

---

# Mobiele telefoons

---

Een gezondheidskundige analyse

---

Gezondheidsraad

Health Council of the Netherlands





Aan de Minister van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

---

Onderwerp : aanbieding advies Mobiele telefoons  
Uw kenmerk : DGM/SVS/99207094  
Ons kenmerk : -2625/EvR/RA/673-R  
Bijlagen : 1  
Datum : 28 januari 2002

Mijnheer de minister,

Op uw verzoek, vervat in brief nr DGM/SVS/99207094, bied ik u hierbij een advies aan over gezondheidseffecten van mobiele telefoniesystemen. Het is opgesteld door de Commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad en beoordeeld door de Beraadsgroep Stralingshygiëne. Overeenkomstig de ontvangen adviesaanvraag heb ik dit advies vandaag ook aangeboden aan de Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport en de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat. Tevens heb ik het toegezonden aan de Minister van Economische Zaken en de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.

Op 29 juni 2000 heeft de Raad het door de commissie Elektromagnetische velden opgestelde advies 'GSM-basisstations' uitgebracht, dat de gezondheidsaspecten rond de vast opgestelde componenten van mobiele telecommunicatienetwerken behandelt. Aanvullend hierop heeft de commissie het voorliggende advies samengesteld over de draagbare componenten: de mobiele telefoons.

Hoogachtend,

w.g.

prof. dr JA Knottnerus



---

# Mobiele telefoons

Een gezondheidskundige analyse

---

---

aan:

de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

de Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport

de Minister van Economische Zaken

de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat

de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid

---

Nr 2002/01, Den Haag, 28 januari 2002

---

---

De Gezondheidsraad, ingesteld in 1902, is een adviesorgaan met als taak de regering en het parlement "voor te lichten over de stand der wetenschap ten aanzien van vraagstukken op het gebied van de volksgezondheid" (art. 21 Gezondheidswet).

De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn & Sport, Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening & Milieubeheer, Sociale Zaken & Werkgelegenheid, en Landbouw, Natuurbeheer & Visserij. De Raad kan ook eigener beweging adviezen uitbrengen. Het gaat dan als regel om het signaleren van ontwikkelingen of trends die van belang kunnen zijn voor het overheidsbeleid.

De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden in bijna alle gevallen opgesteld door multidisciplinair samengestelde commissies van—op persoonlijke titel benoemde—Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.

---

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

Gezondheidsraad: Mobiele telefoons; een gezondheidkundige analyse. Den Haag: Gezondheidsraad, 2002; publicatie nr 2002/01.

---

auteursrecht voorbehouden

---

ISBN: 90-5549-412-7

---

---

# Inhoud

---

Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 9

- 
- 1 Inleiding 17
  - 1.1 Problemen 17
  - 1.2 Eerdere advisering 18
  - 1.3 Strekking van dit advies 19
  - 1.4 Criteria voor het vaststellen van effecten 19
  - 1.5 Opzet van het advies 20

- 
- 2 Blootstellingslimieten 23
  - 2.1 Basisbeperkingen 23
  - 2.2 Referentiewaarden 25
  - 2.3 Europese aanbevelingen 26
  - 2.4 Voorzorgsbeginsel 26

- 
- 3 Technische achtergrond 27
  - 3.1 Netwerk 27
  - 3.2 Mobiele telefoons 28
  - 3.3 Draadloze telefoons 34
  - 3.4 Bluetooth 35
-

3.5	TETRA	36
3.6	Vermindering blootstelling	36
<hr/>		
4	Temperatuurveranderingen	39
<hr/>		
5	Gezondheidsaspecten	43
5.1	Inleiding	43
5.2	Algemene gezondheidsproblemen en -klachten	44
5.3	Neurologische effecten	47
5.4	Kanker	53
5.5	Overige effecten	59
5.6	Verschil tussen volwassene en kind	63
5.7	Voorzorgsbeginsel	64
<hr/>		
6	Storing van medische apparatuur	65
6.1	Richtlijnen en normen	65
6.2	Storing ten gevolge van mobiele telefoons	66
6.3	Aanbevelingen	68
<hr/>		
7	Verkeersveiligheid	69
<hr/>		
8	Aanpak in andere landen	71
<hr/>		
	Literatuur	73
<hr/>		
	Bijlagen	83
A	De adviesaanvraag	85
B	De commissie	87
C	Termen en begrippen	89
D	SAR	97
E	Effecten van eenzijdige stimulatie van het evenwichtsorgaan	99

---

# Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

---

Mobiele telecommunicatie heeft zich de afgelopen jaren sterk ontwikkeld: meer dan de helft van de Nederlandse bevolking heeft tegenwoordig een mobiele telefoon. Die groei gaat echter ook gepaard met een toenemende bezorgdheid over eventuele gezondheidsschade door blootstelling aan de elektromagnetische velden die afkomstig zijn van antennes en mobiele telefoons. In dit advies geeft de commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad op basis van de wetenschappelijke literatuur een overzicht van verschillende aspecten die hierbij een rol kunnen spelen. De commissie concludeert dat er momenteel geen reden voor ongerustheid is. Omdat, echter, mobiele telefonie tot wijdverbreide blootstelling aan elektromagnetische velden leidt en er vooral over langetermijneffecten nog relatief weinig bekend is, geeft zij aan op welke gebieden nader onderzoek zou moeten worden gedaan en in het bijzonder welk onderzoek in Nederland kan worden uitgevoerd.

---

## Gezondheidseffecten

### Biologische versus gezondheidseffecten

Het is van belang om onderscheid te maken tussen biologische of fysiologische effecten en gezondheidseffecten. Wanneer in experimenteel onderzoek een effect van een elektromagnetisch veld op een geïsoleerd biologisch systeem is aangetoond, bijvoorbeeld een effect op gekweekte cellen, hoeft dit niet te betekenen dat

---

blootstelling aan zo'n veld dan ook zal leiden tot nadelige effecten voor de gezondheid van een organisme als geheel. Evenmin mogen effecten die met gevoelige meetmethoden zijn gevonden, zoals subtiele veranderingen in reactiesnelheid of in het natuurlijk patroon van hersengolven tijdens de slaap, zonder meer worden beschouwd als schadelijk voor de gezondheid. Het menselijk lichaam heeft immers een groot vermogen om allerlei invloeden adequaat te verwerken en, indien nodig, zich daartegen effectief te verweren (met behulp van het immuunsysteem), daarvoor te compenseren (homeostase) of zich aan te passen (adaptatie, vooral door het zenuwstelsel en het hormoonstelsel).

### Frequentiespectrum

Informatieoverdracht bij mobiele telecommunicatiesystemen vindt doorgaans plaats via complex samengestelde hoogfrequente elektromagnetische velden. De veronderstelling dat duidelijk te onderscheiden en wellicht biologisch effectieve laagfrequente componenten in het elektromagnetische signaal van een basisstation of een mobiele telefoon aanwezig zijn, is echter onjuist. Laagfrequente componenten kunnen zich bij blootstelling slechts manifesteren indien er zeer specifieke demodulatie van de draaggolf optreedt, zoals in een daartoe ontworpen ontvanger. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat biologische systemen beschikken over zo'n demodulatie-mechanisme.

### Temperatuurveranderingen

De uitkomsten van modelstudies naar temperatuurveranderingen in het hoofd geven de commissie geen aanleiding om de eerdere aanbevelingen voor blootstellingslimieten te herzien. Zij acht voor een betere onderbouwing van de normstelling meer inzicht in de dosimetrie van elektromagnetische velden echter wel noodzakelijk. Daartoe zijn aanvullende gegevens nodig over de relatie tussen temperatuur, opgenomen hoeveelheid energie, het type weefsel en het weefselvolume waarin deze variabelen worden bepaald.

De commissie beveelt aan om eerder in Nederland hiernaar uitgevoerd modelmatig onderzoek uit te breiden en om adequate metingen te verrichten van de temperatuur in en bij het hoofd bij gebruik van een mobiele telefoon.

## Aspecifieke klachten

Er zijn onder gebruikers van mobiele telefoons diverse onderzoeken gedaan naar het voorkomen van aspecifieke klachten, zoals hoofdpijn, duizeligheid en slapeloosheid. Dergelijke klachten zijn van zeer algemene aard en ze kunnen allerlei oorzaken hebben. De commissie vindt dat op basis van de thans beschikbare gegevens de van mobiele telefoons afkomstige elektromagnetische velden niet als oorzaak van die klachten kunnen worden aangemerkt. Wel is hier, ook al zou het maar om een kleine groep mensen gaan die dergelijke klachten vertonen, sprake van een relevante probleem voor de personen in kwestie. Daarom is onderzoek naar de oorzaak van de klachten belangrijk.

Het is in eerste instantie van belang om na te gaan of die aspecifieke klachten worden veroorzaakt door de elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons of door andere factoren. Daarbij zou ook de suggestie uit de literatuur onderzocht kunnen worden dat symptomen als duizeligheid, misselijkheid en hoofdpijn wellicht het gevolg zijn van eenzijdige beïnvloeding van het evenwichtsorgaan in het middenoor door absorptie van elektromagnetische velden van de telefoon.

De commissie beveelt aan om in Nederland te onderzoeken of aspecifieke klachten op kunnen treden bij blootstelling onder gecontroleerde omstandigheden, zowel bij mensen die klachten hebben gerapporteerd als bij klachtenvrije individuen.

## Cognitieve functies

In enkele onderzoeken zijn bij proefpersonen kleine veranderingen gevonden in bepaalde cognitieve functies, zoals geheugen en reactiesnelheid. Weliswaar lijkt dus onder bepaalde omstandigheden een invloed van elektromagnetische velden op de hersenactiviteit mogelijk, maar het betreft uiterst geringe, omkeerbare biologische effecten die de commissie niet beschouwt als schadelijk voor de gezondheid.

Experimenten met proefdieren geven geen eenduidig beeld van een mogelijk effect van blootstelling aan elektromagnetische velden bij relatief lage veldsterktes op het leergedrag. Deze experimenten zijn echter minder geschikt om een mogelijk effect van mobiel telefoneren op het leervermogen van de mens te onderzoeken. Onderzoek met vrijwilligers is van aanzienlijk groter belang.

De conclusie luidt dat de thans beschikbare wetenschappelijke gegevens er niet op duiden dat cognitieve vermogens, ook bij frequent gebruik van een mobiele telefoon, negatief beïnvloed worden.

De commissie beveelt aan om in Nederland onderzoek te doen naar de invloed van elektromagnetische velden op cognitieve functies. Dit dient met name te gebeuren onder mensen die klachten hebben die zij wijten aan deze velden.

### Hersenactiviteit

In enkele onderzoeken zijn effecten op de natuurlijke hersenactiviteit gevonden van blootstelling aan een GSM-sigitaal tijdens de slaap. Volgens de commissie zijn de gegevens hierover echter niet duidelijk. Een relatie met toenemende veldsterkte is niet gevonden. Opvallend is wel dat in een van de onderzoeken veranderingen in de hersenactiviteit tijdens de slaap waargenomen werden na een blootstelling die plaats vond voorafgaand aan het in slaap vallen.

De commissie meent dat er op grond van deze bevindingen geen aanleiding is te veronderstellen dat de effecten, voor zover reëel, tot gezondheidsproblemen leiden. Zij wijst er op dat vergelijkbare effecten op de hersenactiviteit ook gevonden zijn als gevolg van cafeïnegebruik en natuurlijke hormonale schommelingen.

De commissie concludeert uit de gegevens verkregen uit onderzoek naar effecten bij niet-slapende proefpersonen – overigens uitsluitend gezonde jonge vrijwilligers – dat het in beginsel mogelijk is dat het elektromagnetisch veld afkomstig van een mobiele telefoon invloed heeft op bepaalde hersenactiviteiten. Het gaat dan vooral om die delen van de hersenen die het dichtst bij de telefoon liggen en om uiterst geringe veranderingen die uitsluitend met gevoelige apparatuur te meten zijn. Er zijn geen aanwijzingen dat de gemeten veranderingen ook na beëindiging van de blootstelling voortduren. Zij hadden geen invloed op de uitvoering van opgedragen taken en evenmin op de gezondheidstoestand van de proefpersonen.

De commissie beveelt aan om te onderzoeken of mensen met bestaande slaap- of andere stoornissen gevoeliger zijn voor blootstelling aan elektromagnetische velden dan gezonde personen. Daarnaast acht zij het van belang om de fysiologische achtergrond van de effecten op de natuurlijke hersenactiviteit van blootstelling aan een GSM-sigitaal tijdens of direct voor de slaap nader te onderzoeken.

### Kanker

Er zijn enkele, soms grote, epidemiologische onderzoeken gedaan naar een mogelijk verband tussen het optreden van hersentumoren en het gebruik van een mobiele telefoon. In geen van deze onderzoeken is een dergelijk verband gevonden voor

---

hersentumoren in het algemeen. Wel is in enkele onderzoeken een zwakke associatie gevonden tussen het gebruik van een mobiele telefoon en het vóórkomen van bepaalde tumoren aan de kant van het hoofd waar de onderzochten aangaven gewoonlijk de mobiele telefoon te hebben gehouden. Die associatie is echter niet statistisch significant en alleen gevonden in onderzoeken die een aantal belangrijke methodologische gebreken vertoonden.

Deze epidemiologische bevindingen worden onderbouwd door gegevens uit proefdieronderzoeken. Slechts in één onderzoek is een effect gevonden, maar de opzet daarvan was zodanig, dat geen goede conclusies getrokken kunnen worden. Er vinden thans twee replicaties van dit onderzoek plaats. Het is echter de vraag of de in deze onderzoeken gebruikte muizenstam, die ten gevolge van een genetische mutatie een hoge spontane incidentie van tumoren vertoont, wel een goed model is voor de mens.

Een belangrijke vraag is of mobiele telefoons al lang genoeg gebruikt worden om enige invloed op de ontwikkeling van hersentumoren waar te kunnen nemen. Gebruik van mobiele telefoons door grote delen van de bevolking vindt pas sedert enkele jaren plaats. Weliswaar is in geen van de onderzoeken een verband gevonden tussen gebruiksduur en het optreden van kanker, maar in alle gevallen is het aantal personen in de categorie met het langste gebruik (vijf jaar of meer) relatief laag. Er is thans een groot internationaal onderzoek gaande onder auspiciën van het *International Agency for the Research on Cancer (IARC)*, waarin de mogelijke relatie tussen het gebruik van een (digitale) mobiele telefoon en het optreden van tumoren in het hoofd-halsgebied wordt onderzocht. De eerste resultaten van dat onderzoek worden niet voor 2003 verwacht.

De commissie beveelt aan ook in Nederland onderzoek te verrichten naar langetermijneffecten bij gebruikers van mobiele telefoons.

### Hart en bloedvaten

Er zijn geen aanwijzingen voor effecten van elektromagnetische velden van mobiele telefoons op het cardiovasculaire systeem. Blootstelling aan een mobiele-telefoonsignaal lijkt geen invloed te hebben op natuurlijke hartritmevariaties. Onderzoeksresultaten die duiden op een mogelijke invloed op de bloeddruk zijn onlangs teruggetrokken: zij bleken het gevolg te zijn van een directe invloed van het elektromagnetische veld op de meetapparatuur.

## Hormonen

Uit vrijwilligers- noch uit proefdieronderzoek blijkt een effect van GSM-velden op hormoonspiegels.

## Bloed-hersenbarrière

De resultaten van een aantal onderzoeken uit de jaren zeventig en tachtig lijken te wijzen op een effect van blootstelling aan elektromagnetische velden op de permeabiliteit van de bloed-hersenbarrière. Recenter onderzoek kan deze effecten echter niet reproduceren. De commissie vindt dat er geen wetenschappelijke grond is om aan te nemen dat dergelijke effecten bestaan.

## Immuunsysteem

Volgens de commissie zijn er geen overtuigende aanwijzingen voor een effect van blootstelling aan elektromagnetische velden op het immuunsysteem.

---

## Gebruik door kinderen

Het is, vanuit een ontwikkelingsbiologisch standpunt, niet waarschijnlijk dat zich na het tweede levensjaar nog belangrijke veranderingen voordoen in de gevoeligheid van de hersenen voor elektromagnetische velden. Daarom ziet de commissie geen reden om aan te bevelen het gebruik van mobiele telefoons door kinderen zoveel mogelijk te beperken.

---

## Vorzorgsbeginsel

De commissie vindt dat in de in dit advies behandelde wetenschappelijke gegevens over niet-thermische effecten geen aanleiding geven om met aanroeping van het voorzorgsbeginsel de huidige limieten voor blootstelling van lichaamsdelen te verlagen.

---

## Vermindering van blootstelling

Het gebruik van een *handsfree* set verlaagt de energie-opname in het hoofd in het algemeen aanzienlijk en kan in geen geval leiden tot een gelijke of hogere energie-opname als bij het gebruik van een mobiele telefoon zonder een *handsfree* set.

---

Het gebruik van hoesjes die de door een mobiele telefoon uitgezonden velden deels tegenhouden, leidt tot een verhoging van het vermogen waarmee de telefoon zendt (waarmee de afscherpende werking deels weer teniet wordt gedaan), en tot een vermindering van de kwaliteit van het mobiele netwerk.

De commissie concludeert dat het gebruik van dergelijke beschermende hoesjes niet zinvol is.

De commissie beschouwt het aanprijzen van voorwerpen die op een telefoon geplakt moeten worden met als doel de elektromagnetische velden te absorberen, als misleidend. Op fysische gronden is het onmogelijk dat dit absorptie-effect bestaat.

---

### **Storing van (medische) apparatuur**

De elektromagnetische velden van mobiele telefoons kunnen andere elektronische apparaten storen als die niet afdoende tegen dit effect zijn beveiligd. Om dit te voorkomen, moet apparatuur voldoen aan Europese zogenoemde EMC-normen. Die normen schrijven lagere veldsterkten voor dan de gezondheidskundige blootstellingslimieten. Daarom kan er in situaties waarin wordt voldaan aan deze blootstellingslimieten, toch storing optreden. Dit kan zich bijvoorbeeld voordoen wanneer de apparatuur zich in de directe nabijheid van een zendinstallatie of een ingeschakelde draagbare telefoon bevindt.

De commissie onderschrijft de aanbevelingen van de Vereniging Informatie- en Communicatie Technologie Nederland om het gebruik van GSM- en DECT-telefoons in de directe nabijheid van medische elektronische apparatuur te vermijden. Zij handhaaft haar in 1997 gegeven advies om een minimale afstand van 15 cm aan te houden tussen een ingeschakelde mobiele telefoon en een geïmplanteerde pacemaker.

Verschillen in voorschriften met betrekking tot het gebruik van mobiele telefoons binnen ziekenhuismuren voor personeel en publiek zijn onwenselijk. De regelingen moeten voor iedereen gelijk zijn en er moet een vorm van handhaving zijn.

De commissie beveelt aan dat de overheid er zorg voor draagt dat de storingsgevoeligheid van medische elektronische producten wordt verlaagd, zodat er bij normaal gebruik van mobiele telefoons geen storingsproblemen kunnen ontstaan. Ook doet de overheid er goed aan te bevorderen dat de Europese EMC-normen worden aangescherpt en dat het frequentiebereik dat zij bestrijken wordt uitgebreid tot minimaal 10 GHz.

---

## Verkeersveiligheid

De commissie vindt het besluit van de regering om alleen *handsfree* bellen door bestuurders van gemotoriseerde voertuigen toe te staan een stap in de goede richting. Zij beveelt aan dat besluit uit te breiden naar alle bestuurders.

Recent onderzoek wijst er echter op dat de verkeersveiligheid zowel bij niet-*handsfree* als bij *handsfree* bellen in het geding komt. Alhoewel er geen directe wetenschappelijke informatie over is, meent de commissie dat dit wellicht het gevolg zou kunnen zijn van het feit dat het voeren van een gesprek via de mobiele telefoon als veel dwingender wordt ervaren dan een gesprek met een passagier.

De commissie beveelt daarom aan dat de overheid door het geven van voorlichting bevordert dat vooral het voeren van langdurige gesprekken en gesprekken die veel aandacht vereisen, uitsluitend plaats vindt nadat het voertuig op een daartoe geëigende plaats tot stilstand is gebracht.

# Inleiding

---

Mobiele telecommunicatie heeft zich de afgelopen jaren stormachtig ontwikkeld en zich op grote schaal een plaats in de maatschappij verworven. Onder invloed van deze ontwikkelingen is de maatschappij ingrijpend aan het veranderen. Mensen kunnen, als zij daar behoefte aan hebben, altijd en overal bereikbaar zijn (uiteraard binnen de mogelijkheden die de telecommunicatienetwerken bieden). Binnenkort zal het, met de komst van technologieën waarmee snel grote hoeveelheden gegevens kunnen worden overgezonden, mogelijk zijn om niet alleen spraak en korte berichten, maar ook beeld en grotere gegevensbestanden eenvoudig uit te wisselen. Mobiele beeldtelefoon en mobiele toegang tot het Internet behoren dan tot de mogelijkheden.

---

## 1.1 Problemen

Ondanks de erkende voordelen die ze hebben, baren al deze technologische ontwikkelingen velen in de maatschappij toch ook zorgen. Met name wordt vaak de vraag gesteld of de toenemende blootstelling aan de elektromagnetische velden waarmee de draadloze gegevensoverdracht plaats vindt, tot gezondheidsproblemen kan leiden. Een argument dat geregeld in die discussie wordt aangedragen is dat het elektromagnetisch milieu waarin de mens zich bevindt snel verandert, dat het menselijk lichaam daar niet op is gebouwd en zich er niet snel genoeg aan kan aanpassen en dat dat negatieve consequenties voor het functioneren van het lichaam kan hebben. Het is

---

daarom zaak na te gaan of er wetenschappelijke aanwijzingen bestaan die deze veronderstelling bevestigen.

---

## 1.2 Eerdere advisering

De Gezondheidsraad houdt zich al geruime tijd bezig met het analyseren van en rapporteren over de wetenschappelijke ontwikkelingen op het gebied van effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op het menselijk lichaam. In 1997 heeft de Raad het advies *Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz)* uitgebracht (GR97). In dit advies zijn op grond van de toenmalige stand van wetenschap voorstellen gedaan voor blootstellingslimieten: waarden van het elektromagnetisch veld die niet overschreden zouden mogen worden om negatieve gevolgen voor gezondheid te voorkomen. Voor wat betreft het gebied van de lage frequenties is in maart 2000 in het advies *Elektromagnetische velden (0 Hz – 10 MHz)* een aanvulling en gedeeltelijke herziening van de in 1997 voorgestelde blootstellingslimieten gedaan (GR00a). Dit betrof echter niet de frequenties die in gebruik zijn voor mobiele telecommunicatie. In het in juni 2000 uitgebrachte advies *GSM-basisstations* zijn voor wat betreft de radiofrequenties de in 1997 voorgestelde limieten bevestigd (GR00b). Daarbij zijn echter een paar voorbehouden gemaakt. Ten eerste is de bevestiging alleen van toepassing op blootstelling van het gehele lichaam, omdat dat de situatie is die zich bij GSM-basisstations voordoet (met uitzondering van een zeer beperkte groep werknemers die in het kader van bijvoorbeeld onderhoud van de apparatuur zich relatief dicht bij de antennes moeten begeven, waarbij het lichaam ongelijkmatig wordt blootgesteld). Ten tweede is gesteld dat de blootstellingslimieten thans alleen gebaseerd kunnen worden op kortetermijneffecten en dat de gegevens over langetermijneffecten geen aanleiding geven om zelfs maar uit voorzorg de blootstellingslimieten te verlagen. Hierbij is aangetekend dat nooit uitgesloten kan worden dat er op een gegeven moment toch duidelijke aanwijzingen komen voor langetermijneffecten en dat daarom de wetenschappelijke ontwikkelingen op de voet gevolgd dienen te worden. De belangrijkste reden daarvoor is het grote aantal blootgestelde personen, waardoor, als er toch langetermijneffecten blijken te bestaan, deze vanwege dat volume een merkbare invloed kunnen hebben op de volksgezondheid. De Commissie Elektromagnetische velden (hierna te noemen: ‘de commissie’) is daarom voor langere tijd, vooralsnog voor de duur van vier jaar, ingesteld om die ontwikkelingen te blijven volgen en daarover geregeld te rapporteren. De samenstelling van de commissie is vermeld in bijlage B.

---

### 1.3 **Strekking van dit advies**

In een brief van september 1999 hebben de ministers van VROM en VWS, mede namens de staatssecretaris van V&W, aan de Gezondheidsraad gevraagd de stand van wetenschap zoals beschreven in het advies van 1997 te actualiseren (zie bijlage A). Daarbij is tevens verzocht om aan te geven wat de implicaties van de jongste wetenschappelijke ontwikkelingen zijn voor de ontwikkeling en toepassing in de maatschappij van mobiele telecommunicatie. In het advies *GSM-basisstations* heeft de commissie een eerste deel van de gevraagde actualisatie gegeven. Zoals hierboven vermeld, heeft dit alleen betrekking op blootstelling van het gehele lichaam. Bij de gebruiker van een mobiele telefoon is de blootstelling echter heel plaatselijk: als het toestel zonder *handsfree* set gebruikt wordt, worden alleen het hoofd en de hand blootgesteld. In het advies uit 1997 is, op grond van de toen beschikbare wetenschappelijke gegevens, de conclusie getrokken dat een dergelijke blootstelling naar alle waarschijnlijkheid geen gezondheidsproblemen zal veroorzaken. Er waren destijds echter maar weinig gegevens beschikbaar die direct op zo'n blootstellingssituatie betrekking hebben. De afgelopen jaren zijn vele onderzoeksinspanningen van start gegaan die wel direct het effect van elektromagnetische velden afkomstig van een mobiele telefoon op het hoofd betreffen. De thans beschikbare gegevens uit dat onderzoek vormen de basis voor het voorliggende advies. De commissie zal zich in dit advies overigens niet beperken tot de thans gangbare systemen voor mobiele telefonie, GSM-900 en DCS-1800, maar ook aandacht besteden aan toekomstige ontwikkelingen, zoals UMTS, en de voor gebruik binnenshuis bedoelde draagbare telefoonsystemen, zoals DECT.

---

### 1.4 **Criteria voor het vaststellen van effecten**

De commissie baseert haar conclusies ten aanzien van de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de gezondheid op een analyse van de wetenschappelijk literatuur. Zij acht het bestaan van een effect, of dat nu een biologisch effect is of een effect op de gezondheid, pas dan wetenschappelijk aangetoond, indien voldaan is aan de volgende objectieve eisen, die de criteria die door Hill zijn geformuleerd voor epidemiologisch onderzoek (Hil71) insluiten:

- het onderzoek is gepubliceerd in internationaal gerefereerde tijdschriften van algemeen in de wetenschappelijke wereld geaccepteerde adequate kwaliteit
- het onderzoek is van adequate kwaliteit volgens de in de wetenschappelijke wereld gangbare normen

- de resultaten van het onderzoek zijn reproduceerbaar gebleken (voor laboratoriumonderzoek) of consistent (voor epidemiologisch onderzoek) op grond van onderzoek als bedoeld onder (1) en (2) dat is uitgevoerd door andere, onafhankelijke onderzoekers
- het onderzoeksresultaat is onderbouwd met een kwantitatieve analyse, die leidt tot de conclusie dat er een statistisch significante relatie bestaat tussen blootstelling en effect; voor epidemiologisch onderzoek geldt daarbij dat een oorzakelijk verband aannemelijker wordt naarmate de associatie sterker is
- de sterkte van het effect is gerelateerd aan de sterkte van de prikkel, ofwel: er is een dosis-responsrelatie; dit behoeft niet altijd een zodanige relatie te zijn dat het effect toeneemt met sterkere prikkel, maar kan ook een resonantie-effect inhouden, dat wil zeggen dat bij een bepaalde stimulus er een maximaal effect is en bij een sterkere of minder sterke prikkel een minder of zelfs geen effect.

Indien aan een of meer van deze eisen niet is voldaan, concludeert de commissie dat niet is aangetoond dat de betreffende blootstellingsmodaliteit een biologisch of gezondheidseffect veroorzaakt. Voor de kracht van de bewijsvoering is het daarnaast van belang of er een voor experts acceptabele hypothese bestaat over de wijze waarop de stimulus het effect kan veroorzaken, dat wil zeggen, of er een mogelijk biologisch (of psychologisch) mechanisme is. De commissie stelt kennis over een mechanisme echter niet als een noodzakelijke voorwaarde voor het vaststellen van de aanwezigheid van een oorzakelijk verband. Bij zwakke associaties in epidemiologisch onderzoek is kennis over een mechanisme echter wel van belang.

De commissie baseert zich in dit advies op publicaties die verschenen zijn tot 1 december 2001.

---

## **1.5 Opzet van het advies**

In hoofdstuk 2 geeft de commissie eerst een kort overzicht van de huidige blootstellingslimieten en de filosofie en wetenschappelijke gegevens die eraan ten grondslag liggen. In hoofdstuk 3 komt de techniek van mobiele telefonie aan de orde. Daarna behandelt de commissie in hoofdstuk 4 temperatuurveranderingen in het hoofd ten gevolge van blootstelling aan elektromagnetische velden van mobiele telefoons. In hoofdstuk 5 geeft zij een overzicht van de wetenschappelijke literatuur die betrekking heeft op biologische en gezondheidseffecten, met name gericht op effecten in het hoofd. Speciale aandacht besteedt de commissie aan het eind van dit hoofdstuk aan blootstelling van kinderen. Indirecte effecten op de gezondheid kunnen het gevolg zijn

---

van technische problemen bij medische apparatuur: mobiele telefoons kunnen soms storing veroorzaken. In het advies *GSM-basisstations* heeft de commissie al kort aandacht aan dit onderwerp besteed. In hoofdstuk 6 van het voorliggende advies gaat zij dieper op dit onderwerp in. Mobiele telefoons kunnen ook op een geheel andere indirecte wijze invloed hebben op de gezondheid, omdat het gebruik ervan tijdens het besturen van een voertuig de verkeersveiligheid negatief beïnvloedt. De commissie gaat in hoofdstuk 7 nader in op de desbetreffende wetenschappelijke bevindingen. In hoofdstuk 8 geeft zij kort aan hoe de ontwikkelingen op het gebied van wet- en regelgeving in andere landen gevolgd kunnen worden. Vier bijlagen bevatten ten slotte achtereenvolgens de adviesaanvraag, de samenstelling van de commissie, uitleg over de SAR en achtergrondinformatie over de invloed van temperatuurveranderingen op het evenwichtsorgaan.



## **Blootstellingslimieten**

---

Verscheidende nationale en internationale organisaties hebben voorstellen gedaan voor blootstellingslimieten. De Gezondheidsraad bracht in 1997 het advies *Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz)* uit, waarin voor het betreffende frequentiegebied limieten zijn voorgesteld (GR97). In 1998 kwam de *International Commission on Non-Ionising Radiation (ICNIRP)* met richtlijnen voor het frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz, die grotendeels overeenkomen met de aanbevelingen van de Gezondheidsraad (ICN98). Alleen in het hoogste frequentiegebied is er een verschil. Een beschrijving van hoe de limieten tot stand zijn gekomen is te vinden in bovengenoemde rapporten. De commissie geeft hier een korte samenvatting van de belangrijkste principes.

---

### **2.1 Basisbeperkingen**

Zowel Gezondheidsraad als ICNIRP maken in de aanbevelingen een onderscheid tussen zogenoemde basisbeperkingen en referentiewaarden (ook wel afgeleide waarden genoemd). De basisbeperkingen zijn maximale waarden van grootheden die direct betrekking hebben op een gezondheidseffect. In het frequentiegebied boven circa 100 kHz, waarin de radiofrequenties liggen en dus ook de frequenties waar mobiele telecommunicatie mee werkt, is het relevante effect de opwekking van warmte. Indien een organisme wordt blootgesteld aan een elektromagnetisch veld, wordt een deel van

---

de elektromagnetische energie door het lichaam geabsorbeerd en omgezet in warmte. In een microgolfoven wordt van hetzelfde principe gebruik gemaakt om voedsel of vloeistoffen op te warmen. Een te grote hoeveelheid in het lichaam opgewekte warmte kan echter tot gezondheidsschade leiden. Op grond van wetenschappelijke gegevens verkregen met proefdieren en vrijwilligers is vastgesteld dat, zolang de toename van de lichaamstemperatuur niet groter is dan 1°C, dit ook bij langdurige blootstelling niet tot gezondheidsproblemen leidt.

De grootte waarin de mate van absorptie van energie per tijdseenheid wordt uitgedrukt, is het specifieke absorptietempo (Engels: *specific absorption rate*, SAR), met als eenheid watt per kg (zie bijlage C). In alle richtlijnen wordt ervan uitgegaan dat, wanneer de SAR gemiddeld over het lichaam niet meer is dan 4 W/kg, de lichaamstemperatuur niet meer dan 1°C stijgt. Vanwege onder meer de extrapolatie van proefdiergegevens naar de mens, en omdat er bij de mens wellicht groepen zijn die om een of andere reden gevoeliger zijn voor warmtetoename dan andere, bijvoorbeeld jonge kinderen, zwakke ouderen en zieken, zijn in de richtlijnen veiligheidsmarges ingebouwd. Er wordt daarbij een onderscheid gemaakt tussen de beroepsbevolking en de algemene bevolking. Onder beroepsbevolking wordt in dit geval niet iedereen die werkt verstaan, maar alleen die gezonde volwassenen die in het kader van het uitoefenen van hun beroep blootgesteld kunnen worden aan elektromagnetische velden, die bekend zijn met de mogelijke risico's van die blootstelling en weten hoe ze met die risico's om moeten gaan. Voor hen geldt een veiligheidsmarge van een factor 10, dat wil zeggen dat zij aan een maximale SAR van 0,4 W/kg blootgesteld mogen zijn. Alle anderen behoren tot de algemene bevolking en voor hen geldt een veiligheidsfactor van 50. De maximaal toelaatbare SAR voor deze groep komt daarmee op 0,08 W/kg.

Deze waarden hebben betrekking op blootstelling van het gehele lichaam. Bij gebruik van een mobiele telefoon wordt slechts een gedeelte van het lichaam blootgesteld: het hoofd, en dan vooral de kant waar de telefoon zich bevindt, en de hand die het toestel vasthoudt. Voor blootstelling van alleen delen van het lichaam is door de Gezondheidsraad en ICNIRP gesteld dat hogere SAR-waarden dan bovengenoemde acceptabel zijn. Voor de algemene bevolking is voor het hoofd een SAR van 2 W/kg voorgesteld en voor de hand een waarde van 4 W/kg. Voor de beroepsbevolking gelden waarden van 10 W/kg voor het hoofd en 20 W/kg voor de hand. De commissie gaat hier in hoofdstuk 4 nader op in.

Vanwege de verschillende elektromagnetische eigenschappen van de weefsels in het lichaam zullen lokale verschillen in temperatuurstijging optreden die door de warmteafvoer door de bloedcirculatie deels weer ongedaan worden gemaakt. Hierdoor zal op een gegeven moment een thermisch evenwicht worden bereikt, waarin de toevoer van warmte door de blootstelling aan het elektromagnetisch veld en de afvoer

van warmte door de bloedsomloop en warmteafgifte aan de omgeving door straling, convectie en zweten, gelijke tred met elkaar houden. Om deze reden zijn bovengenoemde SAR maxima bedoeld als een gemiddelde over elke willekeurige periode van 6 minuten. Dit zijn de basisbeperkingen, waaraan te allen tijde moet zijn voldaan.

---

## 2.2 Referentiewaarden

Warmteopname is niet op eenvoudige wijze te bepalen. Zeker niet als de blootstelling, zoals doorgaans het geval is, niet homogeen over het lichaam plaats vindt. Daarom zijn van de basisbeperkingen, in dit geval de SAR, waarden afgeleid van het elektrische en magnetische veld zoals aanwezig op de plaats van de blootstelling, dat wil zeggen, de ongestoorde velden. In bijlage C is bijvoorbeeld aangegeven hoe de rekenkundige verhouding is tussen de SAR en de elektrische veldsterkte. De afgeleide sterktes van het elektrische en magnetische veld worden de referentiewaarden genoemd. Zij zijn te beschouwen als een hulpmiddel om te bepalen of aan de basisbeperkingen wordt voldaan. Indien de referentiewaarden niet worden overschreden, dan geldt dat ook voor de basisbeperking. Worden de referentiewaarden wel overschreden, dan moet op andere wijze worden nagegaan of al of niet aan de basisbeperking wordt voldaan.

De referentiewaarden vertonen een sterke afhankelijkheid van de frequentie, omdat elektromagnetische velden met verschillende frequenties meer of minder diep in het lichaam kunnen doordringen en omdat er resonantie-effecten op kunnen treden.

Referentiewaarden kunnen echter alleen worden afgeleid voor situaties op enige afstand van de bron in het zogenoemde verre veld.<sup>a</sup> De blootstelling van het hoofd en de hand bij gebruik van een mobiele telefoon vindt plaats in het nabije veld. De sterkte van het elektrische en magnetische veld is daar zeer variabel. Daarom kunnen voor die situatie geen algemene referentiewaarden gegeven worden en dient steeds per situatie bepaald te worden of aan de basisbeperkingen wordt voldaan.

---

<sup>a</sup> Het elektromagnetische veld in de omgeving van een bron kan onderscheiden worden in twee zones: die van het nabije veld en die van het verre veld. In het verre veld staan de elektrische en magnetische componenten van het veld loodrecht op elkaar en op de voortplantingsrichting van het veld. Onder deze voorwaarden wordt de voortplanting van energie 'straling' genoemd. De veldsterkte neemt daarbij omgekeerd evenredig af met de afstand tot de bron. In het nabije veld is de relatie tussen het elektrisch en magnetisch veld complexer dan in het verre veld. De veldsterktes in het nabije veld zijn daarom moeilijker te berekenen. Zij nemen gemiddeld sterker dan omgekeerd evenredig af met de afstand tot de bron.

---

---

### 2.3 Europese aanbevelingen

In 1999 heeft de Raad van Europa aanbevelingen gedaan met betrekking tot blootstelling van de algemene bevolking aan elektromagnetische velden (REU99). Daarbij zijn de richtlijnen van ICNIRP overgenomen. De Nederlandse regering heeft in de nota *Nationaal Antennebeleid* aangegeven dat zij blootstellingslimieten wettelijk vast wil leggen en dat zij daarbij de Europese aanbevelingen als basis voor Nederlandse regelgeving zal gebruiken (V&W00).

---

### 2.4 Voorzorgsbeginsel

In diverse Europese landen zijn met aanroeping van het voorzorgsbeginsel lagere blootstellingslimieten vastgesteld dan de richtlijnen van ICNIRP. De reden hiervoor is onzekerheid over het bestaan van en de mogelijke gevolgen voor de gezondheid van biologische effecten die niet gerelateerd zijn aan warmte-opname, zogenoemde niet-thermische effecten. In de adviesaanvraag (zie bijlage A) leggen de bewindslieden de Gezondheidsraad de vraag voor, of er aanleiding is op grond van dergelijke niet-thermische effecten de blootstellingslimieten lager vast te stellen dan thans het geval is. In het advies *GSM-basisstations* heeft de commissie aangegeven dat zij hiertoe geen aanleiding ziet (GR00b). Weliswaar zijn er aanwijzingen voor bepaalde niet-thermische biologische effecten, maar het is niet bekend of, en niet voorstelbaar hoe, dergelijke effecten tot gezondheidsschade zouden kunnen leiden. Die conclusies gelden bij blootstelling van het gehele lichaam en hebben niet per definitie ook betrekking op de situatie bij het gebruik van een mobiele telefoon. De commissie gaat in hoofdstuk 5 nader in op niet-thermische effecten bij blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons en trekt uit die gegevens haar conclusie met betrekking tot toepassing van het voorzorgsbeginsel.

## Technische achtergrond

---

### 3.1 Netwerk

Het basisprincipe van draadloze communicatie is, dat de overdracht van informatie plaats vindt door middel van elektromagnetische golven. Spraak kan zowel analoog als digitaal worden verstuurd. Andere informatie, zoals gegevens, wordt in de regel digitaal verzonden.

Elektromagnetische golven worden gekenmerkt door hun frequentie, dat wil zeggen het aantal malen dat zij per seconde wisselen van positief naar negatief, en door hun intensiteit, dat wil zeggen de veldsterkte. De basisfrequentie van een signaal wordt de draaggolf genoemd. Overdracht van informatie, ongeacht of deze analoog of digitaal is, vindt plaats door veranderingen van die draaggolf. Dat kunnen bijvoorbeeld veranderingen van de frequentie zijn (frequentiemodulatie: FM) of van de intensiteit (amplitudemodulatie: AM). Die modulaties kunnen continu plaats vinden, zoals bij een omroepzender, of in specifieke tijdsloten, zoals bij een GSM mobiele telefoon, hetgeen een pulsvormig signaal oplevert. De wijze waarop de informatie wordt overgebracht (analoog of digitaal) staat los van het type signaal van de zender.

Eigenlijk is voor wat betreft mobiele telefonie de draadloze overdracht maar een klein deel van het totale traject. Voor het merendeel wordt gebruik gemaakt van de gewone kabelverbindingen. Een mobiele telefoon communiceert door middel van radiogolven met het dichtstbijzijnde basisstation. In het basisstation wordt het signaal

---

overgebracht naar het vaste netwerk. Sommige basisstations hebben niet zelf zo'n verbinding, maar staan via een straalverbinding in contact met een basisstation dat wel een aansluiting op het vaste netwerk heeft. Elk basisstation heeft een beperkt verzorgingsgebied, een cel genaamd. Omdat een basisstation slechts een beperkt aantal gesprekken tegelijk kan afhandelen, is de grootte van een cel afhankelijk van de vraag naar verbindingen. In stedelijke gebieden zijn de cellen klein, in landelijk gebieden groot. Het advies *GSM-basisstations* gaat hier nader op in (GR00b).

---

## 3.2 Mobiele telefoons

Mobiele telefoons zijn zodanig geconstrueerd dat ze met een zo laag mogelijk vermogen contact kunnen hebben met het dichtstbijzijnde basisstation. Of van die mogelijkheid ook gebruik wordt gemaakt, is afhankelijk van de instelling van het netwerk. De belangrijkste reden voor het bestaan van deze voorziening is om zo effectief mogelijk om te gaan met de beperkte hoeveelheid energie in de batterij. Daarnaast wordt de capaciteit van het netwerk erdoor vergroot. De vermogensregulering van de mobiele telefoon heeft tot gevolg dat de sterkte van het elektromagnetisch veld dat rond de telefoon aanwezig is van plaats tot plaats en in de tijd kan variëren. In het algemeen kan gesteld worden: hoe slechter de verbinding, des te hoger het zendvermogen dat de telefoon nodig heeft om verbinding te maken met het basisstation. Andersom is het ook zo dat hoe meer antennes er zijn, des te lager het door de telefoon benodigde zendvermogen zal zijn en dus ook des te lager de sterkte van het elektromagnetische veld bij de telefoon. Het maximale bereik van mobiele telefoons is in het vrije veld onder ideale omstandigheden enkele tientallen kilometers.

Door het toenemende gebruik van GSM-telefoons neemt het aantal basisstations toe. Daardoor werken de mobiele telefoons gemiddeld op een lager vermogen en zal veelal de veldsterkte waaraan de gebruiker wordt blootgesteld, afnemen.

---

### 3.2.1 GSM

Mobiele communicatie volgens de GSM (*Global System for Mobile communication*) standaard werkt in de 900 MHz en 1800 MHz band. De informatie, zowel spraak als gegevens, wordt digitaal verstuurd. GSM-telefoons worden daarom ook wel aangeduid als 'digitale telefoons', dit in tegenstelling tot 'analoge telefoons'. Bij de eerste in Nederland opgezette netwerken voor mobiele telefonie zoals NMT werd gebruik gemaakt van een continu signaal in plaats van het hieronder beschreven gepulste signaal. De informatie bij die inmiddels verouderde techniek werd analoog overgedragen.

---

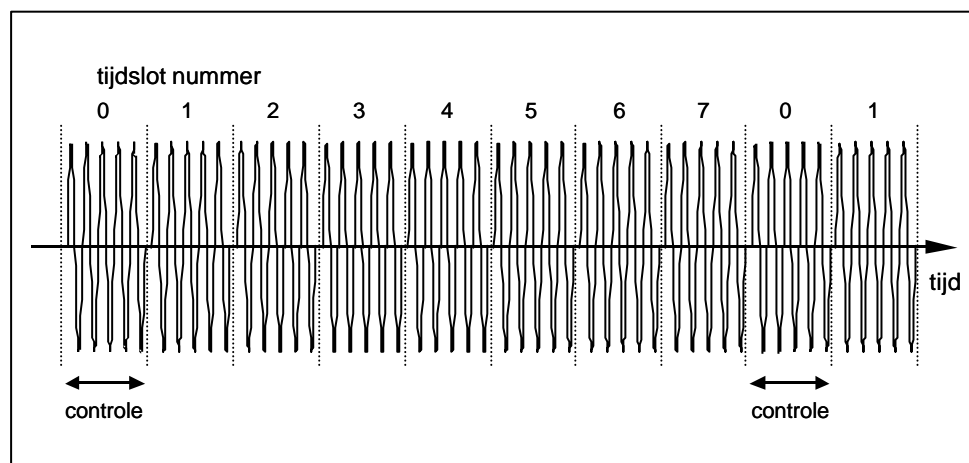
Bij GSM wordt de *Time Division Multiple Access* (TDMA) techniek toegepast. Hierbij wordt het signaal verdeeld in 217 periodes met informatie ('frames') per seconde. Elk *frame* is weer onderverdeeld in acht periodes ('tijdsloten'). Het eerste tijdslot heeft in sommige gevallen een regel- en controlefunctie en elk van de zeven overige kan gebruikt worden voor een individueel telefoongesprek. Om technische redenen wordt iedere 26ste *frame* niet uitgezonden.

Al naar gelang het te verwachten aantal gesprekken dat gelijktijdig moet kunnen worden gevoerd via een basisstation, zijn er bij een GSM basisstation per sector<sup>a</sup> één of meerdere kanalen ('frequenties') geïnstalleerd. Elk kanaal is een frequentiegebied met een bandbreedte van 200 kHz. Eén van deze kanalen heeft een bijzondere functie in het totstandbrengen en afhandelen van telefoongesprekken. Het is een soort controlekanaal en is altijd met vol vermogen en volledige opvulling van alle tijdsloten in bedrijf (alhoewel er dus niet ook altijd in al die tijdsloten informatie wordt overgebracht).

Bij de extra kanalen is het mogelijk alleen in de bezette tijdsloten uit te zenden. Bovendien kunnen de verschillende tijdsloten met verschillend vermogens uitgezonden worden. Van deze mogelijkheden wordt echter niet altijd gebruik gemaakt. De meest toegepaste methodiek is dat de extra kanalen, net als het controlekanaal, een quasi-continu signaal uitzenden.

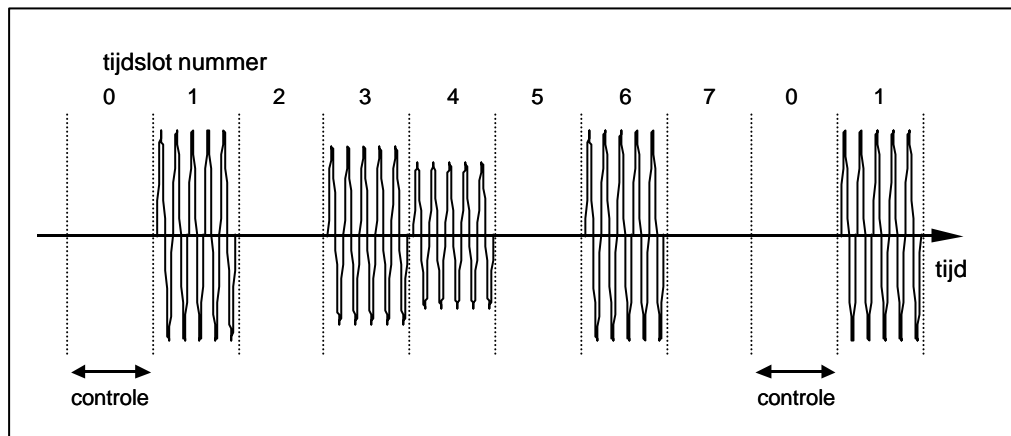
Bij een basisstation is er dus wel sprake van digitale modulatie, maar niet van gepulste uitzending. Wel kunnen stapsgewijze veranderingen van het totaal uitgezonden vermogen voorkomen, als er extra kanalen worden bijgeschakeld.

Het signaal van het controlekanaal ziet er als volgt uit:



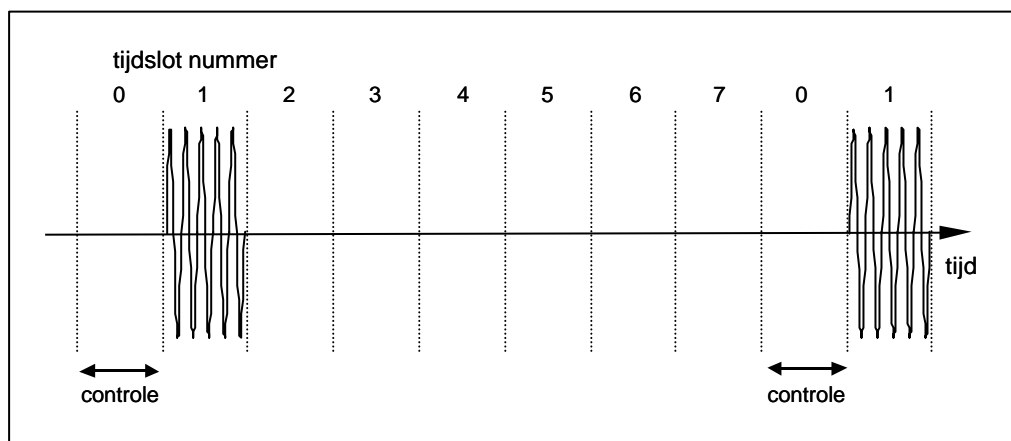
<sup>a</sup> Het verzorgingsgebied van een basisstation is onderverdeeld in drie ongeveer gelijke sectoren en heeft daarom ook drie naar verschillende richtingen wijzende antennes. Zie het advies *GSM basisstations* (GR00b).

Voor een kanaal van het basisstation waar slechts in de actieve tijdsloten uitgezonden wordt en gelijktijdig het vermogen geregeld wordt kan het signaal als volgt eruit zien:



Indien de operator de vermogensregeling voor de verschillende tijdsloten niet toepast, is het signaal in de gevulde tijdsloten nagenoeg constant.

Voor de GSM-telefoon ziet hetzelfde plaatje er als volgt uit:



Binnen een frame zendt het toestel slechts gedurende één tijdslot uit. Hierbij wordt de spraak voor een periode van 4,6 ms – de tijdsduur van een frame – gedigitaliseerd en in de tijd gecomprimeerd tot een informatiepuls van 0,58 ms – de duur van een tijdslot. Hierdoor zendt een GSM-toestel uit met een pulsrequentie van 217 Hz. Door de onderdrukking van iedere 26ste frame is er daarnaast ook sprake van een extra pulsmodulatie met een frequentie van  $217/26 = 8,34$  Hz.

Pulsmodulatie is equivalent aan het gelijktijdig moduleren van de draaggolf met verschillende frequenties. Het resultaat is een samenstel van secundaire frequenties

rond de draaggolffrequentie, de zijbandfrequenties, op afstanden van de draaggolf die veelvoudig zijn van 217 Hz en van 8,34 Hz. De veronderstelling dat duidelijk te onderscheiden en wellicht biologisch effectieve laagfrequente componenten in het elektromagnetische signaal van een basisstation of een mobiele telefoon aanwezig zijn, is echter onjuist. Laagfrequente componenten kunnen zich bij blootstelling slechts manifesteren indien er zeer specifieke demodulatie van de draaggolf optreedt, zoals in een daartoe ontworpen ontvanger. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat biologische systemen beschikken over zo'n demodulatie-mechanisme.

Het maximale zendvermogen van een GSM-telefoon is 2 W voor een GSM-900 toestel en 1 W voor een DCS-1800 toestel. Het effectieve zendvermogen is door de toepassing van de tijdsloten  $1/8^{\text{ste}}$  daarvan: 0,25 of 0,125 W.

### Energieabsorptie in het lichaam

Tijdens het gebruik van een mobiele telefoon bevindt de antenne van het toestel zich dicht bij het lichaam van de gebruiker, in het algemeen bij het hoofd. Een deel van het uitgezonden vermogen wordt geabsorbeerd door het lichaam. Dat is uit verschillende weefsels opgebouwd die sterk verschillende en frequentieafhankelijke elektromagnetische eigenschappen hebben (Gab96, Pey01). De hoeveelheid energie die een lichaam aan een elektromagnetisch veld kan onttrekken is in sterke mate afhankelijk van de frequentie van het veld, de grootte en de afmetingen van het lichaam en de weefsels in de blootgestelde delen van het lichaam.

De absorptie van elektromagnetische energie leidt tot opwarming van lichaamsweefsels. Vanwege de verschillende elektromagnetische eigenschappen van de weefsels zullen lokale verschillen in temperatuurstijging optreden die door de warmteafvoer door de bloedcirculatie deels weer ongedaan worden gemaakt. Op een gegeven moment zal er een thermisch evenwicht worden bereikt, waarin de toevoer van warmte door de blootstelling aan het elektromagnetisch veld en de afvoer van warmte door de bloedsomloop en warmteafgifte aan de omgeving door straling, convectie en zweten, gelijke tred houden.

Als de blootstelling beëindigd wordt, zal de lichaamstemperatuur geleidelijk weer terugkeren naar het niveau van voor de blootstelling. Uit berekeningen en experimenten met vrijwilligers blijkt dat het bij een rustende mens ongeveer een uur duurt voordat het lichaam weer de uitgangstemperatuur heeft bereikt (NRPB93).

Voor blootstelling aan gepulste velden is de maximaal te bereiken temperatuur ongeveer gelijk aan de temperatuur die blootstelling aan een continu veld met dezelfde gemiddelde SAR zou veroorzaken.

Verscheidene richtlijnen en aanbevelingen voor blootstellingslimieten die de afgelopen jaren zijn ontwikkeld, geven een maximale SAR voor lokale blootstelling. In West-Europese normen is dat een gemiddelde waarde over een volume van 10 g weefsel (GR97, ICN98, REU99), en in de belangrijkste VS-norm een gemiddelde over 1 g weefsel (IEEE95). Voor een aantal typen mobiele telefoons zijn SAR waarden bekend (Nov00). Zij gaan, op een enkele uitzondering na, bij maximaal zendvermogen de normwaarden niet te boven.

De commissie merkt op dat het elektromagnetische veld dat wordt gegenereerd door de antenne van een mobiele telefoon in het nabije veld, binnen een straal van circa 30 cm rond de telefoon, zich grillig gedraagt (zie voetnoot in 2.4). Gevonden waarden uit metingen en berekeningen zijn sterk afhankelijk van de gedefinieerde opstelling *c.q.* configuratie, omdat bijvoorbeeld de aanwezigheid van het hoofd en de hand een belangrijke invloed hebben. Het is niet mogelijk om SAR waarden die in vrije-velde condities zijn bepaald, terug te rekenen naar een situatie in het nabije veld. Het is daarom van belang een geharmoniseerde norm te hebben waarmee de lokale SAR in het nabije veld op een eenduidige wijze kan worden bepaald. In Europa zijn per 1 oktober 2001 de door CENELEC opgestelde basisnorm EN50361 en productnorm EN50360 van kracht geworden (CEN01a, CEN01b, EC01). De basisnorm regelt aan welke emissie-eisen producten moeten voldoen (in dit geval de waarden uit de ICNIRP richtlijn) en de productnorm regelt hoe de emissie bepaald moet worden. Hiermee is een belangrijke stap gezet in een eenduidige definitie van de metingen ter bepaling van de SAR waarden bij gebruik van mobiele en draadloze telefoons. Een eenvoudige vuistregel om de door middel van een andere meetprocedure verkregen resultaten te kunnen vergelijken met, of te extrapoleren naar met deze nieuwe norm verkregen waarden, is niet te geven

Alleen wanneer een mobiele telefoon gebruikt wordt voor het voeren van een gesprek en daarbij aan het hoofd wordt gehouden, vindt in het hoofd absorptie van elektromagnetische energie van enige betekenis plaats. In alle andere situaties is dat niet het geval. Wanneer de telefoon gebruikt wordt, maar niet aan het hoofd wordt gehouden, bijvoorbeeld bij het gebruik van een *handsfree set*, is het afhankelijk van de positie van het toestel ten opzichte van het lichaam, hoeveel absorptie van elektromagnetische energie in het lichaam plaats vindt en waar dat gebeurt. Bij het sturen of ontvangen van SMS-berichten is energie-absorptie te verwaarlozen. Het samenstellen of lezen van een bericht gebeurt in de *standby* stand en het versturen of ontvangen van een bericht neemt niet meer dan enkele seconden in beslag. Bovendien wordt de telefoon daarbij op enige afstand van het lichaam gehouden. De zorgen die de

*British Medical Association* hierover in een recent rapport heeft geuit (BMA01), zijn daarom niet terecht.

Wanneer de telefoon *standby* staat, geeft hij geregeld gedurende korte tijd (1 à 2 seconden) pulsen af om de positie in het netwerk vast te stellen. De intervallen tussen die pulsen variëren – afhankelijk van de netwerkinstellingen – van 20 minuten tot enkele uren. De sterkte van de puls is aanvankelijk heel kort op vol vermogen, daarna wordt het vermogen teruggebracht, afhankelijk van de positie ten opzichte van het dichtstbijzijnde basisstation en van de instelling van dat basisstation, die bepaalt wat het maximale zendvermogen van de GSM-telefoon mag zijn. Wanneer er een oproep plaats vindt, wordt een verbinding tot stand gebracht en zendt de telefoon continu. Ook nu is dat aanvankelijk heel kort op vol vermogen, daarna wordt het vermogen teruggebracht tot het minimale niveau dat gewenst is voor een goede verbinding. Tijdens het gesprek zendt de telefoon zoals eerder in dit hoofdstuk aangegeven.

---

### 3.2.2 WAP en GPRS

WAP (*Wireless Application Protocol*) is een dienst die aangeboden wordt via het gewone mobiele telefoon-systeem en waarbij gegevens, bijvoorbeeld van het internet, opgevraagd kunnen worden. Dat kan zowel via GSM, GPRS of – te zijner tijd – UMTS (zie hieronder) gebeuren. WAP heeft geen andere invloed op het door een mobiele telefoon uitgezonden vermogen dan spraak. Wel zal voor de gebruiker van WAP de blootstelling aanzienlijk minder zijn dan wanneer hij de telefoon voor het voeren van een gesprek gebruikt. Het gaat immers om de informatie op het scherm van het toestel.

GPRS-technologie (*General Packet Radio System*) maakt het mogelijk dat gebruikers gegevens met hogere snelheden dan bij gewone GSM-technologie kunnen verzenden en ontvangen. Dit gebeurt door meerdere tijdsloten gelijktijdig te gebruiken. De gemiddelde SAR-waarde is afhankelijk van het aantal gelijktijdig uitgezonden tijdsloten. Gewone GSM-toestellen zijn niet geschikt om van deze techniek gebruik te maken. De speciale GPRS-toestellen die op de markt zullen komen, moeten evenals de GSM-toestellen, voldoen aan de eis dat de in het lichaam geïnduceerde lokale SAR niet meer mag zijn dan 2 W/kg. Zoals hierboven aangegeven, zijn er sedert oktober 2001 Europese richtlijnen van kracht om op een eenduidige manier de SAR te bepalen. Dat zal dan dus ook gedaan moeten worden met de GPRS-toestellen.

De GPRS-techniek bevindt zich ten tijde van het opstellen van dit advies nog in de introductiefase.

---

### 3.2.3 UMTS

Het nieuwe systeem voor mobiele communicatie, UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) genaamd, of ook wel 3<sup>e</sup> generatie (3G) mobiele telefonie, zal op frequenties rond 2 GHz werken. Het individuele signaal van een mobiele UMTS terminal (het apparaat is meer dan alleen een telefoon) zal verspreid zijn over een 5 MHz brede band. Door de aard van de modulatie en codering zal het signaal binnen die band sterk lijken op ruis. De informatie wordt bij UMTS niet overgebracht door modulaties van de draaggolf. Indien er variaties van de draaggolf nodig zijn, zal dat om netwerktechnische redenen zijn.

Het maximale zendvermogen van de mobiele terminal zal rond 250 mW liggen. Er zijn twee protocollen gedefinieerd. Het eerste protocol past FDD (*Frequency Division Duplex*) toe, dat wil zeggen dat basisstation en mobiele terminal gelijktijdig zenden op twee verschillende frequenties. De terminal zal daarbij tijdens een verbinding, net als bij GSM, continu zenden, maar gezien de aard van de communicatie (data, video, internet) zal dit het karakter hebben van 'bursts' die sterk in lengte kunnen variëren.

Het tweede protocol is *Time Division Duplex* (TDD). Hierbij wordt door basisstation en mobiele terminal op dezelfde frequentie uitgezonden, maar niet gelijktijdig. Deze techniek zal echter minder vaak toegepast worden dan FDD.

Het is bij het opstellen van dit advies nog niet (publiekelijk) bekend welk protocol de verschillende UMTS-aanbieders zullen gaan gebruiken. Omdat het maximaal vermogen van UMTS-toestellen ongeveer gelijk is aan het gemiddelde vermogen van GSM-toestellen, zullen naar verwachting de veldsterkten waaraan gebruikers van UMTS zullen worden blootgesteld niet verschillen van die bij GSM.

---

## 3.3 Draadloze telefoons

Draadloze telefoons zijn bedoeld voor gebruik in en om het huis, kantoor of bedrijf. Zij hebben een zeer laag vermogen en dientengevolge een bereik van maximaal circa 300 m. Ze zijn bedoeld om te communiceren met basisstations in huis of bedrijf. Dat is geen basisstation zoals bij mobiele telefonie, maar een kleine eenheid die in huis direct op het reguliere telefoonnet is aangesloten. In tegenstelling tot mobiele telefoons, hebben draagbare telefoons geen eigen telefoonnummer; het nummer is dat van de vaste aansluiting.

---

### 3.3.1 *Analoog*

De bekende oudere typen draadloze telefoons voor privé-gebruik gebruiken de CT0 standaard. Zij zenden in de band 31 – 40 MHz. Het signaal is continu, met een bandbreedte van 25 kHz. Het (piek)zendvermogen van de telefoon is 10 mW; de maximale veldsterkte die wordt opgewekt door deze telefoons is dus veel geringer dan die van een GSM-toestel dat op maximaal vermogen moet werken.

---

### 3.3.2 *Digitaal (DECT)*

De moderne digitale standaard voor draadloze telefoons is DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunication*). De toepassing varieert van kleine (privé) huiscentrales tot grote bedrijfscentrales. Net als GSM gebruikt DECT een tijdverdeeld transmissiesysteem, wat inhoudt dat de mobiele telefoons korte pulsen uitzenden. Het systeem werkt met frequenties tussen 1880 MHz en 1900 MHz en er zijn 10 kanalen met een bandbreedte van 1,728 MHz. Binnen een kanaal wordt gezonden met *frames* van 10 ms, dus met een herhalingsfrequentie van 100 Hz. Elk *frame* is onderverdeeld in 24 tijdsloten, waarvan de helft voor de communicatie van het basisstation naar het toestel wordt gebruikt, en de ander helft voor de verbinding de andere kant op.

Het maximaal vermogen van de toestellen is 250 mW. Omdat er per verbinding één tijdslot wordt gebruikt, is het effectief uitgezonden vermogen per toestel maximaal  $250/24 = 10,4$  mW (rms). Een gewoon huisbasisstation gebruikt één kanaal en kan maximaal 8 toestellen bedienen. Het huisbasisstation heeft daarmee een maximaal effectief zendvermogen van 90 mW: 8 maal 10 mW per tijdslot waarin de communicatie plaatsvindt en (bij sommige apparaten) 10 mW voor een tijdslot dat permanent in gebruik is. Bij grotere huis- en bedrijfscentrales kunnen meer kanalen, en daarmee meer vermogen, aanwezig zijn.

---

## 3.4 **Bluetooth**

*Bluetooth* is een nieuw systeem voor draadloze communicatie tussen elektronische apparaten, zoals tussen de computermuis, het toetsenbord, de printer en de PC. Het bereik is enkele meters. Het zendvermogen kan maximaal 100 mW zijn, maar is voor de meeste toepassingen 1 mW; de gebruikte frequentie is 2,4 GHz. Een belangrijke toepassing is een draadloze verbinding tussen een hoofdtelefoon / microfooncombinatie en een GSM-telefoon. Hiermee wordt een *handsfree* set verkregen waarbij de SAR in het hoofd aanzienlijk (een factor 100 tot 1000) kleiner is dan bij 'normaal' gebruik van

---

de GSM-telefoon, omdat de telefoon op enige afstand van het hoofd gehouden kan worden, bijvoorbeeld in de jaszak of de tas.

---

## 3.5 TETRA

TETRA staat voor *Terrestrial Trunked Radio* en is de nieuwe standaard voor mobiele radiocommunicatie die gebruikt gaat worden door hulpdiensten als politie, brandweer en ambulances. De opzet is vergelijkbaar met die van mobiele telefoonsystemen: een netwerk van basisstations die contact hebben met draagbare portofoons of met in voertuigen gemonteerde mobilofoons.

TETRA werkt in twee frequentiegebieden, 380-395 MHz en 410-425 MHz en maakt gebruik van 'trunking' en TDMA (*Time Division Multiple Access*). *Trunking* houdt in dat alle kanalen gezamenlijk worden gebruikt en dat een gebruiker een vrij kanaal krijgt toegewezen. TDMA betekent in het geval van TETRA dat elke draaggolffrequentie 4 gesprekken ('logische kanalen') kan herbergen. Als er snel datatransport moet plaatsvinden, kunnen meerdere logische kanalen worden toegewezen. Het signaal is hiertoe, net als bij GSM, onderverdeeld in frames en tijdsloten. Een frame heeft een tijdsduur van 56,7 ms en is verdeeld in vier tijdsloten van 14,2 ms. Voor elk van de vier gesprekken die gelijktijdig gevoerd kunnen worden is er dus een puls-pauzeverhouding van 3 en een pulsrequentie van 17,6 Hz. Dit geldt, ook weer net als bij GSM, alleen voor de portofoons en mobilofoons. De basisstations zenden continu uit, dat wil zeggen, alle tijdsloten zijn gevuld.

Het effectief vermogen van de portofoons is 0,25 W (maximaal 1 W) of 0,75 W (maximaal vermogen 3 W). Er zijn momenteel nog geen gegevens beschikbaar waaruit afgeleid kan worden of aan de SAR limieten wordt voldaan.

---

## 3.6 Vermindering blootstelling

---

### 3.6.1 *Handsfree sets*

In de eerste helft van 2000 zijn verschillende publicaties verschenen over een mogelijke verhoging van de SAR door het gebruik van *headsets*. Met gebruik van een op de mobiele telefoon aangesloten *headset*, een kabel met een microfoon en een in het oor te dragen luidsprekertje, is het mogelijk om te bellen zonder de telefoon tegen het oor aan te houden. Een van de voordelen van het gebruik van een *headset* is dat de gebruiker de handen vrij heeft tijdens het bellen.

Door de bron van de elektromagnetische energie van het lichaam te verwijderen zou in principe de in het lichaam opgenomen hoeveelheid energie kleiner worden. In de

publicatie van het tijdschrift *Which?* (Whi00) wordt echter gesuggereerd dat de SAR-waarde in het hoofd juist toeneemt vanwege geleiding van de golven langs de kabel naar het hoofd.

Naar aanleiding van deze publicatie zijn er onderzoeken verricht door verschillende laboratoria. Deze onderzoeken bevestigen wat onderstaande theoretische analyse van een mobiele telefoon in combinatie met een *headset* laat zien. De bevindingen uit het bericht van *Which?* zijn onjuist en berusten waarschijnlijk op een meetfout.

Stel dat de kabel van de *headset* een ideale antenne is voor 900 c.q. 1800 MHz elektromagnetische velden. Deze ‘*headset*-antenne’ vangt de velden op die de mobiele telefoon uitzendt. Het maximale vermogen  $P_o$  dat een ideale antenne uit het elektromagnetische veld kan onttrekken is gelijk aan:

$$P_o = \frac{P_{telefoon}}{4\pi d^2} \cdot \frac{l^2}{2\pi} \cdot G_T \cdot G_R$$

waarbij  $P_{telefoon}$  het maximale zendvermogen van de mobiele telefoon is,  $l$  de golflengte van het elektromagnetische veld,  $G_T$  en  $G_R$  de winstfactoren van respectievelijk de zend- en de ontvangantenne en  $d$  de afstand tussen de zendantenne van de telefoon en de ‘*headset*-antenne’.  $G_T$  en  $G_R$  hebben in de praktijk waarden tussen 1 en 2. Als voorbeeld een afstand van één golflengte tussen zendantenne en kabel. Dit is voor 900 MHz ongeveer 30 cm en voor 1800 MHz ongeveer 15 cm. De formule geeft dan aan dat het maximaal op de ‘*headset*-antenne’ beschikbare vermogen slechts een fractie van het zendvermogen kan zijn. Bij een maximaal uitgangsvermogen van 2 W van de GSM-telefoon komt dit neer op een beschikbaar vermogen van ongeveer 10 – 40 mW op de *headset*. (Maar het effectieve vermogen van een GSM-toestel is een factor 8 lager.)

Uit het meetrapport van ERA (Ban00), dat de metingen voor *Which?* uitvoerde, kan opgemaakt worden dat er, in plaats van de lokale veldsterkte, een hoogfrequente spanning gemeten wordt die het gevolg is van een koppeling van de meetantenne aan een elektrische geleider op zeer korte afstand tot de meetantenne. Zo’n meetopstelling kan vanwege die ongedefinieerde koppeling geen betrouwbare resultaten opleveren. In een tweede meting laat ERA zien hoe het elektromagnetische veld zich gedraagt als functie van de afstand van de *headset*. Hieruit blijkt dat bij toenemende afstand tot de headset het gemeten veld stabiel wordt. Blijkbaar neemt de koppeling tussen de meetantenne en de *headset* af en wordt er ‘echte’ veldsterkte gemeten.

Het Engelse SARTest heeft metingen uitgevoerd aan mobiele telefoons in combinatie met een *headset* (Man00a, Man00b). Deze metingen, die in de ogen van de commissie wel op een juiste wijze zijn uitgevoerd, tonen aan dat het gebruik van een *headset* de SAR-waarde in het hoofd aanzienlijk kan reduceren. De mate van reductie

is echter sterk afhankelijk van de geometrie van de opstelling. In het onwaarschijnlijke geval dat de kabel van de *headset* om de antenne van de mobiele telefoon gewikkeld is en het einde van de kabel vlak bij het oorknopje strak tegen de wang ligt, kan plaatselijk een SAR-waarde gemeten worden die vergelijkbaar is met de SAR-waarde bij bellen zonder *headset*.

In de Verenigde Staten berekende Bit-Babik (Bit01) de SAR in het hoofd en lichaam bij gebruik van een mobiele telefoon in combinatie met een *handsfree* set.<sup>a</sup> De aanwezigheid van het lichaam blijkt een belangrijke invloed te hebben: wanneer de telefoon en *headset* niet dichtbij het lichaam gehouden worden, is de SAR in het hoofd veel hoger. De lengte van de kabel van de *headset* is ook van belang: bij een bepaalde lengte kan het systeem in resonantie komen. Niettemin werd ook in de meest ongunstige gevallen bij gebruik van een *headset* een aanzienlijk reductie van de SAR in het hoofd verkregen.

De conclusie van de commissie is, dat het gebruik van een *headset* de SAR in het algemeen aanzienlijk verlaagt en in geen geval tot een vergelijkbare of hogere SAR in het hoofd kan leiden als bij het gebruik van een mobiele telefoon zonder een *headset*.

---

### 3.6.2 Afschermingsmiddelen

Er zijn verschillende middelen in omloop waarvan de producent claimt dat zij de blootstelling aan door een mobiele telefoon uitgezonden elektromagnetische velden reduceren. Er kan bij deze accessoires een onderscheid worden gemaakt tussen hoesjes die om de telefoon geschoven worden en kleine voorwerpen die op de telefoon moeten worden geplakt.

De hoesjes bieden daadwerkelijk afscherming, omdat zij voorzien zijn van een metalen netwerk dat de elektromagnetische velden deels tegenhoudt. De telefoon zal dan echter, vanwege de verslechterde verbinding met het basisstation, met toenemend vermogen gaan zenden. Dat doet de werking van de afscherming voor een deel weer teniet. In algemene zin leidt het gebruik van dergelijke hoesjes tot een afname van de kwaliteit van het netwerk. De commissie concludeert dat het gebruik van deze middelen zinloos is.

De werking van de voorwerpen die op een telefoon geplakt moeten worden, berust volgens de producenten op een soort ‘absorptie’ van de elektromagnetische velden. Op fysische gronden is het onmogelijk dat dit daadwerkelijk plaats vindt. De commissie beschouwt het aanprijzen van dergelijke voorzieningen dan ook als misleiding.

---

<sup>a</sup> Over de kwaliteit van de technische uitvoering van dit onderzoek kan de commissie, op grond van deze presentatie op een wetenschappelijk congres, bij gebrek aan gegevens geen oordeel geven. Zij voert de resultaten hier echter toch op, omdat zij grotendeels overeen komen met de theoretische verwachtingen.

---

## Temperatuurveranderingen

---

In hoofdstuk 2 heeft de commissie aangegeven dat de blootstellingslimieten die de Gezondheidsraad (GR97), ICNIRP (ICN98) en andere organisaties hebben voorgesteld, gebaseerd zijn op het voorkómen van een overmatige toename van de lichaamstemperatuur. Voor situaties waarbij alleen delen van het lichaam zijn blootgesteld zijn andere blootstellingslimieten geformuleerd dan voor blootstelling van het gehele lichaam. Deze aanpak is gebaseerd op de overwegingen dat nadelige gezondheidseffecten veroorzaakt worden door een te grote temperatuurstijging van het lichaam en dat bij blootstelling van alleen lichaamsdelen de daarin opgewekte warmte door het niet-blootgestelde deel van het lichaam afgevoerd kan worden. Daardoor is in zo'n situatie meer elektromagnetische energie nodig om tot een bepaalde temperatuurstijging te komen. Uitgaande van een maximaal acceptabele stijging van 1°C is de maximaal toelaatbare SAR bij blootstelling van alleen lichaamsdelen hoger dan bij blootstelling van het gehele lichaam.

Voor blootstelling van het hoofd is door de Gezondheidsraad en ICNIRP aangegeven dat de SAR maximaal 2 W/kg zou mogen zijn, gemiddeld over een willekeurig volume van 10 g weefsel. De Amerikaanse IEEE (IEEE95) geeft een SAR limiet van 1,6 W/kg over 1 g weefsel. Deze aanbevelingen zijn gebaseerd op berekeningen voor blootstelling van het hoofd in verre-veldd situaties. Voor mobiele-telefoongebruikers is echter een relevantere vraag wat er gebeurt bij blootstelling van het hoofd in het nabije veld, want dat is de feitelijke situatie bij mobiel telefoneren. Het

---

is dan van belang om te bepalen wat de temperatuurstijging is in de verschillende weefsels die aan de elektromagnetische velden van de telefoon worden blootgesteld. Op grond van die informatie kan dan worden bepaald of de SAR-aanbevelingen moeten worden bijgesteld.

Een belangrijke stap in het verwerven van kennis over dit probleem is gezet met een onderzoek dat in Nederland door het Academisch Ziekenhuis Utrecht en het Fysisch Elektronisch Laboratorium TNO in Den Haag is uitgevoerd (Lee99). Hierin is een computermodel voor het berekenen van de veldsterktes in weefsel bij blootstelling aan een elektromagnetisch veld afkomstig van een mobiele-telefoonantenne, gekoppeld aan een model dat met die gegevens, en een gedetailleerde kennis over warmte-afvoer door bloedcirculatie, de warmtehuishouding in de verschillende weefsels berekent. Berekeningen zijn uitgevoerd voor een 915 MHz dipoolantenne op 2 cm van het hoofd, met een uitgezonden vermogen van 0,25 W: het maximaal effectieve vermogen van een 900 MHz GSM-telefoon. Hiermee kon bepaald worden dat ook bij langdurige blootstelling de temperatuurstijging in de huid direct naast de antenne niet meer is dan circa 0,25°C en in naastgelegen hersenweefsel niet meer dan 0,12°C. Met toenemende afstand tot de antenne neemt de temperatuurstijging sterk af en op een afstand van enkele centimeters is ze verwaarloosbaar klein.

De overeenkomstige SAR waarden zijn afhankelijk van het weefsel, het beschouwde volume en de vorm van dat weefselvolume. In de bovengenoemde normen is het te beschouwen weefselvolume gedefinieerd als een 'willekeurige vorm'. Zo'n weefselvolume kan dan een compacte vorm hebben, zoals een blokvorm, maar ook bijvoorbeeld een dunne huidlaag zijn. Absorptie van elektromagnetische energie in zo'n dunne laag kan relatief sterk zijn, waardoor de SAR dan hoger kan zijn dan de blootstellingslimiet. Uit het bovengenoemde AZU/TNO-onderzoek blijken SAR maxima tot 2,28 W/kg (in een willekeurig volume van 1 g) voor te komen. Dat is dus aanzienlijk hoger dan de maximale waarde van 1,6 W/kg die de IEEE voor een volume van 1 g weefsel heeft vastgesteld. Toch blijft de temperatuurstijging, zoals aangegeven, beperkt tot hooguit 0,25°C. Dit betekent dat het niet voldoende is alleen de SAR te bepalen. De warmtehuishouding speelt ook een belangrijke rol.

De bevindingen uit het AZU/TNO-onderzoek van zijn bevestigd door onderzoekingen in Japan, Engeland en Italië, waarin vergelijkbare temperatuurstijgingen werden berekend, met overigens minder gedetailleerde modellen (Ber00, Wai00, Wan99). In een recent onderzoek in Engeland (Par01) is de temperatuur van de huid gemeten tijdens een 30-min durend telefoongesprek met een mobiele telefoon. Aan de kant van het hoofd waar de telefoon werd gehouden, steeg de temperatuur met maximaal 2,3°C. Dat is aanzienlijk meer dan berekend met de hierboven genoemde modellen. De commissie vermoedt dat er hier een fout in de

meetmethodiek in het spel is, bijvoorbeeld doordat er een directe invloed was van de elektromagnetische velden van de telefoon op de meetapparatuur. Opvallend was, dat bij er uitgeschakelde telefoon geen temperatuurstijging gemeten werd, terwijl toch verwacht kan worden dat de aanwezigheid van de telefoon en de hand de huidtemperatuur zal doen stijgen. Dat laatste is inderdaad gevonden door Gandhi (Gan01). Hij berekende de maximum temperatuurstijging in de oorschelp, de hersenen en het oog ten gevolge van de aanwezigheid van een telefoon met een temperatuur van 39°C, en ten gevolge van een door de telefoon veroorzaakte SAR van 1,6 W/kg in 1 g weefsel (de ANSI/IEEE limiet) of een SAR van 2,0 W/kg in 10 g weefsel (de ICNIRP limiet). De temperatuurstijging ten gevolge van de aanwezigheid van de telefoon was het grootst in de oorschelp: 4,5°C. De SAR voegde daar nog 0,1-0,2°C aan toe. In de hersenen en het oog was de temperatuurstijging door de aanwezigheid van de telefoon 0,1-0,2°C en de toevoeging door de SAR niet meer dan 0,1°C. Vergelijkbare getallen zijn berekend door Bernardi (Ber01).<sup>a</sup> De temperatuurstijging door het ontbreken van convectie ten gevolge van de aanwezigheid van een niet-werkende GSM-telefoon bleek in dit onderzoek groter (0,9°C) dan die geïnduceerd door het elektromagnetische veld (0,01°C).

Deze informatie geeft de commissie geen aanleiding de bestaande aanbevelingen voor SAR maxima te herzien. De commissie acht het voor een betere onderbouwing van de normstelling echter noodzakelijk om een beter inzicht te hebben in de dosimetrie. Daarvoor zijn meer gegevens nodig over de relatie tussen temperatuur, SAR, het type weefsel en het weefselvolume waarin deze parameters worden bepaald. De commissie pleit daarom voor uitbreiding van het AZU/TNO-onderzoek (Lee99) en voor adequate metingen van de temperatuur in en bij het hoofd bij gebruik van een mobiele telefoon.

---

<sup>a</sup> Over de kwaliteit van de technische uitvoering van dit onderzoek kan de commissie, op grond van deze presentatie op een wetenschappelijk congres, bij gebrek aan gegevens geen oordeel geven. Zij voert de resultaten hier echter toch op, omdat zij overeen komen met de resultaten uit andere onderzoeken.

---



## Gezondheidsaspecten

---

### 5.1 Inleiding

Omdat een mobiele telefoon doorgaans tijdens het voeren van een gesprek dicht bij het hoofd gehouden wordt – met uitzondering van situaties waarbij men van een *handsfree* set gebruik maakt – richt het onderzoek naar mogelijke gezondheidseffecten zich vooral op het hoofd. De commissie besteedt daarom in dit advies vooral aandacht aan die onderzoeken. Omdat in het advies *Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz)* (GR97) al een uitgebreid overzicht is gegeven van de stand van wetenschap richt de commissie zich in dit advies vooral op de onderzoeken die gepubliceerd zijn na 1997. Daarom wordt in dit advies relatief beperkte aandacht gegeven aan *in vivo* onderzoeken, en worden *in vitro* onderzoeken slechts incidenteel besproken. Het recente rapport van de Engelse *International Expert Group on Mobile Phones* (IEG00) geeft een goed overzicht van deze onderzoeken.

#### Biologische versus gezondheidseffecten

Bij de analyse van de beschikbare gegevens is het van belang een onderscheid te maken tussen biologische effecten en gezondheidseffecten. Onder biologische effecten worden verstaan door externe oorzaken opgewekte fysiologische effecten die vallen binnen de natuurlijke grenzen waartussen processen en functies in een levend organisme kunnen

---

variëren zonder dat dit tot negatieve gevolgen voor de gezondheid leidt. Gezondheidseffecten zijn de negatieve gevolgen voor de gezondheid van een organisme van een ontoereikende compensatie van fysiologische effecten. Wanneer in experimenteel onderzoek een effect op een geïsoleerd biologisch systeem is gevonden, bijvoorbeeld een effect op gekweekte cellen, hoeft dit niet te betekenen dat dit effect zal leiden tot nadelige effecten voor de gezondheid in een organisme als geheel. Evenmin moeten met gevoelige meetmethoden gevonden effecten, zoals subtiele veranderingen in reactiesnelheid of in het natuurlijk patroon van hersengolven tijdens de slaap bij de mens, zonder meer beschouwd worden als schadelijk voor de gezondheid. Het menselijk lichaam heeft namelijk een groot vermogen om allerlei invloeden die er van buitenaf op inwerken adequaat te verwerken en, indien nodig, zich daartegen effectief te verdedigen (met behulp van het immuunsysteem), daarvoor te compenseren (homeostase) of zich er succesvol fysiologisch bij aan te passen (adaptatie, met name door het zenuwstelsel en het hormoonstelsel).

Een voorbeeld van een biologisch effect dat niet beschouwd kan worden als een voor de gezondheid nadelig effect, is de verandering die zichtbaar licht – ook een vorm van elektromagnetische velden – in de staafjes en kegeltjes in de cellen van het netvlies teweeg brengt. Die veranderingen leiden tot elektrische signalen die via de oogzenuw doorgegeven worden naar de hersenen, waar ze geïnterpreteerd worden en leiden tot het zien van de omgeving. Eén van de belangrijkste zintuiglijke waarnemingen van de mens komt dus tot stand dankzij het feit dat elektromagnetische velden biologische effecten in het lichaam veroorzaken.

---

## 5.2 Algemene gezondheidsproblemen en -klachten

Diverse publicaties maken melding van gezondheidsklachten die mensen toeschrijven aan veelvuldig gebruik van een mobiele telefoon. In Australië verzamelde Hocking (Hoc98) op grond van een oproep in de media een groep van veertig mensen met klachten. Deze werden telefonisch geïnterviewd. De klachten liepen uiteen van een gevoel van warmte, hoofdpijn, duizeligheid en misselijkheid tot gezichtsproblemen. Ze begonnen soms direct bij het begin van een telefoongesprek, soms ook later. Meestal waren de klachten binnen een uur weer verdwenen, soms bleven ze ook langer bestaan. Het onderzoek geeft door zijn opzet geen beeld hoe vaak dergelijke klachten voorkomen en of er inderdaad een relatie is met blootstelling aan de elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons. Wel komt het type klachten overeen met dat van mensen die zich in Nederland hebben laten registreren bij de Stichting Meldpuntennetwerk Gezondheid en Milieu. Deze stichting beschikt over een gegevensbestand van enkele honderden van dergelijke klachten. De commissie

---

tekent hierbij aan dat dit type specifieke klachten ook bij allerlei ‘syndromen’ voorkomt. Het advies *Ongerustheid over lokale milieufactoren* van de Gezondheidsraad gaat hier dieper op in (GR01).

In een recenter, meer gestructureerd onderzoek in Zweden en Noorwegen onder 17.000 personen die beroepsmatig gebruik maken van een mobiele telefoon, zijn vergelijkbare klachten gerapporteerd als in de publicatie van Hocking (Oft00, San01). Het gaat echter ook in dit onderzoek om een subjectieve rapportage van klachten en het onderzoek is niet onder gecontroleerde omstandigheden uitgevoerd, hetgeen de wetenschappelijke waarde van de gegevens beperkt. Juist omdat het gaat om subjectieve klachten, is het goed denkbaar dat deze, in de niet-experimentele opzet van het onderzoek, achteraf ten onrechte aan het gebruik van een mobiele telefoon zijn toegeschreven. Er kunnen daarom op grond van dit onderzoek geen conclusies getrokken worden over het mogelijk bestaan van een oorzakelijk verband.

Circa 31% van de Noorse en 13% van de Zweedse bellers had ooit wel eens minstens een van de symptomen ervaren.<sup>a</sup> Dit kwam relatief vaker voor bij gebruikers van een NMT-telefoon dan bij degenen die belden met een GSM toestel. Er was een duidelijke relatie met de gemiddelde lengte van de gesprekken en het aantal gesprekken, maar er is daarbij niet gecorrigeerd voor leeftijd of duur van het gebruik van de telefoon. Bovendien bleek er ook een verband te bestaan tussen klachten die aan mobiele telefoons werden toegeschreven en klachten die samenhangen met werken achter een computermonitor (met uitzondering van klachten van warmtesensatie). Circa 4% van de onderzochten had een arts geraadpleegd in verband met de symptomen en 45% had zelf maatregelen genomen om de klachten te verminderen (doorgaans vermindering van de gespreksduur, afwisseling van de kant van het hoofd waar de telefoon gehouden wordt of gebruik van een *handsfree set*). De onderzoekers concluderen dat dit er weliswaar op wijst dat men de symptomen ook daadwerkelijk voelt, maar dat de uitkomsten er niet noodzakelijkerwijs op duiden dat zij een ernstig gezondheidsprobleem vormen.

De commissie meent echter dat degenen die klachten hebben, dat wel een als een gezondheidsprobleem ervaren. Dat rechtvaardigt onderzoek naar de oorzaak van die klachten. Daarbij is het uiteraard in eerste instantie van belang om na te gaan of zij worden veroorzaakt door de elektromagnetische velden die afkomstig zijn van de mobiele telefoon. Uit het Permanent Onderzoek Leefsituatie (POLS) van het CBS

---

<sup>a</sup> De commissie twijfelt aan de representativiteit en daarmee de directe vergelijkbaarheid van de steekproeven in beide landen. De auteurs geven aan dat er in de Noorse groep bij degenen die aan het onderzoek mee wilden werken (responders) een hoger percentage klachten voorkwam dan bij de non-responders (waarvan een deel later in een non-respons analyse alsnog is ondervraagd). Bij de Zweedse groep was dat verschil niet aanwezig. Bovendien waren er verschillen in leeftijdsverdeling en het gebruik van een mobiele telefoon tussen de Noorse en Zweedse groepen.

---

blijkt dat klachten als hoofdpijn, vermoeidheid en duizeligheid veel onder de bevolking voorkomen. In 1999 rapporteerde 26% van een representatieve steekproef uit de Nederlandse bevolking hoofdpijn, 31% vermoeidheid en 10% duizeligheid (CBS99). De commissie vindt dat er in Nederland onderzoek dient te worden of ook bij blootstelling aan elektromagnetische velden onder gecontroleerde omstandigheden dit soort klachten op kan treden (provocatie-onderzoek), zowel bij mensen die klachten hebben gerapporteerd als bij klachtenvrije individuen.

Er is in de wetenschappelijke literatuur tot nu toe slechts één publicatie verschenen over een dergelijk provocatie-onderzoek. Koivisto (Koi01) stelde in twee afzonderlijke experimenten in totaal 96 vrijwilligers (waarvan er 85 in het bezit waren van een mobiele telefoon) bloot aan een signaal van een GSM-telefoon, de helft gedurende een uur en de ander helft gedurende 30 min. Direct voor, halverwege en direct na de blootstelling werd geïventariseerd of er subjectieve klachten zoals hoofdpijn, duizeligheid en vermoeidheid optraden. Bij deze groep gezonde vrijwilligers, die geen klachten hadden voor aanvang van het experiment, was er geen invloed van de blootstelling op het vóórkomen van deze symptomen.

Chia (Chi00) onderzocht bij 808 bewoners van een wijk in Singapore het optreden van gezondheidsklachten in relatie tot het gebruik van een digitale mobiele telefoon. Het onderzoek vond plaats door middel van interviews met vragenlijsten. Het werd gepresenteerd als een onderzoek naar hoofdpijnklahten, waarbij ook naar andere, aan het functioneren van de hersenen gerelateerde klachten werd gevraagd en – als laatste – ook naar het gebruik van mobiele telefoons. Bij gebruikers van een mobiele telefoon (gedefinieerd als degenen die gemiddeld één keer per dag een mobiele telefoon gebruiken), kwam hoofdpijn significant vaker voor dan bij de controlegroep en was er een trend van meer klachten bij langer bellen. Voor alle andere onderzochte klachten werd geen verband met mobiel bellen gevonden. Het gebruik van een *handsfree* set was gerelateerd aan een minder voorkomen van hoofdpijnklahten.

De commissie tekent hierbij aan dat dit onderzoek een niet-experimentele opzet heeft en dat bovendien het percentage deelnemers (45% van de benaderde personen) laag is. Daarnaast is er geen scherp onderscheid gemaakt tussen de gebruikers van een mobiele telefoon en de controlegroep. Dat alles beperkt de waarde van de resultaten.

Cox & Luxton (Cox00) maken melding van een (niet nader genoemd) aantal gebruikers van mobiele telefoons met specifieke klachten in Engeland. Zij suggereren dat symptomen als duizeligheid, misselijkheid en hoofdpijn wellicht het gevolg zijn van eenzijdige beïnvloeding van het evenwichtsorgaan in het middenoor door de elektromagnetische velden van de telefoon. De commissie vindt dit een interessante

---

gedachte en meent dat nader onderzoek hiernaar gerechtvaardigd is. Uit een analyse van de literatuur blijkt overigens dat er geen gegevens zijn over directe of indirecte stimulatie van (onderdelen van) het evenwichtsorgaan door elektromagnetische velden (zie bijlage D). Wel is bekend dat temperatuurverschillen kunnen leiden tot stimulatie van het evenwichtsorgaan. Als dit eenzijdig optreedt, kunnen zich klachten voordoen die bij bewegingsziekte horen, zoals duizeligheid en misselijkheid (zie bijlage D). Dit effect is gevonden bij experimenten waarbij het evenwichtsorgaan eenzijdig wordt afgekoeld. Hoewel ook temperatuurstijging leidt tot prikkeling van het evenwichtsorgaan is het niet duidelijk of dit in dezelfde mate tot klachten leidt en bij welke temperatuurstijging de prikkeling gaat optreden..

De commissie concludeert dat op grond van deze onderzoeken naar algemene gezondheidsproblemen en –klachten geen gevolgtrekkingen gemaakt kunnen worden met betrekking tot een oorzakelijk verband met het gebruik van een mobiele telefoon. De belangrijkste redenen daarvoor zijn de niet-experimentele opzet van de onderzoeken, de doorgaans hoge percentages niet-deelname en het veelal ontbreken van inzicht in de populatiekenmerken van de niet-deelnemers. Geen van de onderzoeken afzonderlijk, noch het totaal, voldoet aan de criteria voor het vaststellen van effecten die de commissie in 1.4 heeft gegeven. Daarnaast zijn de onderzochte gezondheidseffecten ook nog van zeer algemene aard: zij kunnen door allerlei oorzaken ontstaan.

---

### **5.3 Neurologische effecten**

In diverse onderzoeken is gekeken of blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van een mobiele telefoon invloed kan hebben op bepaalde hersenfuncties. Het gaat hierbij steeds om kortdurende blootstelling en om kortetermijneffecten.

---

#### **5.3.1 Cognitieve functies**

Preece (Pre99) onderzocht cognitieve functies zoals (kortetermijn) geheugen en reactiesnelheid bij gezonde proefpersonen die blootgesteld werden aan 915 MHz-velden van een gesimuleerde GSM-telefoon. De telefoon werd bevestigd in de gebruikelijke positie en gaf of geen signaal af, of alleen een continu 915 MHz-sigitaal, of een 217 Hz-gemoduleerd 915 MHz-veld. Dat laatste komt overeen met het GSM-sigitaal. Na twee oefensessies werden de proefpersonen getest met de drie testcondities, die in een willekeurige volgorde werden aangeboden. De sessies bestonden uit het afwerken van een serie van 15 verschillende tests met behulp van een computer. Een

---

uitgebreide analyse van alle variabelen gaf aan dat alleen bij aanbidding van het continue signaal er in één van de 15 tests, een meting van de reactiesnelheid, een kleine maar significante verhoging optrad.

Omdat het gevonden effect niet bij het GSM-signaal, maar alleen bij het continue elektromagnetische veld optreedt is de commissie van mening dat de betekenis voor de huidige mobiele telefonie verwaarloosbaar is. In algemene zin is het wel zo, dat als het effect echt is en geen toevallig fout-positief resultaat, dat er op duidt dat een directe invloed van elektromagnetische velden op hersenactiviteit mogelijk is. Die zou dan bij een continu veld groter zijn dan bij een gepulst signaal. Een alternatief is de thermische belasting, die bij het continue veld 8x hoger is dan bij het gepulste. In hoofdstuk 4 heeft de commissie aangegeven dat de temperatuurstijging in de hersenen ten gevolge van blootstelling aan een GSM-signaal niet meer is dan  $0,12^{\circ}\text{C}$ . De temperatuurstijging bij een continu signaal zou dan maximaal circa  $1^{\circ}\text{C}$  zijn. Dit zou wellicht invloed kunnen hebben op neuronale prikkeloverdracht.

Koivisto (Koi00) voerde een vergelijkbaar onderzoek uit aan 48 gezonde volwassen vrijwilligers. Een serie van 12 verschillende tests voor reactietijd werd uitgevoerd onder aanwezigheid van een mobiele telefoon in de gebruikelijke positie. Deze gaf een 905 MHz, 217 Hz-gepulst GSM-signaal af. Getest werd met en zonder signaal. Bij twee van de tests werd een geringe toename van de reactiesnelheid gevonden en bij een andere test een kleine afname van de rekensnelheid. De statistische verwerking van de gegevens roept echter nogal wat twijfels op aan de waarde van deze uitkomst. Het is in de ogen van de commissie niet juist om tests die meer dan twee standaarddeviaties van het gemiddelde van een proefpersoon liggen uit te sluiten van de analyse. Zeker wanneer geen informatie wordt verstrekt hoeveel gevallen dit betreft, valt niet na te gaan hoe betrouwbaar de conclusies zijn. Bovendien is het ook opvallend dat de resultaten niet in overeenstemming zijn met die van Preece.

Krause (Kra00) onderzocht de invloed van blootstelling aan een 905 MHz, 217 Hz gepulst, GSM-signaal op de elektrische activiteit in de hersenen tijdens een geheugentest. Het EEG werd onderverdeeld in 4 frequentiegebieden: 4-6 Hz, 6-8 Hz, 8-10 Hz en 10-12 Hz. Sets van vier woorden werden aangeboden en twee seconden later werd van een vijfde woord gevraagd aan te geven of het in de serie voorkwam. In alle frequentiegebieden werden veranderingen waargenomen in hersenactiviteit als functie van de tijdsduur, maar alleen in het tweede deel van de test, dat wil zeggen tijdens de herinneringsfase. Bij 4-6 Hz was dat een vermindering van de activiteit, in de andere frequentiegebieden eerst een verhoging en later een vermindering. Volgens de auteurs duidt een en ander op een lichte versnelling van de uitvoering van de mentale taak.

In Hong Kong vergeleek Lee (Lee01) twee groepen scholieren die wel of niet een mobiele telefoon gebruikten. De telefoongebruikers scoorden in een van de drie

uitgevoerde tests naar aandacht en concentratie beter dan hun leeftijdsgenoten zonder telefoon. De auteurs speculeren dat dit verklaard zou kunnen worden door de invloed van de hersenen door de elektromagnetische velden van de telefoons, maar ook door een intrinsiek verschil tussen de twee groepen (die overigens op allerlei sociale en intelligentie-criteria goed overeenkwamen). Het betreft hier echter een niet-experimenteel opgezet onderzoek. De commissie heeft in 5.2 al aangegeven dat de bewijskracht van dergelijke onderzoeken voor een oorzaak-gevolg relatie beperkt is.

De commissie concludeert dat onder bepaalde omstandigheden een invloed van elektromagnetische velden op hersenactiviteit mogelijk lijkt. Het betreft echter uiterst geringe en omkeerbare biologische effecten, die voor het merendeel ook nog als positief beschouwd zouden kunnen worden. Ze zijn zeker niet te beschouwen als voor de gezondheid schadelijke effecten.

Er zijn diverse onderzoeken verricht naar de invloed van blootstelling aan gepulste radiofrequente elektromagnetische velden op het leergedrag van proefdieren. In een aantal daarvan is alleen een effect gevonden bij SAR-waarden die gepaard gingen met een verhoging van de lichaamstemperatuur van circa 1°C (zie IEG00). In twee onderzoeken van Lai is echter een effect gevonden bij een veel lagere SAR.

Blootstelling van ratten aan 2,45 GHz in 2 µs pulsen, 500 per seconde, met een SAR van 0,6 W/kg, gedurende 45 minuten per dag op 10 opeenvolgende dagen, leidde tot een dagelijks toenemend aantal fouten in een voedselzoektest (Lai94). Blootstelling gedurende 20 min per dag aan hetzelfde regime resulteerde in een afname van het aantal fouten in de eerste twee dagen, maar over de gehele testperiode bezien geen effect (Lai89).

Blootstelling aan hetzelfde veldpatroon, maar met een twee maal hogere SAR van 1,2 W/kg, gedurende 2 x 60 minuten op drie achtereenvolgende dagen, leidde tot een afname van de efficiëntie van het zoekgedrag in een test waarin een onderwaterplatform gevonden moest worden (Wan00). Er is gesuggereerd dat de energie per puls, berekend op 2,4 mJ/kg, hoog genoeg zou zijn om te leiden tot het 'horen' van de elektromagnetische velden (GR97, IEG00). Dat zou in dat geval een versturende factor zijn in de analyse van dit experiment.

Sienkiewicz (Sie00) onderzocht in een vergelijkbare testopstelling als die van Lai (Lai89, Lai94), maar bij een veel lagere SAR van 0,05 W/kg, het voedselzoekgedrag van muizen onder invloed van blootstelling aan een mobiele-telefoonsignaal (900 MHz, 576 µs puls, 217 pulsen per seconde (217 Hz), gedurende 45 minuten per dag en 10 dagen). Hierbij werd geen effect waargenomen.

De commissie concludeert dat deze experimenten geen eenduidig beeld geven van een mogelijk effect van blootstelling aan gepulste elektromagnetische velden bij relatief lage SAR-waardes op het leergedrag van knaagdieren. Het voor de vergelijking met gebruikers van mobiele telefoons meest representatieve experiment, dat van Sienkiewicz (Sie00), geeft weliswaar geen effecten te zien, maar de commissie acht dit soort experimenten toch niet geschikt om een effect van mobiel telefoneren op het leervermogen van de mens aan te tonen. Daarvoor zijn experimenten met vrijwilligers, zoals eerder beschreven, veel meer geëigend.

De conclusie van de commissie is, dat de beschikbare gegevens er niet op duiden dat cognitieve vermogens, ook bij frequent gebruik van een mobiele telefoon, negatief beïnvloed worden. Er zijn echter nog veel vragen en onduidelijkheden, en daarom doet de commissie in dit advies voorstellen voor nader onderzoek.

---

### 5.3.2 Slaap

Aan de universiteiten van Mainz en Zürich wordt onderzoek gedaan naar de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van GSM-telefoons, op slaap en op hersenactiviteit tijdens slaap.

In Mainz werden slapende gezonde vrijwilligers blootgesteld aan een  $0,5 \text{ W/m}^2$  sterk elektromagnetisch veld afkomstig van een GSM-telefoon (Man96). Na een gewenningsnacht volgden twee experimentele nachten, waarin blootstelling willekeurig in de eerste of tweede nacht plaats had. De tijd voordat de proefpersonen in slaap vielen was tijdens de blootstelling aanmerkelijk korter dan in de controlenacht. Ook was tijdens blootstelling de totale tijd van REM (*Rapid Eye Movement*)-slaap korter, terwijl de intensiteit van de natuurlijke hersenactiviteit tijdens de REM-slaap toenam. De proefpersonen waren niet minder of beter uitgerust na blootstelling, maar voelden zich de volgende dag wel rustiger en energiekeker.

In een vervolgonderzoek met dezelfde opzet werd een vermogensdichtheid van  $0,2 \text{ W/m}^2$  toegepast, afkomstig van een antenne, waardoor een homogener veld ter plaatse van het hoofd verkregen werd (Wag98). De SAR werd berekend op  $0,3 \text{ W/kg}$  op de kruin en een maximum van  $0,6 \text{ W/kg}$  achterin de nek. Onder deze omstandigheden was er geen noemenswaardig verschil in de tijd tot in slaap vallen tussen blootstellings- en controlenacht. Evenmin was er een verschil in totale tijd van de REM-slaap en in hersenactiviteit.

In een tweede vervolgonderzoek werden 20 vrijwilligers blootgesteld aan een vermogensdichtheid van  $50 \text{ W/m}^2$ , overeenkomend met een maximale SAR van  $1,8 \text{ W/kg}$  (Wag00). De opzet was hetzelfde als in het vorige onderzoek (Wag98), alleen

doorliepen de proefpersonen nu twee testsessies, met minimaal een week daartussen. In dit onderzoek werd voor geen enkele van de onderzochte parameters een verschil gevonden tussen de blootstellings- en controlenacht. De auteurs geven als mogelijke verklaring dat in het eerste onderzoek (Man96), waarin de meest uitgesproken effecten werden gevonden, het elektromagnetisch veld lineair gepolariseerd was, terwijl in de vervolgonderzoeken een cirkelvormige polarisatie werd toegepast. De commissie vindt dat, op grond van dit en andere verschillen, de onderzoeken niet goed met elkaar te vergelijken zijn, maar afzonderlijk beoordeeld moeten worden. Niettemin is alleen in het eerste onderzoek een effect gevonden, dat tot op heden niet is gereproduceerd.

Borbély (Bor99) stelde 24 gezonde vrijwilligers in het slaaplaboratorium bloot aan een 900 MHz pseudo-GSM-signaal. Het belangrijkste verschil met het signaal afkomstig van een mobiele telefoon, was de *duty cycle*; deze was 87,5% i.p.v. 12,5% bij een telefoon (ofwel zeven tijdsloten in gebruik in plaats van één). De proefpersonen werden na een gewenningsnacht gedurende twee nachten onderzocht: één zonder en één met blootstelling; in het laatste geval stond de bron afwisselend 15 min aan en uit. De periode van nachtelijk ontwaken ten opzichte van de gewenningsnacht veranderde afhankelijk van de volgorde van de blootstellings- en controlenacht. Degenen die in de eerste nacht werden blootgesteld, werden minder vaak wakker en dat bleef zo tijdens de daaropvolgende controlenacht. Bij de andere groep nam het ontwaken tijdens de eerste (controle)nacht toe en verminderde in de blootstellingsnacht (tot het niveau van de eerste groep). Blootstelling lijkt dus een slaapbevorderend effect te hebben, maar de onverklaarde grote toename van ontwaken in de controlenacht van de tweede groep verhindert een goede beoordeling van het effect. Tijdens de blootstellingsnacht werden, onafhankelijk van de volgorde van blootstelling, kleine veranderingen in het EEG-spectrum tijdens de niet-REM gedeeltes van de slaap waargenomen.

Een tweede onderzoek van de groep uit Zürich richtte zich op de effecten op slaap van blootstelling vóór het in slaap vallen (Hub00). Blootstelling aan een GSM-signaal vond plaats aan de linker of de rechterzijde van het hoofd, met een gemiddelde SAR in de betreffende hersenhelft van 0,14 W/kg, gedurende 30 min. Tien minuten later werden de proefpersonen geacht te slapen. Deze experimenten vonden in de ochtend plaats, nadat de proefpersonen de voorgaande nacht slechts vier uur hadden geslapen. De controles volgden hetzelfde slaapregime, maar werden niet blootgesteld. Blootstelling had geen invloed op de tijd tot in slaap vallen, de lengte van de verschillende slaapstadia en de mate waarin de proefpersonen zich na afloop van de slaap uitgerust voelden. Het enige effect waren veranderingen in het EEG -spectrum tijdens de eerste 30 minuten van de niet-REM slaap. De conclusie is, dat blootstelling gedurende een half uur aan een elektromagnetisch veld dat overeenkomt met een GSM-

---

signaal, fysiologische veranderingen in de hersenen teweeg brengt die minimaal een half uur aanwezig blijven en tot meetbare veranderingen in het EEG leiden. Er was echter geen sprake van effecten op de gezondheid. Vergelijkbare veranderingen in het EEG spectrum als in beide experimenten gevonden, treden ook op als gevolg van cafeïnegebruik, hormonale schommelingen bij zwangerschap en tijdens de menstruele cyclus (Bru94, Dri96, Lan95).

De commissie concludeert dat de gegevens over effecten op de hersenen tijdens de slaap niet eenduidig zijn. Weliswaar zijn er effecten op het EEG-patroon waargenomen, maar bij de in Mainz uitgevoerde onderzoeken was dat tijdens de niet-REM fases, terwijl de effecten bij de onderzoeken in Zürich juist tijdens de REM-fases voorkwamen. Een relatie met toenemende veldsterkte is ook niet gevonden. Opvallend is het najleffect dat in het onderzoek van Huber is gevonden. Dat dient nader onderzocht te worden.

De commissie concludeert ook dat er op grond van deze bevindingen geen aanleiding is te veronderstellen dat de effecten tot gezondheidsproblemen leiden. Zij wijst er op dat vergelijkbare effecten ook gevonden zijn als gevolg van cafeïnegebruik en natuurlijke hormonale schommelingen. Wel zijn alle onderzoeken uitgevoerd met jonge gezonde vrijwilligers. Onderzocht zou moeten worden of mensen met bestaande slaap- of andere stoornissen wellicht gevoeliger zijn.

---

### 5.3.3 *Hersenactiviteit tijdens waken*

De onderzoeken naar hersenactiviteit bij niet-slapende proefpersonen laten evenmin een eenduidig beeld zien.

Röschke en Mann (Rös97) stelden proefpersonen bloot aan het elektromagnetisch veld afkomstig van een GSM-telefoon die zich op een afstand van 40 cm van de kruin bevond. Zij beschouwden dat ten onrechte als overeenkomend met normaal gebruik. In werkelijkheid gaat het hier om blootstelling in het verre veld. De veldsterkte op 40 cm was  $0,5 \text{ W/m}^2$ , dus gelijk aan die in hun eerste slaap-experiment (Man96) waarin zij effecten vonden. Tijdens de blootstelling, die 3,5 min duurde als simulatie van een telefoongesprek, werden geen veranderingen in het EEG gedetecteerd.

Eulitz (Eul98) onderzocht bij proefpersonen het EEG tijdens de reactie op een akoestisch signaal. Een GSM-telefoon was in de gebruikelijke positie aan het hoofd bevestigd en kon op afstand en zonder dat dat merkbaar was, geactiveerd worden. Het piek zendvermogen was 2,8 W, de effectieve zendvermogen daarmee 0,35 W. Er werd geen invloed van de blootstelling gevonden op het gemiddelde EEG. Alleen in een

---

specifieke frequentieband (18,75 – 31,25 Hz) waren geringe verstoringen meetbaar. Deze traden vooral op in de hersenhelft die het dichtst bij de telefoon lag.

Freude (Fre00) gebruikte dezelfde proefopzet om specifieke aspecten van de hersenactiviteit tijdens het uitvoeren van bepaalde reactietesten te meten. Eén van de taken was gericht op het meten van zogenoemde langzame hersenpotentialen, activiteiten die vooraf gaan aan het uitvoeren van willekeurige bewegingen en die te maken hebben met de verwerking van informatie door de hersenen. Blootstelling leidde tot een geringe vermindering van de sterkte van die langzame hersenpotentialen, met name in de delen van de hersenen die het dichtst bij de telefoon lagen. Desondanks kon bij geen van de drie taken een invloed van blootstelling op de uitvoering worden vastgesteld.

De commissie concludeert uit deze gegevens dat het in beginsel mogelijk is dat het elektromagnetisch veld afkomstig van een mobiele telefoon invloed heeft op bepaalde hersenactiviteiten. Het gaat daarbij dan met name om die delen van de hersenen die het dichtst bij de telefoon liggen en om uiterst subtiele veranderingen die uitsluitend met gevoelige apparatuur te meten zijn. Er zijn geen aanwijzingen dat de gemeten veranderingen ook na beëindiging van de blootstelling nog voortduren. Zij hadden geen invloed op de uitvoering van opgedragen taken, en evenmin op de gezondheidstoestand van de proefpersonen. Het zou interessant zijn om na te gaan in hoeverre de gevonden effecten ook optreden als gevolg van andere factoren, zoals hierboven aangegeven voor de veranderingen in het EEG tijdens de slaap.

---

## 5.4 Kanker

Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden roept al langere tijd de vraag op of dit gepaard gaat met een verhoogde kans op het krijgen van kanker. De discussie van de afgelopen jaren over een mogelijke beïnvloeding van de gezondheid door het gebruik van mobiele telefoons is vooral op gang gekomen na de publiciteit in 1993 over de claim van een inwoner van Florida dat zijn vrouw een hersentumor had opgelopen ten gevolge van frequent gebruik van een mobiele telefoon. Er bleek toen verrassend weinig wetenschappelijke informatie te bestaan over specifiek deze wijze van blootstelling. Destijds bekende gegevens hadden uitsluitend betrekking op verzeeld situaties (bijvoorbeeld wonen of werken in de omgeving van een radio- en televisiezender of radarinstallatie), maar over regelmatige blootstelling in het nabije veld zoals bij een mobiele telefoon was niets concreets bekend. Dat betrof niet alleen langetermijneffecten, zoals kanker, maar ook kortetermijneffecten, die de commissie in de voorgaande paragrafen heeft besproken.

---

Omdat er vanuit de maatschappij in toenemende mate zorgen werden geuit over de veiligheid van mobiele telefoons, is op vele plaatsen in de wereld onderzoek opgezet. In de Verenigde Staten is door de telecommunicatie-industrie circa 27 miljoen dollar gestoken in een onderzoeksprogramma. Dat ging in 1994 van start en werd geleid door een onafhankelijke, speciaal daarvoor in het leven geroepen organisatie, *Wireless Technology Research* (Car00).

---

#### 5.4.1 Hersentumoren

Zoals aangegeven richtten de zorgen over de veiligheid van mobiele telefoons zich aanvankelijk vooral op de vraag of de elektromagnetische velden die door de antenne worden uitgezonden hersentumoren kunnen laten ontstaan of de groei ervan kunnen bevorderen. De afgelopen jaren zijn diverse epidemiologische onderzoeken gepubliceerd waarin is onderzocht of er een verband bestaat tussen het gebruik van een mobiele telefoon en het optreden van hersentumoren. Daarnaast zijn er dierexperimenten verricht.

Hardell (Har99) voerde een patiënt-controle onderzoek uit bij 209 patiënten met hersentumoren en 425 controles. Als alle hersentumoren tezamen werden beschouwd, was er geen verband tussen het gebruik van een mobiele telefoon en het optreden van een hersentumor. Dat gold zowel voor gebruikers van analoge telefoons als voor degenen die een digitale (GSM-)telefoon gebruikten. Bij een subcategorie van de patiënten met een tumor in de zijkant van de hersenen leken de tumoren vaker voor te komen aan de kant van het hoofd waar de telefoon doorgaans werd gehouden. Dat verband was echter niet significant en werd alleen gevonden bij gebruikers van een analoge telefoon.

De commissie tekent hierbij aan dat het niet zeker is of de herinnering van mensen met betrekking tot de kant van het hoofd waartegen men de telefoon houdt voldoende nauwkeurig is. Zij acht het ook waarschijnlijk dat men de telefoon niet altijd aan dezelfde kant van het hoofd houdt, maar dit afwisselt. Bovendien zouden met name patiënten hierover vertekend kunnen rapporteren als het doel van het onderzoek bekend is. Onderzoek naar deze zogenoemde lateraaliteit kan beter in een cohortonderzoek gedaan worden, omdat daarin de kant van het hoofd waar men de telefoon bij voorkeur houdt kan worden geregistreerd voordat er sprake is van een hersentumor, en dus ook zonder dat men af moet gaan op de herinnering van de gebruikers. De commissie vindt dat zonder nauwkeuriger en betrouwbaarder gegevens over lateraaliteit geen uitspraak gedaan kan worden over eventuele verbanden.

Muscat (Mus00) voerde van 1994 tot 1998 een patiënt-controle onderzoek uit bij 469 patiënten met een hersentumor en 422 controles. De gebruikte telefoons waren voornamelijk analoog. Indeling van de onderzoekspopulatie in 'ooit', 'weinig' of 'veel' gebruik van een mobiele telefoon liet tussen die categorieën geen verschil zien. Evenmin was er een verband tussen de duur van het gebruik en het optreden van hersentumoren. De gemiddelde duur van het gebruik van een mobiele telefoon was 2,8 jaar voor patiënten en 2,7 jaar bij de controles. Voor tumoren in de grote hersenen was er een zwakke, niet significante associatie tussen de hersenhelft waar de tumor zich bevond en de kant waar de telefoon gewoonlijk werd gehouden. Voor de subcategorie van tumoren in de temporale hersenlob (die aan de zijkant van het hoofd ligt en zich dus het dichtst bij de telefoon bevindt) was de verhouding echter tegenovergesteld: relatief meer tumoren bevonden zich aan de andere kant van het hoofd dan die waar de telefoon werd gehouden. Dit kan echter, gezien de kleine aantallen van die tumoren, ook op toeval berusten. Voor de verschillende histologische typen is alleen voor neuro-epitheliale tumoren een niet-significant verhoogd relatief risico gevonden (RR = 2,1; 95% betrouwbaarheidsinterval 0,9 – 4,7).

In een groter patiënt-controle onderzoek met een vergelijkbare opzet verzamelde Inskip (Ins01) over dezelfde periode als waarop het onderzoek van Muscat zich richtte, 1994-1998, gegevens van 782 patiënten en 799 controles. Ook in dit onderzoek werd geen verband gevonden tussen gebruik van een mobiele telefoon (naar het vermoeden van de auteurs voornamelijk van het analoge type) en het optreden van hersentumoren. Dat gold zowel voor het totaal als voor verschillende subtypen tumoren afzonderlijk. Voor neuro-epitheliale tumoren werd in dit onderzoek een relatief risico van 0,5 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,1 – 2,0) gevonden. Er was geen verband tussen de plaats van de tumor en de kant van het hoofd waar de telefoon gewoonlijk werd gehouden. Evenmin was er een verhoogd risico voor degenen die gemiddeld meer dan een uur per dag belden of voor degenen die gedurende 5 jaar of langer geregeld de telefoon gebruikten (respectievelijk 2,6% en 3,3% van het totaal aantal onderzochten).

Het meest recente onderzoek in deze reeks is een cohortstudie in Denemarken. Johansson (Joh01) volgde een groep van ruim 420 000 gebruikers van een mobiele telefoon in de periode 1982 - 1995. Gegevens over het optreden van tumoren werden verkregen uit de landelijke kankerregistratie. De kans op het krijgen van een hersentumor voor deze groep verschilde niet van die van de Deense bevolking in zijn geheel. Er werd geen relatie gevonden met de gemiddelde gespreksduur, de duur van de periode van telefoongebruik, de leeftijd bij aanvang van het gebruik en het type telefoon (analoog of digitaal). Dat gold zowel voor hersentumoren in het algemeen als voor de verschillende subtypes. De meeste mensen gebruikten de mobiele telefoon

echter nog niet zo lang: slechts zeven procent had gedurende meer dan twee jaar een abonnement.

De commissie maakt bij deze gegevens een aantal kanttekeningen. Ten eerste is het de vraag, of resultaten van gebruikers van analoge telefoons geëxtrapoleerd kunnen worden naar gebruikers van een digitale telefoon. Het onderzoek van Johansen wijst echter niet op verschillen tussen de twee groepen. Daarnaast is een belangrijke vraag of de tijd gedurende welke de telefoons in gebruik zijn wel lang genoeg is om enige invloed op de ontwikkeling van hersentumoren waar te nemen. Gebruik van mobiele telefoons door grote delen van de bevolking vindt pas sedert enkele jaren plaats. Inskip analyseerde de gegevens naar het jaar waarin men de telefoon begon te gebruiken. De indeling liep van vóór 1990 tot 1995-1998. Er was in geen enkel geval een verband tussen gebruiksduur en relatief risico. Ook Johansen vond geen verband tussen de tijd verstreken sinds men de telefoon begon te gebruiken, waarbij de hoogste categorie vijf jaar of langer was, en het optreden van tumoren. Maar in beide onderzoeken is het aantal personen in de categorie met het langste gebruik relatief laag. Er is thans een groot internationaal onderzoek gaande onder auspiciën van het *International Agency for the Research on Cancer (IARC)*, waarin de mogelijke relatie tussen het gebruik van een (digitale) mobiele telefoon en het optreden van tumoren in het hoofd-halsgebied wordt onderzocht (Car99). De eerste resultaten van dat onderzoek worden niet voor 2003 verwacht.

Het ontbreken van een verband tussen blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons en het optreden van hersentumoren, zoals uit bovenstaande epidemiologische studies naar voren komt, wordt onderbouwd door gegevens uit proefdieronderzoeken.

Adey (Ade99, Ade00) stelde in een twee jaar durend experiment ratten gedurende 4 uur per dag en 5 dagen per week bloot aan elektromagnetische velden met een signaalvorm zoals in gebruik bij mobiele telefonie in de VS. De SAR in de hersenen was 1,1 – 1,6 W/kg. Er werd geen effect gevonden op het optreden van spontane en chemisch geïnduceerde hersentumoren.

Zook (Zoo01) stelde in een eveneens twee jaar durende experiment ratten bloot aan een mobiele-telefoonsignaal gedurende 6 uur per dag en 5 dagen per week, met een SAR in de hersenen van 1 W/kg. Ook zij vonden geen effect op chemisch geïnduceerde tumoren

Higashikubo (Hig99) onderzocht het effect van twee verschillende Amerikaanse mobiele-telefoonsignalen op geïmplanteerde 9L hersentumoren. Blootstelling resulteerde in een SAR van circa 0,75 W/kg in de hersenen en vond plaats gedurende 4

uur per dag en 5 dagen per week, van 4 weken voor tot 150 dagen na implantatie. Er werd geen effect gevonden.

Salford (Sal93) stelde ratten gedurende 2 – 3 weken (7 uur per dag en 5 dagen per week) bloot aan een 915 MHz, FM-gemoduleerd veld. De SAR in de hersenen bedroeg maximaal 8,3 W/kg. Er werd geen effect gevonden op hersentumoren die vijf dagen voor het begin van deze blootstelling waren geïmplanteerd.

Een aparte vermelding verdient hier nog het onderzoek van Lai (Lai95, Lai96), die bij blootstelling van ratten aan een continu of gepulst 2450 MHz veld gedurende 2 uur, resulterend in een SAR van 0,5 of 2,0 W/kg in de hersenen, een toename vond van het aantal breuken in het DNA in hersenweefsel in vergelijking met niet-blootgestelde ratten. Dit resultaat wordt vaak aangehaald als argument ter onderbouwing van de stelling dat radiofrequente elektromagnetische velden kanker kunnen veroorzaken.

Door anderen is zonder succes getracht deze bevindingen te reproduceren (Mal97, Mal98). Er is geopperd dat de wijze van euthanaseren van de dieren artefacten zou kunnen hebben veroorzaakt (Mal98), terwijl ook de techniek die voor het detecteren van DNA breuken door Lai is gebruikt daarvan de oorzaak zou kunnen zijn (Mal97, Mal98, Vija00).

De commissie vindt het zeer waarschijnlijk dat de bevindingen van Lai berusten op onvolkomenheden in de experimentele procedures.

---

#### 5.4.2 *Overige vormen van kanker*

Zoals hierboven aangegeven, heeft het onderzoek naar de mogelijke invloed van mobiele telefonie op de ontwikkeling van kanker zich vooral gericht op hersentumoren. Andere vormen van kanker zijn in slechts twee epidemiologische onderzoeken bestudeerd, die echter door hun niet-optimale opzet slechts een beperkte zeggingskracht hebben.

Dreyer (Dre99) onderzocht de sterfte onder gebruikers van een mobiele telefoon. Er werden twee groepen onderscheiden: gebruikers van een draagbaar analoog toestel en gebruikers van een (vaste) autotelefoon. Aan de hand van informatie van de telefoonmaatschappijen werd informatie over het belgedrag verkregen en deze werd gekoppeld aan het sterfteregister dat ook gegevens over de doodsoorzaak bevat. Er was geen verschil in sterfte met als oorzaken kanker in het algemeen, hersentumoren, leukemie of hart- en vaatziekten tussen beide groepen. Evenmin was er een effect van de gemiddelde gespreksduur (mediaan 0,8 min per dag versus 5,0 min per dag) of de periode van gebruik (mediaan 1,6 jaar versus 3,8 jaar). De belangrijkste beperkingen

---

van dit onderzoek zijn de korte follow-up periode en het kleine aantal sterfgevallen met als diagnose hersentumoren of leukemie (respectievelijk 6 en 15 op een totaal van 765).

Employees van fabrikanten van mobiele telefoons kunnen tijdens hun werk blootgesteld worden aan radiofrequente elektromagnetische velden van de apparatuur die zij fabriceren. Morgan (Mor00) onderzocht sterfte ten gevolge van hersentumoren, lymfomen, leukemie en diverse andere ziekten onder het personeel van Motorola. De blootstelling werd geschat aan de hand van de beroepsomschrijving. Noch voor de onderzochte populatie in zijn geheel, noch voor subgroepen met een geschatte relatief hoge blootstelling was het sterfpatroon voor elk van de onderzochte oorzaken afwijkend van dat van controlegroepen.

Van meer belang is in dit geval het proefdieronderzoek.

Chagnaud (Cha99) stelde ratten bloot aan een 900 MHz GSM-signaal, 2 uur per dag gedurende twee weken, met een over het lichaam gemiddelde SAR van 0,075 of 0,27 W/kg. Deze behandeling had geen effect op de ontwikkeling van door benzo(a)pyreen geïnduceerde mammatumoren.

Levertumoren kunnen in een rat worden opgewekt door het inspuiten van diethylnitrosourea, gevolgd door verwijdering van een deel van de lever. Met deze techniek onderzocht Imaida (Ima98a, Ima98b) de effecten van blootstelling van de lever aan het type 930 MHz of 1,5 GHz velden dat in Japan voor mobiele telefonie wordt gebruikt. Blootstelling vond plaats gedurende 1,5 uur per dag, 5 dagen per week en 6 weken en de SAR in de lever was maximaal 2 W/kg. Er was geen sprake van enige invloed van de blootstelling op carcinogenese.

In een muizenstam die zodanig genetisch gemodificeerd is dat er spontaan lymfekliertumoren ontstaan, onderzocht Repacholi (Rep97) de invloed van blootstelling aan een 900 MHz GSM-signaal. De blootstelling vond plaats gedurende 18 maanden, 30 minuten per dag. Het *overall* effect van de behandeling was een verdubbeling van het aantal tumoren. De dosimetrie van dit onderzoek is echter nogal problematisch: de gemiddelde SAR varieerde van 0,13 tot 4,2 W/kg, omdat de dieren zich vrij door hun kooi konden bewegen. Hierdoor is een eventuele dosis-effect relatie niet vast te stellen. Het onderzoek wordt thans in twee onafhankelijke laboratoria herhaald, onder beter gedefinieerde experimentele omstandigheden.

Verscheidene auteurs hebben het effect op tumorgroei van blootstelling aan elektromagnetische velden met andere dan bij mobiele telefonie gebruikte frequenties onderzocht (Cho92, Fre98a, Fre98b, San88, Tol97, Wu94). In alle gevallen betrof het langdurige blootstelling aan lage veldsterktes, en werden geen effecten gevonden.

---

### 5.4.3 Conclusies

De commissie concludeert dat de resultaten van het epidemiologisch onderzoek geen aanwijzingen leveren voor het bestaan van een relatie tussen het gebruik van een mobiele telefoon en het op relatief korte termijn optreden van hersentumoren of andere vormen van kanker. Onderzoek met proefdieren ondersteunt deze conclusie. Alleen in het onderzoek van Repacholi (Rep97) is een effect gevonden. Zoals aangegeven, was de opzet van dat onderzoek echter niet zodanig, dat duidelijke conclusies getrokken kunnen worden. Het is bovendien twijfelachtig, of een muizenstam die ten gevolge van een genetische mutatie een hoge spontane incidentie van tumoren vertoont, wel een goed model is voor de mens.

In dit advies heeft de commissie geen *in vitro* onderzoek naar mogelijke inductie van kanker behandeld. Zij is van mening dat hieruit geen aanwijzingen naar voren zijn gekomen voor een mogelijke invloed van blootstelling aan elektromagnetische velden op het ontstaan of de ontwikkeling van kanker. Voor een recent overzicht van de stand van zaken verwijst zij naar het rapport van de IEGMP (IEG00).

De commissie wijst er op dat tumoren bij de mens vaak pas na een latentietijd van enkele tot soms tientallen jaren manifest worden. Mobiele telefoons, met name de digitale, zoals GSM's, zijn pas enkele jaren door grote aantallen personen in gebruik. Het is daarom volgens de commissie noodzakelijk dat er nader onderzoek verricht wordt, zowel epidemiologisch onderzoek als onderzoek aan proefdieren. Het internationale onderzoek naar een relatie tussen mobiele-telefoongebruik en het vóórkomen van tumoren in het hoofd-halsgebied, dat thans plaats vindt onder auspiciën van het IARC (Car99), is een belangrijk project dat over enkele jaren meer inzicht zal geven.

---

## 5.5 Overige effecten

---

### 5.5.1 Hart en bloedvaten

Mann onderzocht de invloed van blootstelling aan het elektromagnetisch veld van een mobiele telefoon op natuurlijke variaties in het hartritme tijdens de slaap (Man98). De opzet van het onderzoek was gelijk aan dat naar de effecten op de hersenactiviteit tijdens de slaap (zie 5.3.2). De maximale veldsterkte was  $0,5 \text{ W/m}^2$ . Een dergelijke blootstelling bleek geen invloed te hebben op de natuurlijke hartritmevariaties.

Een onderzoek dat veel geciteerd wordt door mensen die allerlei gezondheidsklachten toeschrijven aan elektromagnetische velden is dat waarin Braune een invloed vond op

---

de bloeddruk (Bra98). In een commentaar werd al gewezen op de beperkte zeggingskracht van dit onderzoek, vanwege het geringe aantal van tien proefpersonen (Rei98). Onlangs hebben de oorspronkelijke auteurs echter gemeld dat hun resultaten verklaard dienen te worden door een directe invloed van het elektromagnetische veld op de meetapparatuur en dus niet wijzen op een fysiologisch effect (MWN01).

De commissie concludeert dat er geen aanwijzingen zijn voor effecten op het cardiovasculaire systeem.

---

### 5.5.2 *Melatonine en andere hormonen*

Mann (Man98) stelde gezonde vrijwilligers tijdens de slaap bloot aan een 900 MHz GSM-sigitaal met een vermogensdichtheid van  $0,2 \text{ W/m}^2$  (zie 5.3.2). Elke 20 minuten werd bloed afgenomen en werden de concentraties groeihormoon, cortisol, luteïniserend hormoon en melatonine bepaald. Er werd alleen een verandering in cortisolgehalte gevonden. Dit nam in het eerste uur van de blootstelling licht toe, maar zakte daarna weer af naar de controlewaarde. De auteurs beschouwen dit als een aanpassing van het organisme aan het signaal.

Radon (Rad01) bepaalde in het speeksel van proefpersonen de concentratie van diverse hormonen, onder meer melatonine en cortisol. Blootstelling vond plaats aan een GSM-sigitaal met een vermogensdichtheid van  $1 \text{ W/m}^2$ , resulterend in een maximum SAR van  $0,025 \text{ W/kg}$  in het hoofd, gedurende vier uur. Vanwege de variaties in hormoonspiegels over de dag, vond blootstelling zowel overdag als 's nachts plaats. Bij geen van de onderzochte hormonen had blootstelling een invloed op de concentratie in speeksel.

De Sèze (DeS99) onderzocht het effect van blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van GSM-telefoons op het melatoninegehalte in bloed. Proefpersonen werden gedurende 2 uur per dag, vijf dagen per week en vier weken blootgesteld aan de velden afkomstig van een 900 MHz of 1800 MHz telefoon, die op maximaal vermogen werkte. De maximale SAR aan de kant van het hoofd waar de telefoon werd gehouden was  $0,1 - 0,3 \text{ W/kg}$ . Er werd vier maal gedurende 24 uur met intervallen van 1 tot 3 uur bloed afgenomen, voor, tijdens en na de periode van blootstelling. Op geen van deze meetpunten is een afwijking in de dagelijkse variaties in het melatoninegehalte gevonden.

De onderzoeken die met proefdieren zijn uitgevoerd, laten geen eenduidige effecten zien van elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons op hormoonspiegels.

Vollrath (Vol97) vond in ratten en hamsters geen effect op het melatoninegehalte na blootstelling gedurende 15 minuten tot zes uur aan 900 MHz-velden, met een SAR van 0,06 – 0,36 W/kg in de ratten en 0,04 W/kg in de hamsters.

Heikkinen (Hei99) stelde ratten bloot aan 900 MHz-velden afkomstig van een analoge telefoon, gedurende 1,5 uur per dag, 5 dagen per week en 17 maanden. De SAR was 1,5 W/kg (continu veld) of 0,35 W/kg (gepulst veld). De blootstellingen hadden geen effect op het melatoninegehalte van het bloed.

In het onderzoek naar de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons op de ontwikkeling van levertumoren (zie 5.4.2), stelde Imaida (Ima98a, Ima98b) ratten bloot aan 929 MHz met een SAR van 0,58 – 0,80 W/kg of 1439 MHz met een SAR van 0,45 – 0,68 W/kg, gedurende 90 min per dag, 5 dagen per week en 6 weken. In de blootgestelde dieren waren corticosteron-, ACTH- en melatoninegehalten ten opzichte van de waardes in gesimuleerd blootgestelde dieren verhoogd. Dit was echter niet steeds het geval ten opzichte van onbehandelde controles. Bovendien was er een factor twee verschil tussen de melatoninewaarden in beide experimenten.

De conclusie van de commissie is, dat er geen eenduidige aanwijzingen zijn dat blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons een effect heeft op hormoonspiegels.

---

### 5.5.3 *Bloed-hersenbarrière*

De bloed-hersenbarrière is een voor hoogmoleculaire stoffen, zoals eiwitten, vrijwel ondoordringbare laag tussen het bloedvatendotheel en het hersenweefsel. Lekkage van dergelijke stoffen kan tot ongewenste effecten in de hersenen aanleiding geven. Het is dus van belang dat de bloed-hersenbarrière intact blijft. In een aantal onderzoeken uit de jaren zeventig en tachtig lijkt een effect van blootstelling aan met name gepulste elektromagnetische velden op de permeabiliteit van de bloed-hersenbarrière voor sacchariden naar voren te komen (Alb79, Alb81, Osc77). In recenter onderzoek zijn deze effecten echter niet gereproduceerd (Gru82, Lin80, Mer78, Pre79, War82, War85).

In enkele recente onderzoeken uit Zweden is met behulp van histologische technieken gevonden dat er bij blootstelling van ratten aan 915 MHz elektromagnetische velden gedurende 2 – 960 min, vaker lekkage van het eiwit albumine door de bloed-hersenbarrière optreedt dan bij controledieren (Sal94, Per97). Het verschijnsel doet zich al voor bij extreem lage SAR waardes van rond 1 mW/kg en komt vaker voor bij blootstelling aan een continu veld dan bij blootstelling aan een

---

pulsgemoduleerd veld. Er is echter geen duidelijke dosis-effect relatie. De auteurs stellen, dat hun detectiemethode uiterst gevoelig is en dat het niet waarschijnlijk is dat de zeer kleine effecten tot gezondheidsschade leiden. Die conclusie wordt onderschreven door Fritze, die in vergelijkbaar onderzoek na blootstelling gedurende 4 uur alleen bij een SAR van 7,5 W/kg significant meer albuminelekkage vond (Fri97). Bij blootstelling aan 1439 MHz velden gedurende een veel langere periode, 2 tot 4 weken, en een SAR van 2 W/kg vond Tsurita geen inductie van lekkage van albumine door de bloed-hersenbarrière (Tsu00).

De commissie concludeert dat, aangezien de aanvankelijk gevonden effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de bloed-hersenbarrière niet gereproduceerd konden worden, dergelijke effecten niet zijn aangetoond.

---

#### 5.5.4 *Immuunsysteem*

Er zijn slechts zeer weinig wetenschappelijke gegevens over mogelijke effecten van elektromagnetische velden op het functioneren van het immuunsysteem. In een recent onderzoek vergeleek Boscolo (Bos01) vrouwen die in de nabijheid van radio- en televisiezenders woonden (gemiddelde elektrische veldsterkte  $4,3 \pm 1,4$  V/m) met een controlegroep (gemiddelde elektrische veldsterkte  $< 1,8$  V/m). Bij de 'blootgestelde' groep waren bepaalde typen cellen van het afweersysteem ten opzichte van de controlegroep in aantal gereduceerd. Maar de auteurs geven als alternatieve verklaring dat de verandering in afweercellen ook via het zenuwstelsel bewerkstelligd kan worden. Het is niet duidelijk of dat dan een direct gevolg van de inwerking van de elektromagnetische velden kan zijn, of een psychosomatisch effect, veroorzaakt bijvoorbeeld door het wonen dichtbij de zenders. Ook is niet bekend wat de mogelijke gevolgen voor de gezondheid kunnen zijn.

In het in 5.5.2 al aangehaalde onderzoek van Radon (Rad01) is ook de invloed van blootstelling van het hoofd aan een GSM-signaal op het immuunsysteem onderzocht. Daarbij werd geen effect gedetecteerd.

Tuschl (Tus99) onderzocht immuunparameters in het bloed van fysiotherapeuten die bij het werken met diathermie-apparatuur blootgesteld waren aan veldsterktes die regelmatig hoger waren dan de blootstellingslimieten, en vond geen afwijkingen.

De commissie vindt dat er op grond van deze gegevens geen overtuigende aanwijzingen zijn voor het bestaan van een effect van elektromagnetische velden op het immuunsysteem.

---

---

## 5.6 Verschil tussen volwassene en kind

De Engelse overheid heeft onlangs, op geleide van aanbevelingen van de *International Expert Group on Mobile Phones* (IEGMP) (IEG00), in een brochure aangeraden dat kinderen tot circa 16 jaar zo weinig mogelijk gebruik zouden moeten maken van mobiele telefoons. De IEGMP spreekt het vermoeden uit dat kinderen, omdat zij nog in ontwikkeling zijn, gevoeliger zijn voor invloeden van elektromagnetische velden. De onderbouwing die daarvoor wordt gegeven is dat hersenweefsel van kinderen een hoger water- en ionengehalte heeft dan dat van volwassenen en daardoor een hogere geleidbaarheid. Het is in dit verband nuttig een korte beschouwing te wijden aan de vroege ontwikkeling van het menselijk hoofd en de hersenen.

Bij pasgeboren kinderen neemt het hoofd circa een kwart van de lichaamslengte in; bij volwassenen is dat ongeveer 10%. De groei van het hoofd vindt voornamelijk plaats gedurende de eerste decade van het leven. Daarna groeit, met name in de pubertijd, de rest van het lichaam sterk uit, waardoor de verhouding tussen hoofd en lichaam afneemt. De omtrek van het hoofd van een éénjarige is circa 84% van die van een volwassene. Bij een 7-jarige is dat 93-95% (Pra88). Die groei vindt vooral plaats in de schedel en de hersenen. Structuren zoals de inwendige delen van het gehoororgaan en de ogen groeien niet meer na de geboorte (Eis76). De dikte van de schedelbeenderen neemt in de eerst twaalf jaar na de geboorte vrijwel lineair toe, daarna zwakt de groei sterk af, om op circa 18-jarige leeftijd tot stilstand te komen (Koe95). Het water- en ionengehalte in de schedelbeenderen, en daarmee de geleidbaarheid, neemt in die periode af. Hierdoor, en door de diktegroei, neemt de barrièrewerking van de schedelbeenderen toe.

De groei van de hersenen is in het eerste levensjaar het gevolg van zowel een toename van het aantal hersencellen als van hun gewicht (Fei78). Na die tijd neemt alleen het gewicht van de cellen toe. Myelinisatie van de hersenen vindt vooral in de eerste twee levensjaren plaats (Kna95, Hol86). Dit heeft tot gevolg dat gedurende die vroege ontwikkelingsperiode er een afname plaatsvindt van het ionengehalte en daarmee van de elektrische geleidbaarheid van de hersenen, maar dat deze vervolgens vrijwel niet meer verandert.

Een recente publicatie beschrijft gemeten veranderingen in de dielektrische eigenschappen van diverse weefsels in de rat, vanaf de geboorte tot een leeftijd van 70 dagen (Pey01). Zowel de geleidbaarheid van hersenweefsel als die van de schedel nemen in die periode voortdurend af. Hoe en of deze gegevens naar de mens te extrapoleren zijn, is niet duidelijk.

---

In een modelmatig onderzoek heeft Schönborn (Sch98) voor blootstelling aan het elektromagnetisch veld afkomstig van een mobiele-telefoonantenne de SAR berekend voor drie verschillende, op MRI-scans gebaseerde, modellen van het hoofd: van een volwassene, een 3-jarig en een 7-jarig kind. Uit deze berekeningen bleek er tussen deze modellen geen verschil te bestaan in de absorptie van elektromagnetische velden, behalve dat uiteraard vanwege de wat kleinere afmetingen van de kinderhoofden de gemiddelde hoeveelheid geabsorbeerde energie per volume-eenheid wat hoger is dan bij een volwassene. In de berekeningen zijn echter voor alle leeftijden dezelfde dielektrische parameters gebruikt. Het is niet bekend wat de invloed is van het toepassen van een leeftijdsafhankelijke grootte van deze parameters, aangenomen dat er daarin tussen een leeftijd van 3 jaar en volwassenheid nog veranderingen optreden. De commissie verwacht echter dat die invloed binnen de onnauwkeurigheid van de huidige rekenmethoden valt (Nik00).

Er is, dit alles in aanmerking nemende, volgens de commissie geen reden om aan te bevelen het gebruik van mobiele telefoons door kinderen zoveel mogelijk te beperken.

---

## **5.7 Voorzorgsbeginsel**

De commissie vindt dat in de in dit hoofdstuk behandelde wetenschappelijke gegevens over niet-thermische effecten geen aanleiding geven om met aanroeping van het voorzorgsbeginsel de SAR-limieten voor blootstelling van lichaamsdelen lager vast te stellen dan thans het geval is.

## **Storing van medische apparatuur**

---

In toenemende mate wordt in de gezondheidszorg gebruik gemaakt van apparatuur die elektronische componenten bevat. Het gaat daarbij om apparatuur die in ziekenhuizen of thuis gebruikt wordt bij de bewaking of behandeling van patiënten, zoals hartbewakingsmonitoren, beademingsapparatuur, dialyse-apparaten en infuuspompen, om implanteerbare medische hulpmiddelen, zoals pacemakers en insulinepompjes, en om andersoortige medische hulpmiddelen, zoals elektrische rolstoelen, tilliften en hoog-laagbedden. Het is van belang, en dat geldt met name voor apparatuur die direct van levensbelang is, dat dergelijke toestellen onder alle omstandigheden ongestoord blijven functioneren. Is dit niet het geval, dan zou dat negatieve gevolgen voor de gezondheid kunnen hebben. Daarom besteedt de commissie hier aandacht aan mogelijke storing van dergelijke apparaten door elektromagnetische velden.

---

### **6.1 Richtlijnen en normen**

Elektromagnetische compatibiliteit (EMC) is het vermogen of de eigenschap van een elektrisch of elektronisch apparaat om bevredigend te functioneren in zijn elektromagnetische omgeving zonder zelf aan die omgeving ontoelaatbare stoorsignalen toe te voegen (IEC89). Ofwel: apparaten mogen niet storen en dienen zelf voldoende ongevoelig (immuun) te zijn voor storingen. Om enige zekerheid te hebben dat aan de immuniteitseis wordt voldaan, is in 1992 de EMC richtlijn 89/336/EEG van

---

de Europese gemeenschap van kracht geworden (REG89).<sup>a</sup> Op grond van deze richtlijn rust bij de fabrikant de plicht om er voor te zorgen en aan te tonen dat zijn apparaat voldoende immuun is. De EMC-richtlijn 89/336/EEG is een zogenaamde 'horizontale' (algemene) richtlijn. Voor specifieke groepen apparaten kunnen andere richtlijnen van toepassing zijn. Dit is onder meer het geval voor medische apparatuur (93/42/EEG) en voor actieve implanteerbare medische apparaten (90/385/EEG) (REG90, REG93).

Voor medische apparatuur is met inachtneming van de betreffende richtlijn een geharmoniseerde EMC-norm opgesteld van 3 V/m voor het frequentiegebied van 26 MHz – 1 GHz (IEC93).<sup>b</sup> Inmiddels is deze norm aangepast tot 10 V/m en is het frequentiegebied uitgebreid tot 2,5 GHz (IEC01).

Met betrekking tot geïmplanteerde medische hulpmiddelen stelt de Europese richtlijn 90/385/EEG essentiële eisen aan de immuniteit. Die eisen zijn nader uitgewerkt in technische normen, die vaststellen tegen welke minimale veldsterktes deze apparaten bestand moeten zijn. Deze minimale veldsterktes zijn enerzijds hoger dan de veldsterkte in de hierboven genoemde algemene immuniteitseisen voor medische apparatuur en anderzijds hoger dan de op gezondheidskundige overwegingen vastgestelde blootstellingslimieten, zoals die van de Gezondheidsraad en de ICNIRP (GR97, ICN98). Indien aan deze gezondheidskundige richtlijnen is voldaan, is het derhalve onwaarschijnlijk dat er storingen zullen optreden in de betreffende medische implantaten. Deze technische normen stellen echter geen eisen voor frequenties boven 1 GHz, terwijl er toch in toenemende mate gebruik wordt gemaakt van dit deel van het elektromagnetisch spectrum, bijvoorbeeld door DCS-1800 en UMTS. Het is daarom wenselijk dat het frequentiegebied waarop de norm van toepassing is naar hogere frequenties wordt uitgebreid.

---

## 6.2 Storing ten gevolge van mobiele telefoons

In 1995 heeft de branchevereniging VIFKA Telecommunicatie<sup>c</sup> een rapport uitgebracht waarin, op grond van de uitkomsten van door TNO verrichte metingen, wordt geconcludeerd dat mobiele telefoons medische apparatuur die in ziekenhuizen wordt gebruikt, kunnen storen (VIF95). Het rapport beveelt daarom aan om een afstand van minstens anderhalve meter in acht te nemen tussen een in werking zijnde telefoon (ook

---

<sup>a</sup> Europese richtlijnen zijn dwingend en dienen in nationale wetgeving geïmplementeerd te worden.

<sup>b</sup> Dergelijke normen hebben een vrijwillig karakter en dienen als hulpmiddel om te bepalen of aan de in de richtlijnen genoemde essentiële eisen wordt voldaan.

<sup>c</sup> VIFKA Telecommunicatie is later geherstructureerd tot de branche Telecommunicatie van de Vereniging voor Informatie- en Communicatie Technologie Nederland (V-ICTN) en is tegenwoordig als ICT Telecom een onderdeel van Nederland-ICT.

---

als deze in de *standby* stand staat) en gevoelige medische apparatuur in ziekenhuizen. De Gezondheidsraad heeft in het advies *Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz)* deze aanbeveling onderschreven (GR97). De meeste ziekenhuizen in Nederland hebben de aanbeveling overgenomen en doorgaans toegepast in de vorm van een algeheel verbod om met een werkende mobiele telefoon binnen de ziekenhuismuren te komen. De uitvoering daarvan beperkt zich echter tot het aanbrengen van verbodsborden en/of teksten bij de ingangen van het ziekenhuisgebouw. Toezicht op het gebruiksverbod vindt naar weten van de commissie niet plaats. Er zijn de commissie overigens geen gevallen bekend waarbij een in werking zijnde mobiele telefoon binnen de ziekenhuismuren tot storing op gevoelige medische apparatuur heeft geleid, maar zij acht het niet onmogelijk dat als zo'n gebeurtenis zich voordoet, dit niet in verband wordt gebracht met de aanwezigheid van een mobiele telefoon en daarom niet bij de verantwoordelijke instanties wordt gemeld.

Er is in toenemende mate behoefte om personeel in de ziekenhuizen uit te rusten met mobiele telecommunicatieapparatuur. Het is de commissie bekend dat daarvoor ook GSM-toestellen worden gebruikt. In principe hoeft dit niet tot problemen te leiden, mits de minimale afstand van 1,5 m tot gevoelige apparatuur in acht wordt genomen. De commissie pleit er wel voor dat er geen ongelijke normen gesteld worden voor personeel en publiek. De regelingen voor gebruik van mobiele telefoons binnen ziekenhuismuren moeten voor iedereen gelijk zijn en er moet een vorm van handhaving zijn.

Recent is door TNO een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de effecten van elektromagnetische velden van GSM- en DECT-telefoons op een scala van medische apparaten die buiten het ziekenhuis worden gebruikt (Hen00). Uit dit onderzoek bleek, dat de werking van een aanzienlijk percentage van dergelijke apparaten beïnvloed kan worden door een in werking zijnde GSM- of DECT-telefoon. Dit was aanleiding voor V-ICTN om aan te bevelen het gebruik van GSM- en DECT-telefoons in de directe nabijheid van dergelijke apparatuur te vermijden (VIC00). De commissie onderschrijft deze aanbevelingen. Voor GSM-telefoons behelzen zij, dat in het algemeen een afstand van minimaal 1,5 meter tussen de telefoon en het apparaat moet worden aangehouden, tenzij bekend is dat het apparaat ongevoelig is voor storingen. Voor DECT-telefoons wordt aanbevolen, om deze niet zeer dichtbij medische apparatuur te houden. Voor een aantal categorieën apparaten worden de aanbevelingen nog nader gespecificeerd. Zo is voor bloedglucosemeters en insulinepennen een afstand van 'enkele tientallen centimeters' voldoende. Voor elektrische rolstoelen en scooters geldt hetzelfde. Voor zover er storingen op deze vervoermiddelen zijn gevonden, was dat wanneer de telefoon op zeer korte afstand (enkele centimeters) van de elektronica van de rolstoel

werd gehouden. Mobiele telefoons van passanten zullen volgens het rapport elektrische rolstoelen en scooters niet storen. De gebruikers ervan wordt echter aangeraden hun telefoon zekerheidshalve in de binnenzak van een jas te dragen. Ook de suggestie om de rolstoel of scooter uit te zetten alvorens van een mobiele telefoon gebruik te maken kan de commissie onderschrijven, niet zozeer vanwege mogelijke storingsproblemen, als wel omwille van de verkeersveiligheid (zie hoofdstuk 7).

In het advies uit 1997 beveelt de Gezondheidsraad aan om voor geïmplanteerde pacemakers een minimale afstand van 15 cm te handhaven tussen een ingeschakelde mobiele telefoon en de pacemaker. Omdat er waarschijnlijk nog steeds patiënten zijn die een pacemaker hebben die niet aan de strengere immuniteitseisen voldoet die sedert 1995 van kracht zijn, handhaaft de commissie dat advies.

Een andere categorie hulpmiddelen die gestoord kunnen worden door een mobiele telefoon zijn gehoorapparaten. Uit een onderzoek onder patiënten met een gehoorapparaat waarbij gebruik wordt gemaakt van de botgeleiding van geluid (*bone-anchored hearing aid*) blijkt dat 11 van de 13 patiënten die van een digitale mobiele telefoon gebruik maken daarbij hinderlijke bijgeluiden ervaren (zoemend geluid) (Kom00). Andere effecten, zoals duizeligheid, traden niet op. De commissie acht het van belang dat dergelijke hinder voorkomen wordt. Wellicht dat bij gebruikers van storingsgevoelige gehoorapparaten een *handsfree set* uitkomst kan bieden.

---

### 6.3 Aanbevelingen

Het is momenteel in principe mogelijk dat medische apparatuur die voldoet aan de EMC-normen, in een omgeving met een veldsterkte beneden de gezondheidskundige blootstellingslimiet toch in zijn goede werking wordt gestoord. Dat kan zich bijvoorbeeld voordoen wanneer die apparatuur zich in de directe nabijheid van een zendinstallatie of een ingeschakelde draagbare telefoon bevindt. De commissie beveelt daarom aan dat de overheid er zorg voor draagt dat de immuniteit van medische elektronische producten wordt vergroot, zodat er bij normaal gebruik van mobiele telefoons geen storingsproblemen kunnen ontstaan. Daarnaast moet overheid bevorderen dat de Europese normen worden aangescherpt en dat het frequentiebereik dat zij bestrijken wordt uitgebreid tot minimaal 10 GHz.

## Verkeersveiligheid

---

De toename van het gebruik van mobiele telefoons in de afgelopen jaren is ook bij verkeersdeelnemers waarneembaar. Dat kan een negatief effect hebben op de verkeersveiligheid en daarom is in een aantal Europese landen en Noord-Amerikaanse staten mobiel bellen tijdens het besturen van een motorvoertuig zonder gebruik te maken van een *handsfree* set, verboden. Ook de Nederlandse regering heeft besloten een dergelijk verbod in te stellen.

Er zijn verscheidene onderzoeken gepubliceerd waarin de invloed van bellen met een mobiele telefoon op de deelname aan het verkeer is onderzocht. Daarbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen onderzoeken die zijn uitgevoerd in een simulator en in het wegverkeer. De simulator-onderzoeken geven soms een rooskleuriger beeld dan de andere studies. Dat zou het gevolg kunnen zijn van het feit dat de proefpersonen zich ervan bewust zijn dat ze zich in een kunstmatige situatie bevinden waarin fouten niet tot daadwerkelijke ongelukken en materiële en persoonlijke schade leiden (Nat99). De onderzoeken uitgevoerd in het verkeer wijzen er op dat het verkeersgedrag door het gebruik van een mobiele telefoon negatief wordt beïnvloed. Dat is ten eerste het gevolg van het hanteren van het toestel. Bij het handmatig opzoeken of intoetsen van een nummer wordt de aandacht van het verkeer afgeleid en is in ieder geval een hand niet beschikbaar voor het bedienen van de auto. Deze situatie komt in grote lijnen overeen met, bijvoorbeeld, het bedienen van een radio, cassette- of cd-speler. Dit levert

---

weliswaar een vermindering van de attentie op, maar die lijkt deels gecompenseerd te kunnen worden door – onbewuste – voorzorgsmaatregelen zoals vermindering van de snelheid en het aanhouden van een grotere afstand tot de voorligger. Wanneer er daadwerkelijk een gesprek wordt gevoerd zonder dat daarbij een *handsfree* set wordt gebruikt, zal de mogelijkheid de auto te bedienen voor de duur van het gesprek verminderd worden, omdat het toestel met een hand wordt vastgehouden of met de schouder tegen het hoofd wordt geklemd. Dit leidt tot een vermindering van het fysieke vermogen om snel op verkeerssituaties te kunnen reageren (Bro91). Uit een analyse van het gebruik van mobiele telefoons voor en tijdens verkeersongevallen, bleek overigens dat er geen verschil was tussen het percentage *handsfree* en niet-*handsfree* gebruikers dat bij die ongelukken betrokken was (Red97). Dat wijst er op dat de invloed van een vermindering van de mogelijkheid de auto te bedienen niet de belangrijkste factor is bij de afname van de verkeersveiligheid die is geassocieerd met het gebruik van een mobiele telefoon. Belangrijker in dit verband lijkt te zijn de vermindering van de attentie die gepaard gaat met het voeren van het gesprek zelf (Hla99, Lam99, Str01). Alhoewel er geen directe wetenschappelijke informatie over is, meent de commissie dat dit wellicht het gevolg zou kunnen zijn van het feit dat het voeren van een gesprek via de mobiele telefoon als veel dwingender wordt ervaren dan een gesprek met een passagier in de auto. Dat zou kunnen komen omdat een passagier de verkeerssituatie ook waarneemt, waardoor het gemakkelijker is het gesprek tijdelijk te onderbreken wanneer de aandacht van de bestuurder nodig is voor de situatie op de weg.

De commissie vindt het besluit van de regering om alleen *handsfree* bellen door bestuurders van een gemotoriseerd vervoermiddel toe te staan een stap in de goede richting. Zij beveelt aan dat de regeling wordt uitgebreid tot *alle* bestuurders. De commissie meent echter dat deze maatregel het probleem van vermindering van de attentie maar ten dele oplost. Zij beveelt daarom tevens aan dat de overheid, bijvoorbeeld door middel van voorlichting, bevordert dat het voeren van met name langdurige gesprekken en gesprekken die veel aandacht vereisen, plaats vindt nadat het vervoermiddel op een daartoe geëigende plaats tot stilstand is gebracht.

## **Aanpak in andere landen**

---

In veel landen is wetgeving van kracht of in ontwikkeling, waarin blootstellingslimieten zijn vastgelegd. Ieder overzicht daarvan dat de commissie hier zou kunnen geven is niets meer dan een momentopname. Zij wijst er daarom op dat de Wereldgezondheidsorganisatie een initiatief heeft ontwikkeld om door middel van een dynamisch informatiesysteem de actuele stand van zaken kenbaar te maken. Dat is vanaf begin 2002 op de website van het bij de Wereldgezondheidsorganisatie lopende Internationale EMF Project te raadplegen (<http://www.who.int/peh-emf>).

---



---

# Literatuur

- 
- Ade99 Adey WR, Byus CV, Cain CD, e.a. Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves. *Radiat Res* 1999; 152: 293-302.
- Ade00 Adey WR, Byus CV, Cain CD, e.a. Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer Res* 2000; 60: 1857-63.
- Alb79 Albert EN. Reversibility of microwave-induced blood-brain-barrier permeability. *Radio Sci* 1979; 14: 323-7.
- Alb81 Albert EN, Kerns JM. Reversible microwave effects on the blood-brain barrier. *Brain Res* 1981; 230(1-2):153-64.
- Ban00 Bansal PS. Experimental investigation on the performance of various em shielding/absorbing devices for mobile phones. Leatherhead: ERA Technology Ltd., 2000; (ERA report nr 2000-0046).
- Ber00 Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S, e.a. Specific absorption rate and temperature increases in the head of a cellular-phone user. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 2000; 48: 1118-26.
- Ber01 Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S, e.a. Temperature elevation in the head of a cellular phone user: effect of SAR and of the contact with the phone. In: Abstract book of the 23<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society. St Paul, MN, 2001: 78-9.
- Bit01 Bit-Babik G, Chou CK, Faraone A, e.a. FDTD estimation of SAR in the human head and body due to exposure of handheld mobile phone with handsfree accessories. In: Abstract book of the 23<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society. St Paul, MN, 2001: 150.
- BMA01 British Medical Association. Mobile phones and health. London: British Medical Association, 2001.
-

- Bor99 Borbély AA, Huber R, Graf T, e.a. Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett* 1999; 275: 207-10.
- Bos01 Boscolo P, Di Sciascio MB, D'Ostilio S, e.a. Effects of electromagnetic fields produced by radiotelevision broadcasting stations on the immune system of women. *Sci Total Environ* 2001; 273: 1-10.
- Bra98 Braune S, Wrocklage C, Raczek J, e.a. Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet* 1998; 351: 1857-8.
- Bro91 Brookhuis KA, de Vries G, de Waard D. The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accid Anal Prev* 1991; 23: 309-16.
- Bru94 Brunner DP, Münch M, Biedermann K, e.a. Changes in sleep electroencephalogram during pregnancy. *Sleep* 1994; 17: 576-82.
- Car99 Cardis E, Kilkeny M. International case-control study of adult brain, head and neck tumours: results of the feasibility study. *Radiat Protect Dosimetry* 1999; 83: 179-83.
- Car00 Carlo GL, Steffens-Jenrow R. Scientific progress - wireless phones and brain cancer. Current state of the science. *Med Gen Med* 2000; 31 juli.
- CBS99 Centraal Bureau voor de Statistiek. Permanent Onderzoek Leefsituatie (POLS). Voorburg/Heerlen: CBS, 1999.
- CEN01a European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC). Basic standard for the measurement of Specific Exposure Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz – 3 GHz). Brussel: CENELEC, 2001; (publicatie nr EN 50361: 2001E).
- CEN01b European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC). Product standard to demonstrate the compliance of mobile phones with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (300 MHz – 3 GHz). Brussel: CENELEC, 2001; (publicatie nr EN 50360: 2001E).
- Cha99 Chagnaud JI, Moreau JM, Veyret B. No effect of short-term exposure to GSM -modulated low-power microwaves on benzo(a)pyrene-induced tumours in rat. *Int J Radiat Biol* 1999; 75: 1251-6.
- Chi00 Chia SE, Chia HP, Tan JS. Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: a community study. *Environ Health Perspect* 2000; 108: 1059-62.
- Cho92 Chou CK, Guy AW, Kunz LL, e.a. Long-term, low-level microwave irradiation of rats. *Bioelectromagnetics* 1992; 13: 469-96.
- Cox00 Cox R A, Luxton L M. Cerebral symptoms from mobile telephones (letter). *Occup Environ Med* 2000; 57: 431.
- Cui97 Cui J, Mukai C, Iwase S, e.a. Response to vestibular stimulation of sympathetic outflow to muscle in humans. *J Auton Nerv Syst* 1997; 66: 154-62.
- DeS99 De Sèze R, Ayoub J, Peray P, e.a. Evaluation in humans of the effects of radiocellular telephones on the circadian patterns of melatonin secretion, a chronobiological rhythm marker. *J Pineal Res* 1999; 27: 237-42.
- Dre99 Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ, e.a. Cause-specific mortality in cellular telephone users. *JAMA* 1999; 282: 1814-6.
- Dri96 Driver HS, Dijk DJ, Werth E, e.a. Sleep and the sleep electroencephalogram across the menstrual cycle in young healthy women. *J Clin Endocrin Metab* 1996; 81: 728-35.
-

- EC01 Europese Commissie. Mededeling van de Commissie in het kader van de uitvoering van Richtlijn 1999/5/EG van het Europees Parlement en de Raad van 9 maart 1999 betreffende radioapparatuur en telecommunicatie-eindapparatuur en de wederzijdse erkenning van hun conformiteit (Voor de EER relevante tekst). Publicatiebl Eur Gemeensch 2001; C 208: 5-24.
- Eis76 Eisenberg RB. Auditory competence in early life. Baltimore, ML: University Park Press, 1976.
- Ern99 Ernst AA, Takakuwa KM, Letner C, e.a. Warmed versus room temperature saline solution for ear irrigation: a randomized clinical trial. *Ann Emerg Med* 1999; 34: 347-50.
- Eul98 Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, e.a. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 1998; 9: 3229-32.
- Fei78 Fein GG. Child development. Englewood Cliffs, NY: Prentice-Hall, Inc., 1978.
- Fel91 Feldmann H, Huttenbrink KB, Delank KW. Transport of heat in caloric vestibular stimulation. Conduction, convection or radiation? *Acta Otolaryngol* 1991; 111 : 169-75.
- Fre98a Frei MR, Berger RE, Dusch SJ, e.a. Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 20-31.
- Fre98b Frei MR, Jauchem JR, Dusch SJ, e.a. Chronic, low-level (1.0 W/kg) exposure of mice prone to mammary cancer to 2450 MHz microwaves. *Radiat Res* 1998; 150: 568-76.
- Fre00 Freude G, Ullsperger P, Eggert S, e.a. Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur J Appl Physiol* 2000; 81: 18-27.
- Fri97 Fritze K, Sommer C, Schmitz B, e.a. Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. *Acta Neuropathol (Berlin)* 1997; 94(5): 465-70.
- Gab96 Gabriel S, Lau RW, Gabriel C. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range of 10 Hz to 20 GHz. *Phys Med Biol* 1996; 41: 2251-69.
- Gan01 Gandhi OP, Li QX, Kang G. Temperature rise for the human head for cellular telephones and for peak SAR prescribed in safety guidelines. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 2001; 49: 1607-13.
- GR97 Gezondheidsraad: Commissie Radiofrequente elektromagnetische velden. Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz). Rijswijk: Gezondheidsraad, 1997; publicatie nr 1997/01.
- GR00a Gezondheidsraad: Commissie ELF Elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0Hz – 10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/6.
- GR00b Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. GSM -basisstations. Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/16.
- GR01 Gezondheidsraad. Ongerustheid over locale milieufactoren; risicocommunicatie, blootstellingsbeoordeling en clusteronderzoek. Den Haag: Gezondheidsraad, 2001; publicatie nr 2001/10.
- Gru82 Gruenau SP, Oscar KJ, Folker MT, e.a. Absence of microwave effect on blood-brain barrier permeability to [<sup>14</sup>C]sucrose in the conscious rat. *Exp Neurol* 1982; 75(2):299-307.
- Har99 Hardell L, Nasman A, Pahlson A, e.a. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case-control study. *Int J Oncol* 1999; 15: 113-6.
-

- Hei99 Heikkinen P, Juutilainen J. Chronic exposure to 50-Hz magnetic fields or 900-MHz electromagnetic fields does not alter Nocturnal 6-hydroxymelatonin sulfate secretion in CBA/S mice. *Electro Magnetobiol* 1999; 18: 33-42.
- Hen00 Hensbroek R. Storing op medische apparatuur thuis door zaktelefoons e.d. - een praktijkonderzoek. Leiden: TNO Preventie en Gezondheid, 2000; (publicatie nr PG/TG/00.050).
- Hla99 Hladky A, Musil J, Roth Z, e.a. Acute effects of using a mobile phone on CNS functions. *Cent Eur J Public Health* 1999; 7: 165-7.
- Hig99 Higashikubo R, Culbreth VO, Spitz DR, e.a. Radiofrequency electromagnetic fields have no effect on the in vivo proliferation of the 9L brain tumor. *Radiat Res* 1999; 152: 665-71.
- Hil71 Hill AB. Principles of medical statistics. New York: Oxford University Press, 1971: 309-23.
- Hoc98 Hocking B. Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use. *Occup Med (Oxf)* 1998; 48: 357-60.
- Hol86 Holland BA, Haas DK, Norman D, e.a. MRI of normal brain maturation. *Am J Neuroradiol* 1986; 7: 201-8.
- Hub00 Huber R, Graf T, Cote KA, e.a. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2000; 11: 3321-5.
- ICN98 International Commission on Non-ionising Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on limits of exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (1 Hz - 300 GHz). *Health Phys* 1998; 74: 494-522.
- IEC89 International Electrotechnical Committee (IEC). International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161. Electromagnetic Compatibility. Geneva: International Electrotechnical Committee, 1989; (publicatie nr IEC 50(161)).
- IEC93 International Electrotechnical Committee (IEC). Medical electrical equipment - Part 1: general requirements for safety. 2. Collateral standard: Electromagnetic Compatibility Requirements and tests. First edition 1993-04. Geneva: International Electrotechnical Committee, 1993; (publicatie nr IEC 60601-1-2).
- IEC01 International Electrotechnical Committee (IEC). Medical electrical equipment - Part 1-2: General requirements for safety - Collateral standard: Electromagnetic Compatibility - Requirements and tests. Second edition 2001-09. Geneva: International Electrotechnical Committee, 2001; (publicatie nr IEC 60601-1-2).
- IEEE95 IEEE standards board. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1992; (publicatie nr IEEE C95.1-1991).
- IEG00 Independent Expert Group on Mobile Phones. Mobile phones and health. Chilton: Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000.
- Ima98a Imaida K, Taki M, Yamaguchi T, e.a. 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* 1998; 19: 311-4.
-

- Ima98b Imaida K, Taki M, Watanabe S, e.a. The 1.5 GHz electromagnetic near-field used for cellular phones does not promote rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay. *Jpn J Cancer Res* 1998; 89: 995-1002.
- Ins01 Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, e.a. Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 2001; 344: 79-86.
- Ita94 Itaya T, Kitahara M. Air caloric test with continuous thermal change. *Acta Otolaryngol Suppl* 1994; 510: 43-7.
- Joh01 Johansen C, Boice JD, McLaughlin JK, e.a. Cellular telephones and cancer - a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 2001; 93: 203-7.
- Kna95 van der Knaap MS, Valk J. Magnetic resonance of myelin, myelination and myelin disorders. Berlin: Springer, 1995.
- Koe95 Koenig WJ, Donovan JM, Pensler JM. Cranial bone grafting in children. *Plast Reconstr Surg* 1995; 1: 1-4.
- Koi00 Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, e.a. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 2000; 11: 413-5.
- Koi01 Koivisto M, Haarala C, Krause CM, e.a. GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 212-5.
- Kom00 Kompis M, Negri S, Hausler R. Electromagnetic interference of bone-anchored hearing aids by cellular phones. *Acta Otolaryngol* 2000; 120: 855-9.
- Kra00 Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, e.a. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport* 2000; 11: 761-4.
- Lai89 Lai H, Carino MA, Horita A, e.a. Low-level microwave irradiation and central nervous cholinergic systems. *Pharmacol Biochem Behav* 1989; 33: 131-8.
- Lai94 Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. *Bioelectromagnetics* 1994; 15: 95-104.
- Lai95 Lai H, Singh NP. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1995; 16: 207-10.
- Lai96 Lai H, Singh NP. Single-strand and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int J Radiat Biol* 1996; 69: 513-21.
- Lam99 Lamble D, Kauranen T, Laakso M, e.a. Cognitive load and detection thresholds in car following situations : safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accid Anal Prev* 1999; 31: 617-23.
- Lan95 Landolt HP, Werth E, Borbély AA, e.a. Caffeine intake (200 mg) in the morning affects human sleep and EEG power spectra at night. *Brain Res* 1995; 675: 67-74.
- Lee99 van Leeuwen GMJ, Lagendijk JJW, van Leersum BJAM, e.a. Calculation of change in brain temperature due to exposure to a mobile phone. *Phys Med Biol* 1999; 44: 2367-79.
- Lin80 Lin JC, Lin MF. Studies on microwave and blood-brain barrier interaction. *Bioelectromagnetics* 1980; 1(3):313-23.
-

- Mal97 Malyapa RS, Ahern EW, Straube WL, e.a. Measurement of DNA damage after exposure to electromagnetic radiation in the cellular phone communication frequency band (835.62 and 847.74 MHz). *Radiat Res* 1997; 148: 618-27.
- Mal98 Malyapa RS, Ahern EW, Bi C, e.a. DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. *Radiat Res* 1998; 149: 637-45.
- Man96 Mann K, Röschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996; 33: 41-7.
- Man98 Mann K, Röschke J, Connemann B, e.a. No effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on heart rate variability during human sleep. *Neuropsychobiology* 1998; 38: 251-6.
- Man98 Mann K, Wagner P, Brunn G, e.a. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 1998; 67: 139-44.
- Man00a Manning MI. SAR tests of two mobile phones with personal hands-free kits. Newdigate: SARTest, 2000; (SARTest report nr 77/00).
- Man00b Manning MI, Gabriel CHB. SAR tests on mobile phones used with and without personal hands-free kits. Newdigate: SARTest, 2000; (SARTest report nr 0083).
- Mer78 Merritt JH, Chamness AF, Allen SJ. Studies on blood-brain barrier permeability after microwave-radiation. *Rad Environm Biophys* 1978; 15: 367-77.
- Mor00 Morgan RW, Kelsh MA, Zhao K, e.a. Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology* 2000; 11: 118-27.
- Mus00 Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, e.a. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 2000; 284: 3001-7.
- MWN01 Microwave News. Germans withdraw mobile phone effect on blood pressure. *Microwave News* 2001; XXI(4), July/August 2001: 1, 12.
- Nat99 National Highway Traffic Safety Authority. An investigation of the safety implications of wireless communications in vehicles. <http://www.nhtsa.dot.gov/people/injury/research/wireless>, geraadpleegd 20 juni 1999.
- Nik00 Nikita KS, Cavagnaro M, Bernardi P, e.a. A study of uncertainties in modeling antenna performance and power absorption in the head of a cellular phone user. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 2000; 48: 2676-85.
- NRPB93 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; (Documents of the NRPB, Vol 4, Nr 5).
- Nov00 Nova-Institut 2000: [www.handywerte.de](http://www.handywerte.de), geraadpleegd 21 augustus 2001.
- Oft00 Oftedal G, Wilén J, Sandström M, e.a. Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup Med* 2000; 50: 237-45.
- Osc77 Oscar KJ, Hawkins TD. Microwave alteration of the blood-brain barrier system of rats. *Brain Res* 1977; 126(2):281-93.
-

- Par01 Paredi P, Kharitonov SA, Hanazawa T, Barnes PJ. Local vasodilator response to mobile phones. *Laryngoscope* 2001; 111: 159-62.
- Pau99 Pau HW, Fichelmann J, Wild W. Thermographic detection of heat radiation in caloric vestibular function tests. *Laryngorhinootologie* 1999; 78: 217-21.
- Per97 Persson BRR, Salford LG, Brun A. Blood-brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication. *Wireless Netw* 1997; 3: 455-61.
- Pey01 Peyman A, Rezazadeh AA, Gabriel C. Changes in the dielectric properties of rat tissue as a function of age at microwave frequencies. *Phys Med Biol* 2001; 46: 1617-29.
- Pra88 Prader A, Largo RH, Molinari L, e.a. Physical growth of Swiss children from birth to 20 years of age. *Helv Paediat Acta* 1988; 43: Suppl. 52.
- Pre79 Preston E, Vavasour EJ, Assenheim HM. Permeability of the blood-brain barrier to mannitol in the rat following 2450 MHz microwave irradiation. *Brain Res* 1979; 174(1):109-17.
- Pre99 Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, e.a. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 1999; 75: 447-56.
- Rad01 Radon K, Parera D, Rose, DM, e.a. No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 280-7.
- Red97 Redelmeier DA, Tibshirani RJ. Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *N Engl J Med* 1997; 336: 453-8.
- REG89 Raad van de Europese Gemeenschappen. Richtlijn van de Raad van 3 mei 1989 betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgeving der Lid-Staten inzake elektromagnetische compatibiliteit (89/336/EEG). *Publicatiebl Eur Gemeensch* 1989; L139.
- REG90 Raad van de Europese Gemeenschappen. Richtlijn van de Raad van 20 juni 1990 betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgeving van de Lid-Staten inzake actieve implanteerbare medische hulpmiddelen (90/385/EEG). *Publicatiebl Eur Gemeensch* 1990; L189.
- REG93 Raad van de Europese Gemeenschappen. Richtlijn 93/42/EEG van de Raad van 14 juni 1993 betreffende medische hulpmiddelen. *Publicatiebl Eur Gemeensch* 1993; L169.
- Rei98 Reid SWJ, Gettinby G. Radio-frequency electromagnetic field from mobile phones. *Lancet* 1998; 352: 576-7.
- Rep97 Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, e.a. Lymphomas in  $\text{E}\mu\text{-Pim1}$  transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res.* 1997;147: 631-40.
- REU99 Raad van de Europese Unie. Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van de blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz - 300 GHz. *Publicatiebl Eur Gemeensch* 1999; L199, 59-70.
- Rös97 Röschke J, Mann K. No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 1997; 18: 172-6.
-

- Sal93 Salford LG, Brun A, Persson BRR, e.a. Experimental studies of brain tumor development during exposure with continuous and pulsed 915 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectrochem Bioenerget* 1993; 30: 313-8.
- Sal94 Salford LG, Brun A, Stureson K, e.a. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, and 200 Hz. *Microsc Res Tech* 1994; 27: 535-42.
- San88 Santini R, Hosni M, Deschaux P, e.a. B16 melanoma development in black mice exposed to low-level microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1988; 9: 105-7.
- San01 Sandström M, Wilén J, Oftedal G, e.a. Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med* 2001; 51: 25-35.
- Sch98 Schönborn F, Burkhard M, Kuster N. Differences in energy absorption between heads of adults and children in the near field of sources. *Health Phys* 1998; 74: 160-8.
- Sie00 Sienkiewicz Z J, Blackwell R P, Haylock R G, e.a. Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. *Bioelectromagnetics* 2000; 21: 151-8.
- Str01 Strayer D, Drews F, Albert R, e.a. Does cell phone conversation impair driving performance? <http://www.nsc.org/library/shelf/inincell.htm>, geraadpleegd 16 augustus 2001.
- Suz97 Suzuki M, Kadir A, Takamoto M, e.a. A study on temperature dependent vestibular potential: effect of long lasting thermal stimulus and aminoglycoside agent. *Acta Otolaryngol* 1997; 117: 219-21.
- Suz98 Suzuki M, Kadir A, Hayashi N, e.a. Direct influence of temperature on semicircular canal receptor. *J Vestib Res* 1998; 8: 169-73.
- Tak96 Takeda N, Hashikawa K, Morikawa H, e.a. Effects of caloric vestibular stimulation on parietal and temporal blood flow in human brain: a consecutive technetium-99m-HMPAO spect study. *J Vestib Res* 1996; 6: 127-34.
- To197 Toler JC, Shelton WW, Frei MR, e.a. Long-term, low-level exposure of mice prone to mammary tumors to 435 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res* 1997; 148: 227-34.
- Tsu00 Tsurita G, Nagawa H, Ueno S, e.a. Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics* 2000; 21(5): 364-71.
- Tus99 Tuschl H, Neubauer G, Garn H, e.a. Occupational exposure to high frequency electromagnetic fields and its effect on human immune parameters. *Int J Occup Med Environ Health* 1999; 12: 239-51.
- V&W00 Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Nota Nationaal Antennebeleid. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Telecommunicatie en Post, 2000.
- VIC00 V-ICTN, branche Telecommunicatie. Aanbevelingen voor het gebruik van GSM - en draadloze telefoons bij elektronische medische apparatuur voor thuisgebruik. Woerden: V-ICTN, 2000.
- VIF95 VIFKA Telecommunicatie. Aanbevelingen voor het gebruik van zaktelefoons binnen instellingen voor de gezondheidszorg. De Meern: VIFKA, 1995; (publicatie nr whk/hjb/N0810/hw).
- Vija00 Vijayalaxmi, Leal BZ, Szilagyi M, e.a. Primary DNA damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res* 2000; 153: 479-86.
-

- Vol97 Vollrath L, Spessert R, Krantzsch T, e.a. No short-term effects of high-frequency electromagnetic fields on mammalian pineal gland. *Bioelectromagnetics* 1997; 18: 376-87.
- Wag98 Wagner P, Röschke J, Mann K, e.a. Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 199-202.
- Wag00 Wagner P, Röschke J, Mann K, e.a. Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. *Neuropsychobiology* 2000; 42: 207-12.
- Wai00 Wainwright P. Thermal effects of radiation from cellular telephones. *Phys Med Biol* 2000; 45: 2363-72.
- Wan99 Wang J, Fujiwara O. FDTD computation of temperature rise in the human head for portable telephones. *IEEE Trans Microwave Theory Techn* 1999; 47: 1528-34.
- Wan00 Wang B, Lai H. Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats. *Bioelectromagnetics* 2000; 21: 52-6.
- War82 Ward TR, Elder JA, Long MD, e.a. Measurement of blood-brain barrier permeation in rats during exposure to 2450-MHz microwaves. *Bioelectromagnetics* 1982; 3: 371-83.
- War85 Ward TR, Ali JS. Blood-brain barrier permeation in the rat during exposure to low-power 1.7-GHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1985; 6: 131-43.
- Whi00 Which? Online. Mobile Phone Risks. <http://www.which.net/publicinterest/freereport/printreport.html>, geraadpleegd 7 april 2000.
- Wu94 Wu RY, Chiang H, Shao BJ, e.a. Effects of 2.45-GHz microwave radiation and phorbol ester 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate on dimethylhydrazine-induced colon cancer in mice. *Bioelectromagnetics* 1994; 15: 531-8.
-



---

A De adviesaanvraag

---

B De commissie

---

C Termen en begrippen

---

D SAR

---

E Effecten van eenzijdige stimulatie van het evenwichtsorgaan

---

---

## Bijlagen



## **De adviesaanvraag**

---

In september 1999 ontving de voorzitter van de Gezondheidsraad in een brief met kenmerk DGM/SVS/99207094 het volgende verzoek:

In januari 1997 heeft de Gezondheidsraad advies uitgebracht over de gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische velden van 300 Hz tot 300 GHz. In dit advies komt de Gezondheidsraad ondermeer tot de conclusie dat de beschikbare gegevens er niet op wijzen dat het gebruik van mobiele telefoons negatieve gevolgen voor de gezondheid heeft.

Sindsdien heeft de toepassing van de mobiele telefonie een enorme vlucht genomen en is er bij sommige delen van de bevolking onrust ontstaan over mogelijk nadelige gezondheidseffecten. Dit betreft zowel het gebruik van de mobiele telefoons als de antenne-installaties zoals deze thans vaak ook op woongebouwen worden geplaatst. Deze onrust wordt mede ingegeven door verschillende studies en rapportages hierover in de media die zouden duiden op mogelijke nadelige gezondheidseffecten van elektromagnetisch velden door het gebruik van mobiele telefoontoestellen en de daarvoor gebruikte antenne-installaties.

Hierbij willen wij u mede namens de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat verzoeken om op afzienbare termijn een overzicht te geven van de voor de mobiele telefonie relevante wetenschappelijke literatuur die sinds uw advies uit 1997 is gepubliceerd en tot welke conclusies en aanbevelingen de GR op basis hiervan komt. Daarbij speelt met name de vraag in hoeverre niet-thermische effecten op grond van de huidige inzichten invloed kunnen hebben op de gezondheid en in hoeverre er vanuit wetenschappelijk

---

oogpunt aanleiding is om op basis van het voorzorgprincipe stringenter normen te hanteren dan op basis van de bekende thermische effecten.

Daarnaast zouden wij u in het licht van paragraaf VI van de Aanbeveling van de Raad van de EU betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden (zie bijlage), willen verzoeken om een overzicht van de recente relevante wetenschappelijke literatuur te geven, die sinds de publicatie van uw advies is gepubliceerd over de gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische velden in het algemeen. Daarbij verzoeken wij u ook aan te geven welke conclusies u uit dit onderzoek trekt en wat in de visie van de Gezondheidsraad de belangrijkste hiaten in onze huidige kennis zijn. Hierbij dienen mede betrokken te worden de onderzoeken die thans reeds in internationaal verband lopen. Ook in dit kader verneem ik graag uw aanbevelingen.

Hoogachtend,

De Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,  
J.P. Pronk

De Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport,  
Dr. E. Borst-Eilers

---

## De commissie

- 
- prof. dr EW Roubos, *voorzitter*  
hoogleraar dierkunde, neurobioloog; Katholieke Universiteit Nijmegen
  - dr LM van Aernsbergen, *adviseur*  
fysicus; Ministerie van VROM, Den Haag
  - prof. dr ir G Brussaard  
hoogleraar radiocommunicatie; Technische Universiteit Eindhoven
  - dr J Havenaar  
psychiater; Universitair Medisch Centrum Utrecht
  - drs FBJ Koops  
bioloog; Arnhem
  - prof. dr ir FE van Leeuwen  
hoogleraar epidemiologie van kanker; Vrije Universiteit Amsterdam,  
epidemioloog; Nederlands Kanker Instituut, Amsterdam
  - dr HK Leonhard, *adviseur*  
fysicus; Ministerie van Verkeer en Waterstaat
  - dr GC van Rhon  
fysicus; Erasmus Medisch Centrum, Rotterdam
  - dr GMH Swaen  
epidemioloog; Universiteit Maastricht
-

- DHJ van de Weerd, arts  
medisch milieukundige; GGD Zwolle
- prof. dr ir APM Zwamborn  
hoogleraar elektromagnetische effecten; Technische Universiteit Eindhoven,  
fysicus; TNO, Den Haag
- dr E van Rongen, *secretaris*  
radiobioloog; Gezondheidsraad, Den Haag

---

## Termen en begrippen

---

De termen en begrippen die slechts op één plaats in dit advies worden genoemd en waarvan de definitie ter plaatse is gegeven, zijn niet in deze lijst opgenomen.

---

### Grootheden en eenheden

<i>Hz</i>	hertz: eenheid van frequentie; 1 Hz is gelijk aan 1 cyclus per seconde
<i>kHz</i>	kilohertz = $10^3$ Hz
<i>MHz</i>	megahertz = $10^6$ Hz
<i>GHz</i>	gigahertz = $10^9$ Hz
<i>J</i>	joule: eenheid van elektrische energie ( $1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s} = 1 \text{ W/s}$ )
<i>W</i>	watt: eenheid van vermogen ( $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ )
<i>mW</i>	milliwatt = $10^{-3}$ W
<i>W/kg</i>	watt per kilogram, eenheid waarin de SAR wordt uitgedrukt
<i>W/m<sup>2</sup></i>	watt per vierkante meter: eenheid van vermogensdichtheid
<i>°C</i>	graden celcius: eenheid van temperatuur
<i>s</i>	seconde: eenheid van tijd
<i>ms</i>	milliseconde = $10^{-3}$ s
<i>g</i>	gram, eenheid van gewicht
<i>kg</i>	kilogram = $10^3$ g
<i>m</i>	meter: eenheid van lengte

---

*cm*      centimeter =  $10^{-2}$  m

---

## **Elektromagnetische begrippen**

### *Amplitude*

De maximale waarde van een elektromagnetische golf.

### *Dielektrische eigenschappen*

Eigenschappen van een object die bepalend zijn voor de wijze waarop een elektrisch of magnetisch veld inwerkt op dat object.

### *Dosimetrie*

De techniek van het bepalen van de in het lichaam geabsorbeerde elektromagnetische straling.

### *Draag golf*

De hoofdfrequentie van een elektromagnetisch signaal, waarop door middel van variaties in de frequentie (FM) of in de amplitude (AM) informatie kan worden overgebracht.

### *Frequentie*

Aantal trillingen per seconde. De eenheid is hertz (Hz).

### *Nabije veld*

De ruimte in de directe nabijheid van een bron. De relatie tussen het elektrisch en magnetisch veld zijn complexer dan in het verre veld. De veldsterktes in het nabije veld zijn daarom moeilijker te berekenen. Zij nemen gemiddeld sterker dan omgekeerd evenredig af met de afstand tot de bron

### *Permeabiliteit*

De magnetische dichtheid van een medium. De eenheid is henry per meter (H/m).

### *Polarisatie*

De voorkeursrichting van de elektrische veldvector. Onderscheiden worden verticale polarisatie, horizontale polarisatie en mengvormen van die twee.

### *Rms*

Root mean square: 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:

$$E_{rms} = \left[ \left(1/T\right) \int_t^{t+T} E(t)^2 dt \right]^{0.5}$$

---

## SAR

*Specific Absorption Rate* (specifiek absorptietempo): de mate waarin de energie per massa-eenheid per tijdseenheid wordt opgenomen; de eenheid is W/kg (zie bijlage D).

## Verre veld

De ruimte op enige afstand van een bron waarin de elektrische en magnetische componenten van het veld loodrecht op elkaar staan en op de voortplantingsrichting van het veld. Onder deze voorwaarden wordt de voortplanting van energie 'straling' genoemd. De veldsterkte neemt daarbij omgekeerd evenredig af met de afstand tot de bron.

## Winstfactor

Het getal dat aangeeft hoeveel sterker een antenne het elektromagnetische veld bundelt dan een eenvoudige dipoolantenne.

---

## Overige begrippen

### Analoog

Een signaal is analoog als de grootte van het signaal continu varieert in de tijd.

### Associatie

In de epidemiologie een op basis van statistische berekeningen vastgesteld verband in die zin dat bij personen die een bepaald ziektebeeld vertonen, bepaalde omgevingsfactoren vaker voorkomen dan bij personen zonder dat ziektebeeld. Het bestaan van een associatie is geen bewijs voor een oorzakelijk verband, maar kan wel aanleiding zijn tot verder onderzoek.

### Basisbependingen

Op gezondheidskundige overwegingen vastgestelde blootstellingslimieten, die betrekking hebben op bepaalde elektromagnetische verschijnselen die in het menselijk lichaam tot gezondheidsschade kunnen leiden. Voor statische velden zijn dit de elektrische en magnetische veldsterkte, voor wisselvelden tot circa 10 MHz de in het lichaam opgewekte elektrische stroom en voor wisselvelden vanaf circa 100 kHz de omzetting in het lichaam van elektromagnetische energie in warmte. Tussen 100 kHz en 10 MHz zijn zowel de stroomdichtheid als de warmteontwikkeling van belang.

### Bloed-hersensbarrière

Een door een aaneengesloten laag cellen gevormde hydrofobe barrière tussen het inwendige van de bloedvaten en het zenuwweefsel in de hersenen, die ondoordringbaar is voor in water oplosbare stoffen.

### *Blootstellingslimieten*

Op gezondheidkundige overwegingen vastgestelde waarden van bepaalde grootheden gerelateerd aan de sterkte van het elektromagnetische veld. Een onderscheid wordt gemaakt tussen basisbeperkingen en referentiewaarden.

### *Cardiovasculair systeem*

Hart en bloedvaten.

### *CENELEC*

*European Committee for Electrotechnical Standardization.*

### *Cognitieve functies*

Processen die in de hersenen plaatsvinden tijdens waarnemen, informatie verwerken, leren, denken en probleemoplossen.

### *Cohortstudie*

Epidemiologisch onderzoek met de blootstelling als uitgangspunt. Men stelt, bij een bepaalde gekozen blootstellingsfactor, een groep van blootgestelde personen en een gelijkwaardige controlegroep van niet-blootgestelden samen. In beide groepen wordt gedurende enige tijd het optreden van ziekten geobserveerd. Het vaker vóórkomen van een bepaalde ziekte in de groep blootgestelden kan een aanwijzing zijn voor een oorzakelijk verband met de gekozen blootstellingsfactor.

### *DCS-1800*

*Digital Communication System:* een standaard voor mobiele telefonie die werkt in een frequentieband rond 1800 MHz

### *DECT*

*Digital Enhanced Cordless Telecommunication:* een standaard voor draadloze telefonie.

### *Demodulatie*

Het reconstrueren van het oorspronkelijke signaal nadat dit in gemoduleerde vorm is overgedragen.

### *Diathermie-apparatuur*

Apparatuur waarmee met behulp van radiofrequente elektromagnetische velden warmte wordt opgewekt in het lichaam; wordt gebruikt in de fysiotherapie.

### *Digitaal*

Een signaal is digitaal als de grootte van het signaal alleen discrete waarden kan aannemen (bijvoorbeeld aan / uit).

### *Dosis-responsrelatie*

Toenemend effect bij toenemende blootstelling aan een bepaalde factor.

### *EEG*

Elektroencefalogram: de registratie van elektrische potentiaalverschillen in de hersenen, die door middel van elektroden op de hoofdhuid gemeten kunnen worden.

### *Elektromagnetische compatibiliteit (EMC)*

Het vermogen of de eigenschap van een elektrisch of elektronisch apparaat om bevredigend te functioneren in zijn elektromagnetische omgeving zonder zelf aan die omgeving ontoelaatbare stoorsignalen toe te voegen.

### *Epidemiologisch onderzoek*

Bestudering van het vóórkomen van ziekten in samenhang met het vóórkomen van factoren waarvan vermoed wordt dat zij een bepaalde relatie hebben met die ziekten. Het doel is aanwijzingen te verkrijgen over de mogelijke ziekte-oorzaken. Epidemiologie is een observationele en geen experimentele wetenschap. Het is niet mogelijk om op grond van de gegevens uit epidemiologisch onderzoek stellige uitspraken te doen over een oorzakelijk verband.

### *Frame*

Het overbrengen van informatie door digitale systemen voor mobiele communicatie geschiedt niet continu, maar in discrete 'pakketjes' met gegevens. Daartoe is het signaal verdeeld in een aantal periodes die *frames* worden genoemd. Bij GSM-systemen wordt het signaal per seconde in 217 frames verdeeld, die daarmee elk een lengte van 4,6 ms hebben. Elk frame is weer onderverdeeld in 8 tijdsloten van elk 0,58 ms.

### *GSM*

*Global System for Mobile communication*: een standaard protocol voor mobiele telecommunicatie; vaak gebruikt als aanduiding van mobiele telefonie in het algemeen.

### *GSM-900*

*Global System for Mobile communication*: een standaard protocol voor mobiele telecommunicatie dat werkt in een frequentieband rond 900 MHz.

### *GSM-basisstation*

Een GSM-basisstation heeft tot doel de overdracht van informatie te verzorgen tussen een mobiele telefoon en een netwerk voor mobiele of gewone telefonie. Het bestaat uit een antenne, antennedragers en een apparatuurkast.

### *Handsfree set*

Een voorziening die ertoe dient om een gesprek te kunnen voeren met een mobiele telefoon zonder het toestel daarbij in de hand te houden.

*Homeostase*

Het vermogen van een levend organisme om een constante samenstelling en hoedanigheid van het inwendig milieu in stand te houden.

*IARC*

*International Agency for the Research on Cancer*: een agentschap van de WHO (Wereldgezondheidsorganisatie).

*ICNIRP*

*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*.

*IEGMP*

De *International Expert Group on Mobile Phones* uit het Verenigd Koninkrijk.

*Immunititeit*

Ongevoeligheid, in het kader van dit advies voor elektromagnetische storingen.

*Immuunsysteem*

Het natuurlijk afweersysteem van een levend organisme.

*Incidentie*

Het aantal nieuwe gevallen van een ziekte die zich in een bepaalde tijdsperiode in een bepaald gebied voordoen.

*In vivo onderzoek*

Experimenteel onderzoek bij intacte organismen, zoals proefdieren.

*In vitro onderzoek*

Experimenteel onderzoek bij gekweekte cellen of weefsels.

*Kortetermijneffect*

Biologisch effect dat optreedt gedurende of kort na de blootstelling.

*Langetermijneffect*

Biologisch effect dat zich pas enige tijd na blootstelling openbaart.

*Lateraliteit*

In het kader van epidemiologisch onderzoek naar het voorkomen van tumoren bij gebruikers van mobiele telefoons een aanduiding van het vaker voorkomen van tumoren aan de kant van het hoofd waar doorgaans de telefoon wordt gehouden.

*Leukemie*

Bloedcelkanker, ongecontroleerde groei van voorstadia van witte bloedcellen.

*Lymfomen*

Tumoren van de lymfeklieren.

### *Melatonine*

Een hormoon dat in de pijnappelklier in de hersenen wordt aangemaakt en een rol speelt in het dag-nachtritme. Het kan tevens functioneren als wegvanger van radicalen, zeer reactieve moleculen die andere moleculen, waaronder het DNA, kunnen beschadigen. Zo'n beschadiging kan een eerste aanzet tot de ontwikkeling van kanker vormen.

### *Mutatie*

Een permanente verandering van het erfelijk materiaal, het DNA.

### *MRI*

*Magnetic Resonance Imaging*: een diagnostische techniek waarbij met behulp van niet-ioniserende elektromagnetische velden een beeld wordt verkregen van inwendige structuren in levende organismen.

### *NMT*

*Nordic Mobile Telephone*: een standaard voor mobiele telefonie waarbij informatie analoog wordt overgebracht. Tegenwoordig niet meer in gebruik.

### *Neuro-epitheliale tumoren*

Ongedifferentieerde tumoren van zenuwweefsel in de hersenen.

### *Nystagmus*

Onwillekeurige, ritmische bewegingen van de oogbol die optreden na prikkeling van het evenwichtsorgaan.

### *Operator*

Een bedrijf dat een netwerk voor mobiele telefonie onderhoudt en ruimte voor het overbrengen van informatie via dat netwerk verkoopt.

### *Pacemaker*

Een elektronisch apparaat, doorgaans ingebracht in het lichaam, dat de hartslag kan regelen.

### *Patiënt-controle onderzoek*

Epidemiologisch onderzoek met de ziekte als uitgangspunt. Bij een volgens bepaalde criteria geselecteerde groep patiënten wordt een groep controlepersonen gezocht die op een aantal relevante kenmerken zo goed mogelijk overeenstemt met de groep patiënten. Vervolgens wordt nagegaan aan welke factoren patiënten en controlepersonen in het verleden blootgesteld zijn geweest. Als een bepaalde blootstelling vaker voorkomt bij de patiënten dan bij de controlepersonen, kan dit een aanwijzing zijn voor een mogelijk oorzakelijke factor.

### *Referentiewaarden*

Waarden voor de sterkte van het ongestoorde elektrische en magnetische veld die zijn afgeleid van de basisbeperkingen en die dienen om te bepalen of aan de basisbeperkingen wordt voldaan. De grootheden die ten grondslag liggen aan de basisbeperkingen kunnen niet eenvoudig gemeten worden, de elektrische en magnetische veldsterkte wel.

### *REM*

*Rapid Eye Movement*: een bepaalde fase in de slaapcyclus die zich kenmerkt door snelle bewegingen van de oogbol.

### *Statistisch significant effect:*

Een effect waarvan het op grond van wiskundige berekening onwaarschijnlijk is dat het geheel aan het toeval is toe te schrijven.

### *Thermische effecten*

Biologische effecten veroorzaakt door warmte-ontwikkeling.

### *Tijdslot*

De periode waarin een *frame* is verdeeld.

### *UMTS*

*Universal Mobile Telecommunication System*: een nieuw systeem voor mobiele communicatie, ook wel 3<sup>e</sup> generatie (3G) mobiele telefonie genoemd.

### *Vorzorgsbeginsel*

Het principe dat maatregelen genomen kunnen worden om een bepaalde activiteit of blootstelling te beperken, ondanks dat niet volledig vaststaat dat die activiteit of blootstelling schadelijk is voor de gezondheid.

---

**SAR**

---

Atomen, moleculen en ionen in weefsel kunnen de variaties in de tijd van een extern elektrisch veld volgen, bijvoorbeeld vanwege de aanwezigheid van interne elektrische dipolen. Als dat gebeurt, wordt een deel van de energie van het elektromagnetisch veld omgezet in warmte. De mate waarin die omzetting plaatsvindt, is afhankelijk van een elektromagnetische eigenschap van het weefsel, de geleidbaarheid  $\mathbf{s}$  (SI-eenheid: siemens per meter, S/m). Om de warmteontwikkeling in een medium te kwantificeren, is de *Specific Absorption Rate* (SAR) geïntroduceerd, de mate waarin de energie per massa-eenheid per tijdseenheid wordt opgenomen, uitgedrukt in watt per kilogram (W/kg), waarbij één Watt gelijk is aan een joule per seconde.

De SAR wordt gedefinieerd als de afgeleide naar de tijd van de energie  $W$  die door een massa  $m$  in een volume  $V$  met de dichtheid  $\mathbf{r}$  (in kg/m<sup>3</sup>) geabsorbeerd wordt:

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{\mathbf{r}dV} \right) \text{ (W/kg)}.$$

Voor sinusvormige velden kan de SAR ook worden uitgedrukt als functie van de elektrische veldsterkte:

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{\mathbf{s} |E_{rms}|^2}{\mathbf{r}} \text{ (W/kg)}.$$

$E_{rms}$  is hierin de ‘*root mean square*’ (rms) waarde van de elektrische veldsterkte in het lichaam,  $\sigma$  de elektrische geleidbaarheid van het weefsel en  $\rho$  de dichtheid van het weefsel. In de praktijk is dit de meest gebruikte formule om de SAR te bepalen, omdat de elektrische veldsterkte eenvoudig te meten is.

De SAR kan ook door middel van het meten van temperatuurverhoging bepaald worden:

$$SAR = c \left( \frac{dT}{dt} \right) \text{ (W/kg)},$$

waarin  $c$  staat voor de soortelijke warmte van het weefsel. De SAR is dus direct proportioneel aan de snelheid van de temperatuurverandering ( $dT/dt$ ).

---

## Effecten van eenzijdige stimulatie van het evenwichtsorgaan

---

Cox & Luxton (Cox00) suggereren dat symptomen als duizeligheid, misselijkheid en hoofdpijn het gevolg kunnen zijn van een eenzijdige prikkeling van het evenwichtsorgaan door de elektromagnetische velden afkomstig van een mobiele telefoon. Dat niet iedereen hier last van heeft, zou te maken kunnen hebben met een grote variatie in de oriëntatie van de halfcirkelvormige kanalen in het evenwichtsorgaan.

Voor een dergelijk fenomeen zijn twee verklaringen te geven:

- er is een directe eenzijdige stimulatie van de endolymfe en/of de haarcellen in de halfcirkelvormige kanalen door de elektromagnetische velden. In de literatuur zijn geen onderzoeken gevonden naar stimulatie van het evenwichtsorgaan door elektromagnetische velden. Een dergelijk fenomeen is dus louter hypothetisch.
- er is sprake van een warmte-effect, waarbij het evenwichtsorgaan eenzijdig wordt opgewarmd.

Bij evenwichtsonderzoek kan de prikkelbaarheid van het vestibulaire systeem onderzocht worden door de gehoorgang te spoelen met afwisselend warm (44°C) en koud (30°C) water. De hierbij optredende nystagmus geeft een indicatie over het functioneren van het vestibulaire systeem. Het is tevens bekend dat eenzijdige stimulatie van het evenwichtsorgaan door temperatuurverschillen kan leiden tot klachten die passen bij bewegingsziekte, zoals duizeligheid en misselijkheid. In

---

experimenteel onderzoek bij kikkers is gevonden dat de halfcirkelvormige kanalen geactiveerd worden door temperatuurverschillen, met name door afkoeling (Suz97, Suz98). Dit is ook in experimenteel onderzoek bij mensen gevonden: eenzijdige afkoeling van het evenwichtsorgaan leidt tot duizeligheidsklachten (Ern99, Tak96). Dit is een voor de huisarts bekend verschijnsel. Daarom spuit hij oorsmeer uit met water op lichaamstemperatuur.

Het effect van afkoeling lijkt groter te zijn dan het effect van opwarming van het evenwichtsorgaan (Cui97). Of een eenzijdige opwarming in dezelfde mate kan leiden tot klachten die passen bij bewegingsziekte als eenzijdige afkoeling, is niet duidelijk. Onderzoek richt zich vooral op afkoeling van het evenwichtsorgaan. De temperatuurdrempel om een nystagmus op te wekken is bestudeerd bij afkoeling (Ita94). Een langzaam in temperatuur dalende luchtstroom werd in het oor van menselijke vrijwilligers geblazen. Bij een afkoeling (vanaf 37°C) met 0,01°C/s (1°C per 100 seconden) trad een nystagmus op bij 34,2°C na 263 seconden. Bij een afkoeling met 0,05°C/s vond men een nystagmus bij 33,1°C na 120 seconden. Hoe sneller de temperatuurdaling, des te lager de temperatuur waarbij een nystagmus optrad. Vooral bij de snelle temperatuurdalingen (0,1 – 0,2°C/s) werden klachten als misselijkheid en duizeligheid ervaren. Prikkeling van het evenwichtsorgaan treedt dus op bij een temperatuurdaling van minstens enkele graden Celsius. Onderzoek naar een nystagmusdrempel na opwarming van het vestibulaire systeem is niet in de literatuur gevonden.

Het is niet duidelijk of het gebruik van een mobiele telefoon kan leiden tot opwarming van het evenwichtsorgaan. Hiervoor is een zekere mate van warmtetransport nodig. Mogelijkheden zijn warmtegeleiding via het bot, convectie via lucht in het middenoor en via warmtestraling. Cox & Luxton denken aan convectie, maar meerdere onderzoekers denken dat vooral warmtestraling een rol speelt (Fel91, Pau99).