, 200 en 350 W/m²) vertoonden de dieren bij 915 MHz geen significante afwijkingen voor de onderzochte parameters vergeleken met de controlegroep [Je97]. Bij de frequenties 2450 MHz en 6000 MHz traden kleine maar significante afwijkingen op in enkele van de onderzochte parameters bij de nakomelingen. Echter, blootstelling aan deze frequenties leidde in afwezigheid van hyperthermische omstandigheden niet tot een verhoogd reproductief risico op basis van klassieke morfologische en postnatale psychofysiologische parameters.

4.4 Indirecte effecten

Onder bepaalde omstandigheden kan blootstelling aan RF-straling (900 MHz, 1800 MHz) leiden tot interferentie met elektronische apparatuur. Hieronder valt onder meer elektromedische apparatuur zoals pacemakers en intensive care-apparatuur. Daarom is het gebruik van mobiele telefoons in de meeste

ziekenhuizen en in de buurt van navigatie-apparatuur (zoals bijvoorbeeld in vliegtuigen) verboden.

Verschillende onderzoeken zijn verricht naar de interferentie met pacemakers [A197, Ch96, Wi96]. In alle onderzoeken wordt bij relatief kleine afstand van de telefoon tot de pacemaker interferentie waargenomen, afhankelijk van het type pacemaker en de ingestelde gevoeligheid van de pacemaker. Ze bleken daarbij gevoelig voor elektrische velden die een lagere sterkte hebben dan de basisbeperkingen (Tabel 1). Aanpassing van de gevoeligheid kan de interferentie voorkomen.

Overigens zijn pacemakers van ná 1996³ minder gevoelig voor RF-straling door de strengere eisen aan deze medische hulpmiddelen. In geval van interferentie zijn deze pacemakers direct te corrigeren door de telefoon verder van de pacemakerpocket op te bergen [VW97].

In de 'stand by'-stand onderhoudt de telefoon contact met het basisstation door een meldsignaal af te geven dat kan interfereren met de pacemaker. De Gezondheidsraad beveelt in haar advies daarom aan om altijd een afstand van tenminste 15 centimeter tussen pacemaker en een in werking zijnde mobiele telefoon te houden en volgt hierbij het advies van Wireless Technology Research [WT96]. Daarnaast zouden fabrikanten van pacemakers gestimuleerd moeten worden modellen te ontwerpen die afdoende tegen elektromagnetische interferentie door draadloze telecommunicatie-apparatuur zijn beschermd.

Het mogelijk optreden van interferentie kan leiden tot ongerustheid bij pacemakerdragers en in sommige gevallen tot het optreden van specifieke klachten.

4.5 Aspecifieke klachten

Het toenemend gebruik van mobiele telefonie in de afgelopen jaren heeft aanleiding gegeven tot de melding van en onderzoek naar de invloed ervan op een groot aantal specifieke gezondheidsklachten. In verband met blootstelling aan RF-straling worden de volgende verschijnselen vaak genoemd: slaapstoornissen, hoofdpijn, concentratiestoornissen, duizeligheid etc. Een verklaring van dergelijke klachten wordt onder andere gezocht in een veranderd EEG, veranderingen in de permeabiliteit van de bloed-hersenbarrière of invloed op de melatonineproductie⁴. Omdat de oorzaak van de klacht vaak moeilijk objectief is vast te stellen worden deze klachten in dit verband samengebracht onder de noemer moeilijk medisch objectiveerbaar. Naar het optreden van de meeste van deze effecten is de afgelopen jaren één of meerdere malen onderzoek gedaan.

³ Fout in [GR97], hier gecorrigeerd in overleg met Dr E. van Rongen van de Gezondheidsraad.

⁴ Melatonine heeft invloed op het dag-nacht ritme bij de mens.

4.5.1 Slaapstoornissen

De REM-slaap (*Rapid Eye Movements*) is belangrijk in de informatie-verwerking gedurende de slaap. Met informatieverwerking wordt hier bedoeld het vastleggen en verwerken van nieuwe ervaringen opgedaan tijdens het waken. Veranderingen in de REM-slaap kunnen leiden tot verstoring van geheugenfuncties en leerprocessen. Bovendien zijn slaapstoornissen nauw gerelateerd aan psychiatrische aandoeningen [Wa98].

Vooralsnog is bij blootstelling aan elektromagnetische velden volgens de GSM-technologie geen korte termijn-effect gevonden in het electro-encephalogram (EEG) bij proefpersonen die wakker waren [Rö97a]. Blootstelling aan deze velden met een (zelfde) vermogensdichtheid van $0,5 \text{ W/m}^2$ lijkt echter te leiden tot een verkorting van de tijd tot inslapen (latentietijd) en een verkorting van de duur en het percentage REM-slaap [Ma96]. Bovendien ontstonden kwalitatieve veranderingen in het EEG gedurende de REM-slaap [Ma96]. Een vermogensdichtheid van $0,5 \text{ W/m}^2$ komt overeen met een elektrische veldsterkte van $13,7 \text{ V/m}$, onder de gezondheidskundige advieswaarde van 49 V/m bij 900 MHz . Blootstelling aan velden met een frequentie van 900 MHz (GSM) en een vermogensdichtheid van $0,2 \text{ W/m}^2$ (overeenkomend met een elektrische veldsterkte van $8,7 \text{ V/m}$) bleek geen invloed te hebben op de tijd tot inslapen, de duur en de latentietijd van de REM-slaap [Wa98].

De resultaten uit de voorgaande studie ([Ma96]) konden door Wagner *et al.* niet worden gerepliceerd. Als reden hiervoor wordt aangegeven dat er verschillen in de fysische kwalificaties van de elektromagnetische velden waren: in de eerste studie werd een lineair gepolariseerd veld toegepast, in de tweede studie een circulair gepolariseerd veld, hetgeen invloed heeft op de hoeveelheid geabsorbeerde energie. Ten tweede was de vermogensdichtheid in de eerste studie hoger ($0,5$ vs. $0,2 \text{ W/m}^2$) en zou de inhomogeniteit van het lineair gepolariseerde veld en het ontstaan van oncontroleerbare externe reflecties een oorzaak geweest kunnen zijn van een verhoogde lokale vermogensdichtheid van het elektromagnetische veld. De exacte dosimetrie van de eerste studie was niet beschikbaar en Wagner *et al.* speculeren over het feit dat het elektromagnetische veld in de eerste studie sterker geweest zou zijn en daardoor duidelijke resultaten gaf. Overigens kunnen de bevindingen niet zonder meer gegeneraliseerd worden voor de GSM-technologie omdat het gebruikte type antenne verschillend was van de antenne van een zaktelefoon.

Tevens werden voor de blootgestelde en de niet-blootgestelde proefpersonen de nachtelijke hormoonspiegels bepaald [Rö97b]. Het ging hierbij om de concentraties cortisol, groeihormoon, luteïniserend hormoon (LH) en melatonine⁵. Groeihormoon en LH worden in een deel van de hypofyse (hypofysevoorkwab) geproduceerd, die bij gebruik van de zaktelefoon blootgesteld wordt aan RF-straling. Cortisol en melatonine worden geproduceerd door de bijnierschors respectievelijk de epifyse. De aanmaak van deze hormonen

⁵ Cortisol is een stresshormoon dat van invloed is op de koolhydraatstofwisseling, groeihormoon heeft invloed op de stofwisseling en de groei en LH is één van de geslachtshormonen.

wordt gereguleerd door hypofysehormonen. In deze studie werden geen significante afwijkingen gevonden tussen de nachten waarin de proefpersonen waren blootgesteld en de overige nachten. Ook een andere studie naar hormoonspiegels die door de voorkwab van de hypofyse worden afgescheiden, kon geen effecten aantonen [Se98]. Er zijn dan ook geen aanwijzingen dat blootstelling aan RF-straling volgens de GSM-standaard de nachtelijke hormoonspiegels beïnvloedt.

4.5.2 Hoofdpijn

In een review van Frey wordt gesproken over het ontstaan van hoofdpijn bij het gebruik van een mobiele telefoon [Fr98]. Reeds in de jaren zestig werd hoofdpijn gerapporteerd bij mensen die blootgesteld waren aan microgolven met een lage intensiteit. Twee mogelijke oorzaken van het optreden van hoofdpijn worden genoemd [Fr98]:

1. De bloed-hersenbarrière speelt een rol bij hoofdpijn. De bloed-hersenbarrière zou worden beïnvloed door blootstelling aan microgolven met een lage intensiteit. Een studie naar de permeabiliteit van de bloed-hersenbarrière van ratten bij blootstelling aan straling bij 900 MHz bleek echter geen pathologisch significante veranderingen te veroorzaken [Fr97a]. Ook konden geen blijvende adaptieve veranderingen of reacties van de hersenen worden waargenomen [Fr97b].

2. Blootstelling aan elektromagnetische straling met lage intensiteit blijkt de dopamine-opiaat-systemen⁶ in de hersenen, belangrijk voor hoofdpijn, te beïnvloeden.

Verschillende onderzoeken, zowel in vitro als in vivo, hebben de interacties van elektromagnetische straling met de hersenen bestudeerd. Replica's van deze studies leverden in sommige gevallen tegenstrijdige resultaten op of gaven aanleiding tot discussie. De studies konden niet aantonen dat gepulste of continue blootstelling aan microgolven in het a-thermale bereik leiden tot een risico voor de gezondheid van de hersenen [He97].

In 1996 werden door gebruikers van zaktelefoons in de Verenigde Staten, Australië, Zweden en Groot-Brittannië hoofdpijnklasten gemeld [MN96]. In die tijd liep reeds de Noors-Zweedse studie naar hoofdpijn bij gebruikers van analoge en digitale toestellen [Mi98]. Uit dit enquête-onderzoek bleek dat het aantal hoofdpijnklasten in Noorwegen bij gebruik van beide systemen toenam bij een beltijd langer dan 15 minuten per dag. Het relatieve risico bij een beltijd groter dan twee minuten per dag was niet significant verschillend van één. In Zweden was het verband statistisch significant bij een beltijd groter dan 2 minuten per dag. Daarnaast waren het voelen van warmte en het voorkomen van hoofdpijn aan elkaar gecorreleerd.

⁶ Dopamine is een weefselhormoon dat als neurotransmitter in het centrale zenuwstelsel werkzaam is.

Naast de genoemde mogelijke oorzaken wordt als mogelijke indirecte oorzaak van hoofdpijn (en vermoeidheid, zie hiervoor paragraaf 4.5.3) de geluidskwaliteit van de toestellen gezien. Het gesprekssignaal van de analoge NMT-toestellen kan ruis bevatten en dit neemt bij toenemende afstand tot het basisstation toe. De kwaliteit van het signaal bij GSM-toestellen wordt verminderd door het optreden van stille intervallen. Deze storingen kunnen leiden tot stress en daardoor indirect gerelateerd zijn aan hoofdpijn [IC98, Mi98].

4.5.3 Vermoeidheid

In de eerder genoemde Noors-Zweedse studie werd vermoeidheid als op zichzelf staande klacht in de analyse meegenomen [Mi98]. In Noorwegen was het verband voor het GSM- en NMT-systeem significant voor een beltijd van meer dan 60 minuten per dag. In Zweden was dit het geval bij een beltijd van meer dan 15 minuten per dag. Een mogelijke verklaring hiervoor wordt niet gegeven.

De kans op vermoeidheid en hoofdpijn was bij gebruikers die het voelen van warmte rapporteerden twee tot vier keer zo hoog als bij gebruikers die geen warmte voelden. Gebruikers die warmte op dan wel achter het oor voelden, hadden een tien tot twintig maal grotere kans op het andere gevoel van warmte (respectievelijk achter óf op het oor) en het gevoel van een branderige huid in het gezicht ('burning skin').

4.5.4 Concentratiestoornissen, geheugenverlies en duizeligheid

Gedurende de laatste jaren benaderden vele gebruikers van mobiele telefoons de fabrikanten, netwerkexploitanten en onderzoekers met klachten over concentratiestoornissen, geheugenverlies en het zich 'niet goed voelen' [Mi98, MN96].

Personen met een goede gehoorfunctie blijken gepulst gemoduleerde RF-signalen tussen 200 MHz en 6,5 GHz te kunnen waarnemen als zoemen, klikken en ploppen [ICN96]. Voortdurende of herhaalde blootstelling kan stressverhogend werken.

Op Internet zijn verschillende discussies (op niet-wetenschappelijke basis) ontstaan rond dit soort klachten [EM98]. In de eerder genoemde Noors-Zweedse studie zijn deze klachten ook meegenomen; er werd echter geen overtuigend verband aangetoond tussen het aantal gesprekken per dag of de beltijd per dag en het optreden van deze klachten. Op dit moment zijn geen studies bekend die het vóórkomen van deze klachten nader bestuderen. In Europees verband (zie paragraaf 4.6) wordt wel aandacht besteed aan de achterliggende mechanismen op neurofysiologisch niveau [MK97, EW98].

4.6 Lopende studies: het EMF-project

In 1996 is in Europees verband het internationale EMF-project (ElectroMagnetic Fields) ‘Health and environmental effects of exposure to static and time varying electric and magnetic fields’ vanuit de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) gestart [MK97, EM96, WH97a]. Dit internationale project loopt tot het jaar 2005 en stelt zich ten doel in samenwerkingsverband onderzoek te verrichten naar mogelijke negatieve gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan elektromagnetische velden van mobiele telecommunicatie. Het onderzoek dient zichzelf te lenen om gerepliceerd te worden ten aanzien van het gebruikte biologische model, het onderzochte biologische eindpunt en de gebruikte blootstellings- en dosimetrisechnieken. Binnen het project zijn door de zogenaamde ‘Expert Group’, aangesteld door de Europese Commissie, o.a. aanbevelingen opgesteld ten aanzien van het programma van het te verrichten wetenschappelijk onderzoek en de managementstructuur ervan. Binnen dit project is Nederland ook vertegenwoordigd.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Discussie en conclusies

Met het toenemende gebruik van de mobiele telefonie is ook de zorg over de mogelijke effecten van RF-straling op de gezondheid toegenomen. Parallel wordt ook in toenemende mate onderzoek uitgevoerd naar thermische, a-thermische en indirecte effecten en specifieke klachten.

Thermische effecten zijn niet te verwachten aangezien de gemeten waarden voor het specifiek absorptietempo in het hoofd, gemiddeld over 10 gram weefsel, lager zijn dan de basisbeperkingen zoals vastgesteld voor het hoofd. In de basisbeperkingen is bovendien een veiligheidsfactor verwerkt, zodat de maximaal toelaatbare temperatuursverhoging zeker niet behaald zal worden bij langdurige blootstelling.

In een Noors-Zweedse studie naar de relatie tussen het gebruik van mobiele telefoons en het optreden van thermische en a-thermische effecten is gebleken dat het voelen van warmte op of achter het oor en een branderige huid in het gezicht afhankelijk is van de beltijd per dag. Gebruikers met deze symptomen hebben daarnaast een grotere kans op het optreden van één van de klachten hoofdpijn en vermoeidheid [Mi98]. In dit onderzoek wordt overigens geen vergelijking gemaakt met het optreden van dergelijke klachten bij het gebruik van de 'gewone' telefoon zonder elektromagnetische zend- en ontvangst-inrichting.

A-thermische effecten zoals kanker en kankerpromotie zijn vooral met behulp van nog niet gerepliceerde dierexperimentele studies onderzocht. De studies vertonen bovendien vele tekortkomingen. Daarom kunnen er nog geen conclusies worden getrokken. De verdubbeling van het aantal lymfomen bij aan 900 MHz-straling blootgestelde muizen in de studie van Repacholi *et al.* wijst wel in de richting van een mogelijk causaal verband tussen blootstelling aan RF-straling en carcinogenese [Re97]. Echter, voordat definitieve conclusies kunnen worden getrokken, is replicatie en verbetering van dit onderzoek van belang.

Het nadeel van dierexperimentele studies naar invloeden van RF-straling in het algemeen is dat de geometrie en de afmetingen van de dieren een belangrijke rol spelen in de absorptie van deze straling. Om deze reden en vanwege het ontbreken van een mechanisme zijn de bevindingen niet zonder meer extrapolbaar naar de mens.

De epidemiologische studies naar a-thermische effecten vertonen vaak een gebrek aan informatie over het blootstellingspatroon. Ook zijn de resultaten beïnvloed door factoren die het onderzochte eindpunt in de hand werken of juist onderdrukken. Een toename van het aantal hersentumoren in Australië wees om deze redenen niet expliciet in de richting van de toename van het gebruik van GSM-telefoons als oorzaak en mag zonder verder accuraat onderzoek geen bron

van ongerustheid vormen. Het verschil in mortaliteitstempo tussen gebruikers van zaktelefoons en portables en de algemene bevolking in de Verenigde Staten kon niet eenduidig worden toegeschreven aan het gebruik van deze telefoons. Tot dusver is niet aangetoond dat radiofrequente straling negatieve a-thermische gezondheidseffecten kan veroorzaken .

Indirecte effecten kunnen ontstaan door interferentie met elektronische apparatuur. Het gebruik van mobiele telefoons in ziekenhuizen wordt hierom verboden. Pacemakerdragers wordt aanbevolen de telefoon minimaal 15 cm van de pacemaker te dragen.

Er is relatief weinig onderzoek verricht naar het optreden van specifieke klachten bij gebruikers van mobiele telefoons. Onderzoek naar specifieke klachten richt zich vooral op het optreden van slaapstoornissen die zich manifesteren in het electro-encefalogram (EEG) en het optreden van vermoeidheid en hoofdpijn.

Slaapstoornissen kunnen optreden onder bepaalde blootstellingscondities, alhoewel de gevonden resultaten (nog) niet onder dezelfde condities gerepliceerd zijn en afkomstig zijn van een klein aantal proefpersonen. De slaapstoornissen manifesteerden zich in een verkorting van de tijd tot inslapen en een (relatieve) verkorting van de REM-slaap met significante kwalitatieve veranderingen in het EEG. Tijdens het waken zijn geen effecten gevonden op het EEG [Rö97a].

Het optreden van hoofdpijn en vermoeidheid blijkt gerelateerd te zijn aan de beltijd per dag. Gebruikers die warmte voelden op of achter het oor hadden daarnaast een grotere kans op het optreden van vermoeidheid of hoofdpijn [Mi98]. Over mogelijke causale verbanden wordt wel gespeculeerd, er is echter nog niets aangetoond [Fr98, He97, Fr97a, Fr97b].

Ook worden klachten als concentratiestoornissen, duizeligheid en geheugenverlies gemeld. In de genoemde Noors-Zweedse studie kon geen verband gevonden worden tussen de beltijd of het aantal gesprekken per dag en het relatieve risico op dit soort klachten.

Er is een aantal kanttekeningen bij het Noors-Zweedse onderzoek te plaatsen dat op zichzelf goed is uitgevoerd. De originele hypothese in de Noors-Zweedse studie, dat GSM-gebruikers een verhoogde kans op bepaalde klachten hadden in vergelijking met NMT-gebruikers, werd echter gefalsificeerd doordat juist NMT-gebruikers meer klachten vertoonden dan GSM-gebruikers. Inherent aan deze hypothese is gekozen voor een referentiegroep die het mogelijk maakt het aantal klachten bij GSM- en NMT-gebruikers met elkaar te vergelijken. Voor het doel van dit rapport zou naast deze twee groepen gebruikers een groep gebruikers van gewone niet-mobiele telefoons gezet moeten worden om relatieve risico's voor deze drie groepen met elkaar te kunnen vergelijken [Ho98b]. Om deze reden kan dan ook vooralsnog geen definitieve conclusie getrokken worden met betrekking tot in de studie genoemde klachten. Bovendien is niet duidelijk waarom de resultaten uit Noorwegen en Zweden niet bij elkaar zijn gevoegd [Ho98b]. Er

lijkt immers op het eerste gezicht geen reden te veronderstellen dat er verschil tussen klachten in beide landen bestaat. Daarnaast voorziet de studie niet in een verklaring voor de symptomen [NR98].

Het is en blijft moeilijk zo niet onmogelijk om te bewijzen dat er geen gezondheidseffecten zijn. Onderzoek dat een effect aantoonst roept op tot replicatie ervan door anderen, om de waarde ervan juist te kunnen inschatten en geen onnodige onrust te veroorzaken onder het publiek. Vooralsnog worden wel statistisch significante verbanden aangetoond, maar ontbreken juist de mechanismen. Ook wanneer een statistisch significant verband is gevonden, ontbreken vaak exacte (objectieve) gegevens over het blootstellingspatroon en de blootstellingsniveaus, of spelen andere factoren een rol waardoor de resultaten minder betrouwbaar worden.

Het aantal gebruikers van mobiele telefoons zal sterk toenemen. De introductie van het nieuwe DCS-1800 netwerk zal tevens een toename van het aantal basisstations inhouden. De basisstations van het DCS-1800 netwerk zenden een lager vermogen uit omdat de cellen kleiner zijn. Het is moeilijk te zeggen wat dit precies voor de blootstelling van de algemene bevolking betekent. Een sterke (relatieve) toename is niet te verwachten.

Door de lagere gesprekskosten van dit nieuwe netwerk zal juist de duur van de gesprekken toenemen. Daarnaast dringt de gebruikte straling van DCS-1800 minder goed door dan bij de straling voor GSM. Thermische effecten zullen dus meer aan de oppervlakte te verwachten zijn. Er is daarnaast veel minder ruis te horen, hetgeen van een positieve invloed kan hebben op het optreden van vermoeidheid en hoofdpijn.

Een epidemiologisch onderzoek (in de vorm van een panelstudie) onder gebruikers van mobiele telefoons naar specifieke klachten aan de hand van accounts van gebruikers met gegevens over het gebruik is volgens Amerikaans onderzoek goed mogelijk, mits de gebruiker toestemming geeft voor het opvragen van de gegevens [Fu96, Ho98b]. Bij epidemiologisch onderzoek naar specifieke effecten (kanker, kankerpromotie) is het tevens belangrijk rekening te houden met de eventuele latentietijd tot het optreden van deze effecten.

Over het geheel genomen kan geconcludeerd worden dat uit onderzoek naar het optreden van thermische, a-thermische en indirecte effecten en specifieke klachten niet is gebleken dat er een gevaar voor de gezondheid is bij het gebruik van zaktelefoons, mits de aanbevelingen voor blootstelling aan radiofrequente straling van de Gezondheidsraad niet worden overschreden. De studies vertonen nog tekortkomingen op allerlei gebieden en replicatie ervan moet uitwijzen of de effecten reproduceerbaar zijn.

5.2 Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen in dit rapport worden de volgende aanbevelingen

gedaan:

- Het actief signaleren van relevante wetenschappelijke ontwikkelingen op het gebied van gezondheidseffecten van mobiele telefonie aan bevoegde overheden.

- Aangezien de onrust onder de bevolking over de blootstelling aan radiofrequente straling afkomstig van zendmasten groeiende is, lijkt het wenselijk een goede voorlichtingsbrochure op te stellen en hieraan ruime bekendheid te geven.

- Het is moeilijk aan te geven waar eventueel vervolgonderzoek naar gezondheidseffecten, indien gewenst, zich op zal moeten richten omdat er geen aanwijzing is voor het optreden van een bepaald type effect. Echter, de ongerustheid onder de bevolking kan aanleiding zijn om een inventarisatie van bepaalde klachten te maken. In verschillende landen worden op dit ogenblik dergelijke onderzoeken voorbereid en uitgevoerd. Vaak vindt onderlinge afstemming plaats, bijvoorbeeld via de WHO. Het is aan te bevelen de ontwikkelingen hierin intensief op te volgen of eventueel actief hierin te participeren.

- Om inzicht te krijgen in de blootstelling van de bevolking aan radiofrequente straling voor mobiele telefonie lijkt een broninventarisatie wenselijk. Mogelijk kan met deze informatie tevens een betere beschrijving worden gegeven van de blootstellingskarakteristiek.

REFERENTIES

- AI97 Altamura, G., Toscano, Gentilucci, G., Ammirati, F., Castro, A., Pandozi, C., Santini, M. Influence of digital and analogue cellular telephones on implanted pacemakers. *Europ. Heart J.* 18: 1632-1641; 1997.
- AM98 Communicatie. Een verklaring van veelgebruikte termen. <http://www.automotive.micpoint.nl>. Micpoint Automotive Services en Automatisering.
- An95 Anderson, J., Joyner, K.H. Specific absorption rate levels measured in a phantom head exposed to radiofrequency transmissions from analog hand-held mobile phones. *Bioelectromagnetics* 16: 60-69; 1995.
- An97 Andersen, J.B., Pedersen. The technology of mobile telephone systems relevant for risk assessment. *Rad. Prot. Dosim.* 72(3-4): 249-257; 1997.
- Ar98 Armstrong, B.K., Jong, K.E. Letter to the editor. *Med. J. Australia* 169: 308-308; 1998.
- Bo98 Borghesi, J.L. Letter to the editor. *Med. J. Australia* 168: 308-308; 1998.
- BS94 Radio- und Mikrowellen. Strahlenthemen. Bundesamt für Strahlenschutz. November 1994.
- Ch96 Chen, W.-H., Lau, C.-P., Leung, S.-K., Sai-Wah Ho, D., Siu-Fong Lee, I. Interference of cellular phones with implanted permanent pacemakers. *Clin. Cardiol.* 19: 881-886; 1996.
- Da98 Davidson, J.A. Brain tumours and mobile phones? *Medical Journal of Australia* 168: 48-48; 1998.
- Di94 Dimbylow, P.J., Mann, S.M. SAR Calculation in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz. *Phys. Med. Biol.* 39: 1537-1553; 1994.
- Du90 Duffin, W.J. Electricity and magnetism. Fourth edition, 1990. McGraw-Hill Book Company.
- EC98 Voorstel voor een aanbeveling van de raad betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden 0 Hz-300 GHz. Commissie van de Europese Gemeenschappen.
- EM96 The international EMF-project. Health and environmental effects of exposure to static and time varying electric and magnetic fields. WHO 1996.
- EM98 EMF-Link. Information Ventures Web Page <http://infoventures.com./forms/webfind.html> (1998).

- EW98 Mobile phones: new health risk fears. *Electronics World* 104(1745): 364-364; 1998.
- Fi97 Fist, S. Cell phones/cancer connection. *The Australian Newspaper*, Tues 29 April 1997.
- Fr97a Fritze, K., Sommer, C., Schmitz, B., Mies, G., Hossmann, K.A., Kiessling, M., Wiessner, C. Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. *Acta Neuropathol.* 94(5): 465-470; 1997.
- Fr97b Fritze, K., Wiessner, C., Kuster, N., Sommer, C., Gass, P., Hermann, D.M., Kiessling, M., Hossmann, K.A. Effect of global system for mobile communication microwave exposure on the genomic response of the rat brain. *Neuroscience* 81(3): 627-639; 1997.
- Fr98 Frey, A.H. Headaches from cellular telephones: are they real and what are the implications? *Environm. Health Persp.* 106(3):101-103; 1998.
- Fu96 Funch, D.P., Rothman, K.J., Loughlin, J.E., Dreyer, N.A. Utility of telephone company records for epidemiologic studies of cellular telephones. *Epidemiology* 7(3): 299-302; 1996.
- GR97 Gezondheidsraad Commissie Radiofrequente straling. Radio-frequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 Ghz). Rapport 1997/01; 1997.
- GM98 Gezondheidsaspecten van het gebruik van mobiele telefoons. Ministeries van SZW, VROM, V&W en VWS. 1998.
- He97 Hermann, D.M., Hossmann, K.A. Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication. *J. Neurol. Sci.* 152(1): 1-14; 1997.
- Ho98a Hocking, B. [Comment] *Med. J. Australia* 168: 48-48; 5 January 1998.
- Ho98b Houthuijs, D.J.M., Dusseldorp, A. Centrum voor Chronische ziekten en Milieu-epidemiologie. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Persoonlijke communicatie, december 1998.
- IC96 Non-ionizing radiation. Proceedings of the Third International Non-Ionizing Radiation Workshop. Baden, Austria, 1996. Editor: R. Matthes, Scientific Secretary, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 1996.
- ICN96 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters. *Health Phys.* 70(4): 587-593; 1996.
- IC98 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 74(4): 494-522; 1998.

- Im98 Imaida, K., Taki, M., Yamaguchi, T., Ito, T., Watanabe, S., Wake, K., Aimoto, A., Kamimura, Y., Ito, N., Shirai, T. Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2 MHz) on rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. *Carcinogenesis* 19(2): 311-314; 1998.
- Je97 Jensh, R.P. Behavioral teratologic studies using microwave radiation: is there an increased risk from exposure to cellular phones and microwave ovens? *Reproductive Toxicol.* 11(4): 601-611; 1997.
- Ku97a Mobile communications safety. Editors: Kuster, N., Balzano, Q., Lin, J.C. Chapman and Hall, London; 1997.
- Ku97b Kuster, N., Kastle, R., Schmid, T. Dosimetric evaluation of handheld mobile communications equipment with known precision. *IEICE Trans. Commun.* Vol. E80-B(5): 645-651; 1997.
- Ma96 Mann, K., Röschke, J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiol.* 33: 41-47; 1996.
- Mi98 Mild, K.H., Oftedal, G., Sandström, M., Wilén, J., Tynes, T., Haugsdal, B., Hauger, E. Comparison of analogue and digital mobile phone users and symptoms: A Swedish-Norwegian epidemiological study. *National Institute for Working Life. Arbetslivsrapport* 1998:23; 1998.
- MK97 McKinlay, A. Radiotelephones and human health: a European research initiative. *Radiat. Prot. Dosim.* 72(3-4): 313-320; 1997.
- MN96 Reports of headaches emerge among cell phone users in U.S. *Microwave News* XVI(6): 10; 1996.
- MN97 *Microwave News*. Vol. XVII No.6, November/December 1997.
- MW98 McWhirter, W.R., Dobson, C., Letter to the editor. *Med. J. Australia* 168: 308-308; 16 March 1998.
- NR93 National Radiological Protection Board (NRPB). Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation. Chilton: National Radiological Protection Board, 1993. (Documenten NRPB, Vol. 4, Nr. 5).
- NR98 NRPB response to Comparison of analogue and digital mobile phone users and symptoms: a Swedish-Norwegian epidemiological study. National Radiological Protection Board. <http://www.nrpb.org.uk/Nir-is7.htm>. 1998.
- Oe98 Oei Hway-Liem. Telefoneren in de auto en verkeersveiligheid. Rapportno. R-98-41. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid. 1998.
- PW97 Microwaves, mobile phones and your health. <http://www.powerwatch.uk>

- RC97 Repacholi, M.H., Cardis, E. Criteria for EMF health risk assessment. *Radiat. Prot. Dosim.* 72(3-4): 305-312; 1997.
- Re90 Regtien, P.P.L. *Instrumentele elektronica*. Eerste druk 1987, 1990. Delftse Uitgevers Maatschappij bv. Delft.
- Re97 Repacholi, M.H., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, D., Harris, A.W. Lymphomas in Em-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat. Res.* 147: 631-640; 1997.
- RL96 Rothman, K.J., Loughlin, J.E., Funch, D.P., Dreyer, N.A. Overall mortality of cellular phone customers. *Epidemiology* Vol. 7(3): 303-305; 1996.
- Ro96 Rothman, K.J., Chou, C.-K., Morgan, R., Balzano, Q., Guy, A.W., Funch, D.P., Preston-Martin, S., Mandel, J., Steffens, R., Carlo, G. Assessment of cellular telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research. *Epidemiology* 7(3): 291-298; 1998.
- Rö97a Röschke, J., Mann, K. No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18: 172-176; 1997.
- Rö97b Röschke, J., Hiemke, C., Mann, K., Wagner, P. Effects of digital mobile radio telephone on nocturnal hormones and human EEG. Third International Conference on Pineal Gland and Cancer, Blaubeuren, Germany, October 2-5, 1997. *Cancer Biotherapy & Radiopharmaceuticals*, 12(6): 429; 1997.
- Ru98 Russell, P. Letter to the editor. *Med. J. Australia* 168: 309-309; 16 March 1998.
- Se98 De Seze, R., Fabbro-Peray, P., Miro, L. GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antepituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics* 19(5): 271-278; 1998.
- Sm98 Smaules, D., Wise, K. Letter to the editor. *Med. J. Australia* 168: 309-309; 16 March 1998.
- Te98 Eerste basisstation krijgt honderden 'broertjes'. 6 juli 1998. http://www.telfort.nl/corporate/fr_algemeen.html.
- TG98 "Verbod op bellen in auto". *Telegraaf* 10 september 1998.
- Tö98 Törnevik, C., Santomaa, V., Balzano, Q. Evaluation of temperature increase at ear of cell phone users. Abstract for the Bioelectromagnetic Society Annual Meeting 1998.
- VW97 Zaktelefoons niet slecht voor de gezondheid. Persbericht Ministerie van VWS. 12 juni 1997, nummer 50.

- Wa98 Wagner, P., Röschke, J., Mann, K., Hiller, W., Frank, C. Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 19: 199-202; 1998.
- WH97a World Health Organization, Electromagnetic fields and public health. The international EMF-project. Factsheet No. 181. World Health Organization Press Office. October 1997.
- WH97b World Health Organization, Public perception of EMF risks. Electromagnetic fields and public health. Factsheet No. 184. World Health Organization Press Office. October 1997.
- Wi96 Wilke, A., Grimm, W., Funck, R., Maisch, B. Influence of D-net (European GSM-standard) cellular phones on pacemaker function in 50 patients with permanent pacemakers. *Pace* 19: 1456-1458; 1996.
- WT96 Wireless Technology Research. Evaluation of interference between hand-held wireless phones and implanted cardiac pacemakers: recommendations for corrective intervention. 9 May 1996.

APPENDIX I: VERZENDLIJST

1	DG Volksgezondheid van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
2-20	Directie Gezondheidsbeleid van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
21	Dr. E. van Rongen, Gezondheidsraad
22	Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
23	Directie RIVM
24	Sectordirecteur sector IV
25	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
26-27	Auteurs
28	SBD/Voorlichting & Public Relations
29	Bureau Rapportenregistratie
30	Bibliotheek RIVM
31	Bibliotheek LSO
32-56	Bureau Rapportenbeheer
57-66	Reserve exemplaren LSO

APPENDIX II: BEREKENING VAN DE VERMOGENSDICHTHEID

De vector S heeft grootte en richting en wordt ook wel Poyntings Vector genoemd. De waarde voor de vermogensdichtheid kan ook berekend worden uit de wetenschap dat de golfimpedantie Z_0 in vacuüm in het verre veld gegeven wordt door:

$$Z_0 = \frac{E}{H} \approx 377\Omega \text{ in vacuüm}$$

Substitutie in vergelijking (3) de vermogensdichtheid levert dan op dat de vermogensdichtheid ook berekend kan worden wanneer de sterkte van het elektrisch of magnetisch veld bekend is:

$$S = E \times H = E^2 / Z_0 = E^2 / 377\Omega$$

Ofwel:

$$S = E \times H = H^2 \cdot Z_0 = H^2 \cdot 377\Omega$$

APPENDIX III: LIJST VAN AFKORTINGEN

AM	Amplitudemodulatie
ATF	Autotelefoon
BS	Basisstation
CT	Cordless Telephone
CW	Continuous wave
DCS-1800	Digital Communications System (zendt uit op 1800 MHz)
EEG	Electro-encephalogram
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequentiemodulatie
GSM	Global System for Mobile Communications
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
MSC	Mobile Switching Centre
NMT	Nordic Mobile Telephone
NRPB	National Radiological Protection Board
RF	Radiofrequent
SAR	Specific Absorption Ratio
SAT	Specifiek Absorptie Tempo
TDMA	Time Division Multiple Access
WHO	World Health Organization