Gezondheidsraad

Invloed van radiofrequente telecommunicatiesignalen op kinderhersenen

Invloed van radiofrequente telecommunicatiesignalen op kinderhersenen

aan:

de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu

de minister van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport

Nr. 2011/20, Den Haag, 18 oktober 2011

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 en het gezondheids-(zorg)onderzoek' (art. 22 Gezondheidswet).

De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn & Sport; Infrastructuur & Milieu; Sociale Zaken & Werkgelegenheid; Economische Zaken, Landbouw & Innovatie en Onderwijs, Cultuur & Wetenschap. De raad kan ook op eigen initiatief adviezen uitbrengen, en ontwikkelingen of trends signaleren die van belang zijn voor het overheidsbeleid.

De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden als regel opgesteld door multidisciplinaire commissies van – op persoonlijke titel benoemde – Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.

De Gezondheidsraad is lid van het European Science Advisory Network for Health (EuSANH), een Europees netwerk van wetenschappelijke adviesorganen.

INAHTA

De Gezondheidsraad is lid van het International Network of Agencies for Health Technology Assessment (INAHTA), een internationaal samenwerkingsverband van organisaties die zich bezig houden met *health technology assessment*.

U kunt het advies downloaden van www.gr.nl.

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:
Gezondheidsraad. Invloed van radiofrequente telecommunicatiesignalen op kinderhersenen. Den Haag: Gezondheidsraad, 2011; publicatienr. 2011/20.

auteursrecht voorbehouden

ISBN: 978-90-5549-853-6

Gezondheidsraad
Health Council of the Netherlands

Aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu

Onderwerp : aanbieding advies *Invloed van radiofrequente telecommunicatiesignalen op kinderhersenen*
Ons kenmerk : U-6780/EvR/bp/673
Bijlagen : 1
Datum : 18 oktober 2011

Geachte staatssecretaris,

Hierbij bied ik u het advies *Invloed van radiofrequente telecommunicatiesignalen op kinderhersenen* aan. Het is opgesteld door de Commissie Elektromagnetische velden en beoordeeld door de Beraadsgroep Straling en gezondheid.

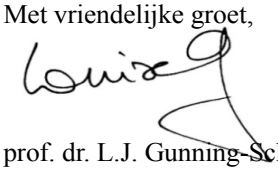
Het gebruik van mobiele telefoons neemt nog steeds toe, en daarnaast verschijnen er steeds meer andere toepassingen van draadloze communicatie, met name draadloos gebruik van internet via WiFi verbindingen. Daardoor neemt de blootstelling van mensen aan de elektromagnetische velden, die door deze apparatuur worden veroorzaakt, toe. Dat baart mensen zorgen. Die zorgen zijn daarbij vaak gericht op de blootstelling van kinderen, omdat zij nog volop in ontwikkeling zijn en daardoor mogelijk gevoeliger zijn voor eventuele negatieve effecten van die blootstelling. Vanwege het gebruik van mobiele telefoons is daarbij met name de ontwikkeling van de hersenen en hersenfuncties van belang. Sinds een aantal jaren wordt daarnaar gericht onderzoek gedaan. De commissie heeft de resultaten daarvan, en van onderzoek aan proefdieren, geëvalueerd. Zij komt daarbij tot de conclusie dat er geen bewijs gevonden is dat blootstelling aan radio-frequente elektromagnetische velden een negatieve invloed heeft op de ontwikkeling en het functioneren van de hersenen van kinderen, ook niet als die blootstelling regelmatig plaatsvindt. Over het optreden bij kinderen van mogelijke andersoortige, op lange termijn

Bezoekadres
Parnassusplein 5
2511 VX Den Haag
Telefoon (070) 340 57 30
E-mail: e.van.rongen@gr.nl

Postadres
Postbus 16052
2500 BB Den Haag
Telefax (070) 340 75 23
www.gr.nl

optredende effecten, zoals het ontstaan van hersentumoren, kan de commissie bij gebrek aan gegevens geen uitspraken doen. De onderzoeken over dit onderwerp bij volwassenen worden door de commissie thans geëvalueerd. Daarover zal de Gezondheidsraad later advies uitbrengen.

Met vriendelijke groet,



prof. dr. L.J. Gunning-Schepers
voorzitter

Bezoekadres
Parnassusplein 5
2511 VX Den Haag
Telefoon (070) 340 57 30
E-mail: e.van.rongen@gr.nl

Postadres
Postbus 16052
2500 BB Den Haag
Telefax (070) 340 75 23
www.gr.nl

Inhoud

Samenvatting *11*

1 Inleiding *15*
1.1 Waarom dit advies? *15*
1.2 Afbakening van dit advies *17*
1.3 Blootstellingslimieten *18*
1.4 Opzet van dit advies *20*

2 De ontwikkeling van de hersenen bij de mens *23*
2.1 Myelinisatie *23*
2.2 Celdeling en celgroei *25*

3 Effecten van radiofrequente velden op de hersenen bij kinderen *27*
3.1 In vitro onderzoek aan hersencellen *28*
3.2 Effecten op de ontwikkeling van hersenen en hersenfuncties *28*
3.3 Effecten op gedrag en cognitie *30*
3.4 Effecten op de bloed-hersenbarrière *31*
3.5 Fysiologische effecten *32*
3.6 Epidemiologisch onderzoek *33*

4 Dosimetrie en blootstellingslimieten *35*
4.1 Computermodellen *35*
4.2 Ontwikkeling en toepassing van specifieke modellen *36*
4.3 SAR-berekeningen met specifieke modellen *36*
4.4 Overschrijding SAR *37*

5 Conclusies en aanbevelingen *39*
5.1 Zijn er gezondheidseffecten gevonden? *39*
5.2 Er is meer onderzoek nodig *40*
5.3 Zijn de blootstellingslimieten adequaat voor kinderen? *41*

Literatuur *43*

Bijlagen *55*
A De commissie *57*
B De groei van mobiele telefonie *59*
C Het elektro-encefalogram *63*
D De zoekstrategie *65*
E Beschrijving van de onderzoeken *67*
F ICNIRP en IEEE limieten algemene bevolking *97*

Samenvatting

Leidt mobiel telefoongebruik tot gezondheidsschade bij kinderen? In eerdere adviezen stelde de Gezondheidsraad vast dat hiervoor geen aanwijzingen bestonden. Belangrijke kanttekening daarbij was het zeer beperkte aantal gegevens. Sindsdien zijn er nieuwe onderzoeken gedaan. Op basis van deze recente gegevens brengt de Commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad nu opnieuw advies uit over dit onderwerp. Concreet gaat het om de effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden zoals afkomstig van mobiele telefoons, antennes voor mobiele telefonie of Wifi-voorzieningen op de ontwikkeling en het functioneren van de hersenen van kinderen van 0 tot 16 jaar. Daarnaast beantwoordt de commissie de vraag of er reden is voor kinderen andere blootstellingslimieten te hanteren dan voor volwassenen.

Bronnen

Het patroon en de mate van blootstelling verschilt voor de verschillende bronnen. Bij gebruik van een mobiele telefoon is de blootstelling plaatselijk en tijdelijk. Blootstelling aan radiogolven van antennes en WiFi-apparatuur is over het gehele lichaam en langdurig. De niveau's zijn echter enkele grootte-ordes lager dan bij gebruik van een mobieltje. Warmte-effecten, waar de blootstellingslimieten op zijn gebaseerd, treden in geen van de gevallen op. Het onderzoek is daarom gericht op niet-thermische effecten.

Onderzoeken naar effecten

De commissie heeft zowel onderzoeken aan proefdieren als aan kinderen in de analyse betrokken. De onderzoeken betreffen uitsluitend kortetermijneffecten en gaan in op diverse aspecten, zoals effecten op de hersenfunctie, op gedrag en cognitie, op de bloed-hersenbarrière (die voorkomt dat eiwitten uit het bloed in het hersenweefsel terecht kunnen komen) en op fysiologische functies (zoals bloeddruk, hartslag, ademhalingssnelheid). Soms is alleen proefdieronderzoek beschikbaar, soms gaat het om kleine aantallen proefpersonen. De beschikbare gegevens blijven daardoor beperkt en zijn niet consistent.

Het beschikbare onderzoek levert geen bewijs voor nadelige effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de hersenfunctie van kinderen. Radiogolven lijken verder geen aantoonbaar negatief effect te hebben op gedrag en cognitie. Over eventuele effecten op de bloed-hersenbarrière zijn alleen onderzoeken beschikbaar bij proefdieren. Daarin leidde blootstelling ver boven de limiet niet tot effecten. Ook lijken radiogolven geen schadelijke fysiologische gevolgen te hebben voor kinderen.

Effecten op lange termijn

Het *International Agency for Research on Cancer* (IARC) van de Wereldgezondheidsorganisatie heeft in mei 2011 radiofrequente elektromagnetische velden als ‘mogelijk kankerverwekkend voor mensen’ bestempeld, vooral op grond van de resultaten van diverse epidemiologische onderzoeken naar de relatie tussen het gebruik van een mobiele telefoon en het voorkomen van hersentumoren bij volwassenen. De recent gepubliceerde resultaten van een onderzoek aan kinderen van 7-19 jaar gaven geen eenduidig beeld te zien. In verschillende landen loopt nog epidemiologisch onderzoek naar de relatie tussen mobiele telefoongebruik en hersentumoren bij kinderen. Over langetermijneffecten bij kinderen kunnen dus voorlopig geen goede uitspraken worden gedaan. De commissie heeft een systematische analyse uitgevoerd van alle gegevens die thans uit epidemiologisch onderzoek naar deze effecten bekend zijn. Daarover stelt zij een apart advies op.

Blootstelling

De maat die wordt gebruikt bij de vaststelling van limieten voor blootstelling aan radiogolven is de ‘specifieke absorptiesnelheid’ (SAR), een maat voor de energieopname in weefsel die kan leiden tot warmteontwikkeling. Omdat de SAR in

de praktijk niet te meten valt, is deze vertaald naar zogenoemde referentiewaarden, uitgedrukt in de sterkte van het elektrische veld op de plaats van blootstelling. De referentiewaarden hangen af van de frequentie. Bij de vaststelling van de limieten is een grote marge gehanteerd, omdat de wetenschappelijke gegevens vaak onzekerheden vertonen en de gevoeligheid van bevolkingsgroepen verschilt. De limiet is daarom vijftig keer lager gesteld dan de waarde waarboven gezondheidseffecten kunnen optreden.

Om vast te stellen welke blootstelling mobiele telefoons of antennes van laptops precies veroorzaken en te toetsen of die binnen de limieten blijft, wordt dosimetrisch onderzoek gedaan. Dat onderzoek laat zien dat er verschillen zijn tussen volwassenen en kinderen in het patroon en de mate van energie-absorptie. De SAR gemiddeld over het hele hoofd is hetzelfde, maar de piek-SAR kan bij kinderen hoger zijn en ook de plek in het hoofd waar die optreedt, kan variëren. Dat komt door anatomische verschillen tussen volwassenen en kinderen. Ook het type telefoon en de manier van vasthouden ervan zijn bepalend voor de omvang en de locatie van de piek-SAR. Het dosimetrisch onderzoek geeft geen aanleiding om aan te nemen dat mobiel telefoongebruik of het gebruik van WiFi apparatuur bij kinderen grotere risico's oplevert dan bij volwassenen.

Limieten

De commissie concludeert dat er geen reden is om voor kinderen andere blootstellingslimieten aan te bevelen. De ruime onzekerheidsmarges die zijn gehanteerd bij de opstelling van de limieten houden rekening met de mogelijk extra gevoeligheid van kinderen. Wel moeten de referentiewaarden voor de frequenties rond 2 GHz aangepast worden, omdat op grond van nieuwe wetenschappelijke inzichten de afleiding daarvan uit de SAR niet meer klopt. Deze verlaging heeft in de praktijk weinig consequenties omdat er in Nederland geen algemeen toegankelijke plekken zijn waar een hogere veldsterkte dan de nieuwe referentiewaarde voorkomt.

Conclusie

Al met al concludeert de commissie dat de in dit advies beschreven stand van wetenschap over kortetermijneffecten geen reden tot verontrusting geeft. De beschikbare gegevens wijzen er niet op dat blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden effect heeft op de ontwikkeling van de hersenen of de gezondheid van kinderen. Dergelijke effecten kunnen echter ook niet uitgesloten worden. Het aantal onderzoeken is namelijk nog steeds beperkt, en ze richten

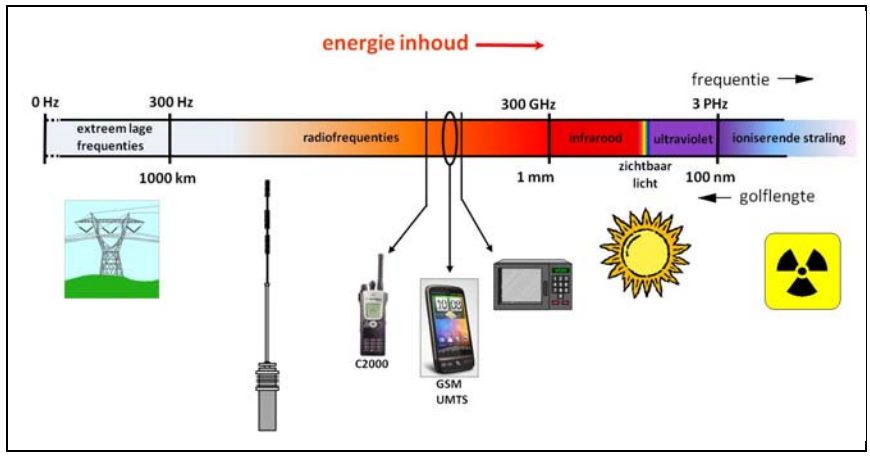
zich vrijwel uitsluitend op kinderen vanaf 10 jaar. Om beter onderbouwde uitspraken te kunnen doen, is dan ook meer onderzoek nodig, met name bij jonge kinderen. Daarnaast is ook nader onderzoek naar langetermijneffecten gewenst.

Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Waarom dit advies?

In diverse adviezen en Jaarberichten heeft de Gezondheidsraad aandacht besteed aan mogelijke effecten van blootstelling aan de radiofrequente elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons op de gezondheid. Radiofrequente elektromagnetische velden maken deel uit van het elektromagnetisch spectrum (zie figuur 1).



Figuur 1 Het elektromagnetisch spectrum, met enkele belangrijke bronnen.

Elektromagnetische velden worden gekenmerkt door de frequentie waarmee zij van positief naar negatief wisselen, deze wordt uitgedrukt in hertz (Hz). Hoe hoger de frequentie, des te hoger de energie-inhoud van de velden. Bij frequenties boven 3 petahertz (PHz; 3.10^{15} Hz), is de energie-inhoud groot genoeg om moleculaire bindingen te kunnen verbreken. Dat proces heet ionisatie en de elektromagnetische velden met frequenties hoger dan 3 PHz worden daarom ook wel ioniserende straling genoemd. Alle frequenties lager dan 3 PHz worden samengevat onder de noemer niet-ioniserende elektromagnetische velden. Bij elektromagnetische velden met frequenties in het radiofrequente gebied is, evenals bij infrarood straling, opwarming het enige wetenschappelijk vastgestelde effect dat tot gezondheidsproblemen kan leiden.

De raad concludeerde in eerdere adviezen dan ook keer op keer dat negatieve effecten op de gezondheid niet zijn aangetoond, met uitzondering van warmtegerelateerde effecten die op kunnen treden bij hoge blootstellingsniveaus.[1] Overmatige opwarming kan bijvoorbeeld tot uitdroging leiden en bestaande hart- en vaatproblemen verergeren. Er zijn tot op heden geen andere werkingsmechanismen aangetoond die een verklaring zouden kunnen geven voor een eventueel effect op de gezondheid (niet aan warmte gerelateerde, of niet-thermische effecten).[2] Niettemin blijven mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden in het dagelijks leven onderwerp van maatschappelijke discussie en dat is een van de redenen dat de Gezondheidsraad regelmatig rapporteert over de wetenschappelijke ontwikkelingen op dit gebied.

Een onderwerp dat nadrukkelijk in de publieke belangstelling is komen te staan, is of het gebruik van mobiele telefoons speciaal bij kinderen gevaar voor de gezondheid oplevert. In het advies *Mobiele telefoons* uit 2002[3] en later in een briefadvies uit 2005[4] heeft de Gezondheidsraad over dit onderwerp gerapporteerd. De weinige beschikbare concrete gegevens gaven destijds geen aanleiding om, zoals door anderen wel gebeurde[5], aan te bevelen het voeren van gesprekken met een mobiele telefoons door kinderen zoveel mogelijk te beperken.

De schaarste aan onderzoeksgegevens heeft geleid tot oproepen van onder meer de Gezondheidsraad[6,7] en de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO)[8,9] om meer gericht onderzoek naar eventuele effecten bij kinderen te doen. In diverse landen is hieraan gehoor gegeven en er verschijnen in toenemende mate wetenschappelijke publicaties over deze onderzoeken. De toegenomen hoeveelheid informatie rechtvaardigt een nieuwe analyse die in dit advies wordt gepresenteerd.

Behalve zorgen over mogelijk nadelige effecten van het gebruik van een mobiele telefoon door kinderen, zijn er soms ook zorgen over de aanwezigheid van antennes voor mobiele telecommunicatie in de leefomgeving van kinderen,

bijvoorbeeld op of bij de school, of over WiFi-voorzieningen (draadloos internet) in de school. Daarnaar is slechts op zeer beperkte schaal onderzoek gedaan. Deze onderzoeken worden in dit advies ook besproken.

Het patroon en de mate van blootstelling verschilt voor de verschillende bronnen. Bij gebruik van een mobiele telefoon is de blootstelling plaatselijk en tijdelijk. Blootstelling aan radiogolven van antennes en WiFi-apparatuur is over het gehele lichaam en langdurig. De niveau's zijn echter enkele grootte-ordes lager dan bij gebruik van een mobieltje. Warmte-effecten, waar de blootstellingslimieten op zijn gebaseerd, treden in geen van de gevallen op. Het onderzoek is daarom gericht op niet-thermische effecten.

1.2 Afbakening van dit advies

Dit advies gaat over kortetermijneffecten die het gevolg zijn van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden. Het gaat niet over mogelijke effecten op langere termijn. Daarover stelt de commissie een apart advies op. In mei 2011 heeft het *International Agency for Research on Cancer* (IARC) van de Wereldgezondheidsorganisatie radiofrequente elektromagnetische velden als 'mogelijk kankerverwekkend voor mensen' bestempeld, vooral op grond van de resultaten van diverse epidemiologische onderzoeken naar de relatie tussen het gebruik van een mobiele telefoon en het voorkomen van hersentumoren bij volwassenen. De recent gepubliceerde resultaten van een onderzoek aan kinderen van 7-19 jaar gaven geen eenduidig beeld te zien. In verschillende landen loopt nog epidemiologisch onderzoek naar de relatie tussen mobiele telefoongebruik en hersentumoren bij kinderen. Over langetermijneffecten bij kinderen kunnen dus voorlopig geen goede uitspraken worden gedaan. De commissie heeft een systematische analyse uitgevoerd van alle gegevens die thans uit epidemiologisch onderzoek naar deze effecten bekend zijn en gebruikt die als basis voor haar advies.

Dit advies gaat ook niet over een mogelijke beïnvloeding van de cognitieve ontwikkeling of het gedrag bij kinderen door andere factoren, bijvoorbeeld de wijze en mate van het gebruik van een mobiele telefoon. Die veranderen in de tijd en met de leeftijd. Het is wel illustratief om daarover hier wat informatie te geven.

Uit diverse onderzoeken blijkt dat het gebruik van een mobiele telefoon door kinderen zeer wijd verspreid is.[10-16] Zelfs op lagereschoolleeftijd is het percentage gebruikers aanzienlijk.[14,15] Een onderzoek uit 2009 onder 5416 Nederlandse jongeren van 8-18 jaar laat zien dat van de 8-jarigen circa 25% een mobiele tele-

foon heeft, en dat dit percentage lineair toeneemt tot bijna 100% op 13-jarige leeftijd.[16] Met toenemende leeftijd verandert ook het gebruik: er wordt meer en vaker ge-sms't dan gebeld. Een onderzoek uit de VS laat zien dat het percentage kinderen dat een mobiele telefoon heeft in alle leeftijdsgroepen is toegenomen tussen 2004 en 2009: bij 8-10 jarigen van 21% naar 31%, bij 11-14 jarigen van 36% naar 69% en bij 15-18 jarigen van 56% naar 89%.[15] Gemiddeld wordt per dag door de jongste leeftijdsgroep 10 minuten aan gesprekken via de mobiele telefoon besteed, bij de middelste groep is dat 36 minuten en bij de oudste groep 43 minuten. De tijd besteed aan sms'en is hoger: 1 uur en 13 minuten in de middelste en 1 uur en 51 minuten in de hoogste leeftijdsgroep. De 8-10 jarigen sms'en vrijwel niet, wat ook uit het Nederlandse onderzoek blijkt.[16] Bij sms'en is de blootstelling van het hoofd aan radiofrequente velden aanzienlijk lager dan bij het voeren van een gesprek.

In bijlage B geeft de commissie een kort overzicht van de snelle groei van de mobiele telefonie.

Dit advies gaat dus alleen over de mogelijke korte termijn invloed van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden. Het beoogt antwoorden te geven op de volgende vragen:

- brengt het gebruik van mobiele telefoons of de aanwezigheid van antennes voor mobiele telefonie of van WiFi-voorzieningen in de leefomgeving op korte termijn een verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten voor kinderen met zich mee, als gevolg van de blootstelling aan de door deze apparaten uitgezonden elektromagnetische velden;
- is er aanleiding om voor kinderen andere blootstellingslimieten vast te stellen dan voor volwassenen?

Als 'kinderen' worden in dit advies beschouwd jongeren tot de leeftijd van 16 jaar.

1.3 Blootstellingslimieten

Omdat boven een bepaald niveau van blootstelling aan elektromagnetische velden gezondheidseffecten mogelijk zijn, zijn door diverse organisaties blootstellingslimieten voorgesteld. In vele landen, waaronder Nederland, worden de limieten gehanteerd die zijn opgesteld door de *International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP).[17] In Noord-Amerika zijn de limieten van de IEEE (voorheen het *Institute of Electrical and Electronics Engineers* van belang.[18,19]

Zowel de limieten van de ICNIRP als die van de IEEE zijn gebaseerd op kortetermijneffecten. Beide organisaties zijn van mening dat langetermijneffecten onvoldoende zijn vastgesteld om te gebruiken bij het opstellen van blootstellingslimieten. De limieten zijn voor de gebieden van lage en hoge frequenties gebaseerd op verschillende effecten; bij lage frequenties is dat elektrische stimulatie van het centraal en perifeer zenuwstelsel, bij hoge frequenties (waar het in dit advies over gaat) de opwekking van warmte. De limieten zijn geformuleerd in verschillende grootheden. Bij lage frequenties is dit de sterkte van het opgewekte interne elektrische veld en bij hoge frequenties is het de specifieke absorptiesnelheid (*Specific Absorption Rate*, SAR), die een maat is voor de energieopname en daarmee voor de warmteontwikkeling in weefsel.

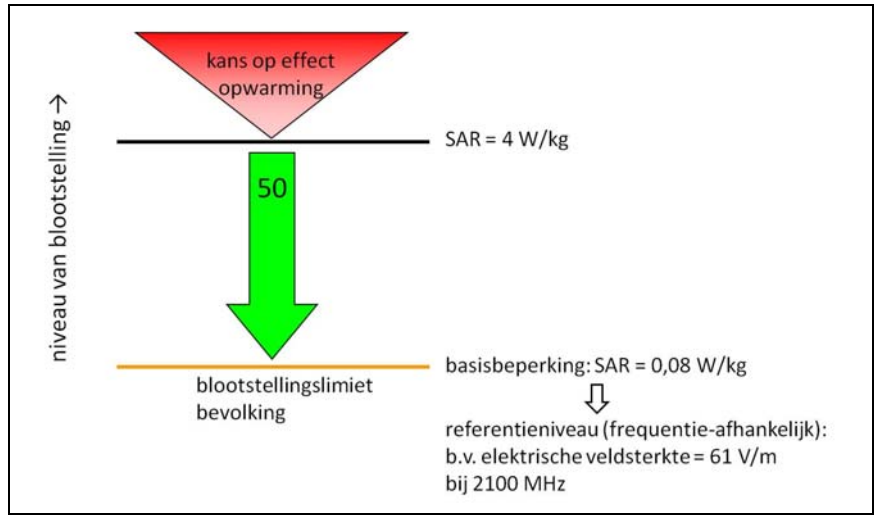
ICNIRP en IEEE noemen deze grootheden 'basisbeperkingen' (*basic restrictions*). Een probleem met deze grootheden is, dat zij in het lichaam in de praktijk niet zijn te meten. Daarom zijn er van de basisbeperkingen waarden afgeleid voor grootheden die wel meetbaar zijn: de sterkte van het onverstoorde elektrische en magnetische veld op de plaats van blootstelling, die overeenkomen met de in het lichaam opgewekte elektrische veldsterkte respectievelijk de SAR. Deze grootheden worden door ICNIRP 'referentiewaarden' (*reference levels*) genoemd en door IEEE 'maximaal toelaatbare blootstellingen' (*maximum permissible exposures* of MPEs). Ze zijn met de destijds beschikbare middelen zodanig afgeleid van de basisbeperkingen, dat het niet overschrijden van de referentiewaarden betekent dat ook de basisbeperkingen niet worden overschreden. Daarmee zijn de referentiewaarden een middel om relatief eenvoudig vast te stellen of aan de blootstellingslimieten wordt voldaan. In de praktijk wordt daartoe doorgaans de sterkte van het elektrische veld gehanteerd.

Bij het vaststellen van de grootte van de basisbeperkingen is een bepaalde onzekerheidsmarge gehanteerd, waarmee rekening wordt gehouden met enerzijds de onzekerheden in de wetenschappelijke gegevens, en anderzijds met verschillen in gevoeligheid tussen verschillende bevolkingsgroepen. Zo kunnen bijvoorbeeld jonge kinderen, ouderen en zieken vaak minder goed omgaan met opwarming van het lichaam door externe factoren. De onzekerheidsmarge voor de algemene bevolking is een factor 50. Dat wil zeggen dat de limieten 50 maal lager worden gezet dan de waarde waarboven gezondheidseffecten kunnen optreden (zie figuur 2).

In de praktijk worden voor radiofrequente elektromagnetische velden de referentiewaarden als blootstellingslimieten gehanteerd. Een uitzondering hierop is de situatie wanneer een mobiele telefoon tegen het hoofd wordt gehouden. Dan is de afstand tussen de bron van blootstelling, de telefoon, en het lichaam zo klein dat

de referentiewaarden niet van toepassing zijn. In dat geval moet teruggegrepen worden op de basisbeperking, in dit geval de SAR. Bij de meeste mobiele telefoons wordt in de documentatie de SAR-waarde opgegeven; dit is de maximale SAR die in het hoofd bereikt kan worden.

In dit advies worden voor de blootstellingslimieten de termen ‘referentiewaarde’ en ‘SAR-limiet’ gebruikt.



Figuur 2 Boven een bepaald niveau van blootstelling, bijvoorbeeld een SAR van 4 W/kg bij blootstelling van het gehele lichaam, kan een gezondheidseffect optreden, bijvoorbeeld overmatige en daardoor schadelijke opwarming. De blootstellingslimiet voor de algemene bevolking is een factor 50 lager vastgesteld op een SAR van 0,08 W/kg. Dit is de basisbeperking. Van de basisbeperking zijn referentiewaarden afgeleid; deze zijn frequentie-afhankelijk.

1.4 Opzet van dit advies

Dit advies is opgesteld door de Commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad. De samenstelling van de commissie staat in bijlage A.

Het advies begint met een korte samenvatting van enkele relevante aspecten van de ontwikkeling van de hersenen bij de mens. Bijlage C bij deze inleiding geeft wat uitgebreidere achtergrondinformatie over het elektro-encefalogram (EEG).

De commissie heeft een uitgebreid literatuuronderzoek uitgevoerd naar de huidige stand van kennis met betrekking tot de mogelijke invloed van regelmatige of langdurige blootstelling aan elektromagnetische velden met frequenties

tussen 10 MHz tot 300 GHz op de ontwikkeling van de hersenen en hersenfuncties bij kinderen; dat onderzoek staat beschreven in bijlage D.

De hoofdtekst van het advies bevat een samenvatting en de conclusies van de beschikbare gegevens. Een uitgebreide beschrijving van de gevonden onderzoeken is opgenomen in bijlage E. In bijlage F, ten slotte, geeft de commissie een overzicht van de huidige blootstellingslimieten en doet zij een voorstel voor een gedeeltelijke bijstelling.

Hoofdstuk **2**

De ontwikkeling van de hersenen bij de mens

De ontwikkeling van de hersenen bij de mens is een langdurig en uiterst complex proces, dat na de geboorte nog doorgaat tot in de fase van volwassenheid.

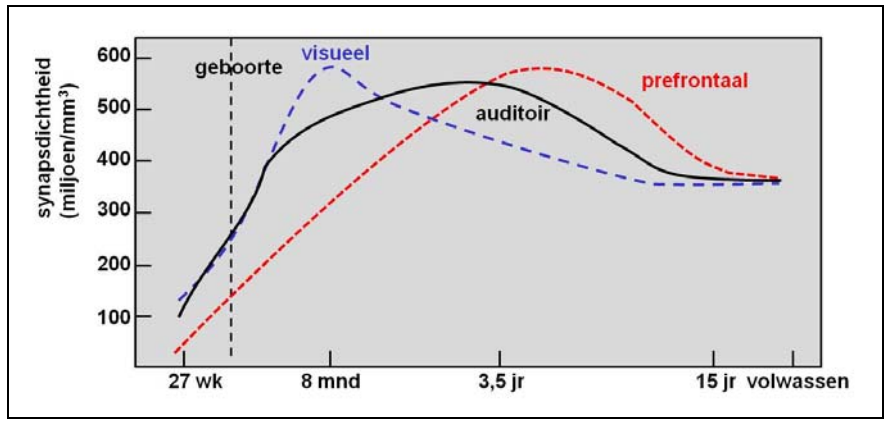
2.1 Myelinisatie

Vanuit het perspectief van doordringing van elektromagnetische velden in het hersenweefsel zijn met name het watergehalte en de myelinisatie van belang. Myelinisatie is het proces waarbij zenuwvezels worden omgeven door een isolerende laag, myeline, die wordt gevormd door de vetachtige celmembranen van de zogenoemde Schwanncellen. Hierdoor kunnen elektrische impulsen door de zenuwvezels worden geleid. Met toenemende myelinisatie en het daarmee afnemend watergehalte neemt de elektrische geleidbaarheid van het hersenweefsel af.[20,21] Dat resulteert dan weer in veranderingen in de doordringing van de elektromagnetische velden in het hersenweefsel. De myelinisatie begint voor de geboorte en verloopt in die periode en in de eerste twee levensjaren het snelst. Daarna vlakt het proces sterk af. Op een leeftijd van circa twee jaar is de myelinisatie van zenuwvezels vrijwel gelijk aan die bij volwassenen.[20,21] Dat kan betekenen dat de elektrische geleidbaarheid van het hersenweefsel na die tijd niet veel meer zal veranderen, maar daarover zijn geen gegevens bekend.

De functionele ontwikkeling van de hersenen loopt deels parallel met de myelinisatie, omdat dit laatste proces plaats vindt naarmate de zenuwcellen (neuronen) actief worden. Van groot belang voor de functionele ontwikkeling is echter ook de vorming van synapsen, de verbindingen tussen de neuronen waardoor deze met elkaar communiceren. In de eerste levensjaren worden er vooral synapsen gevormd, waarbij er een overschot ontstaat. Synapsen die niet nodig zijn verdwijnen daarna weer. Dit proces vindt plaats tot aan het eind van de puberteit. Het dient waarschijnlijk voor de fijne afstemming van het neuronale netwerk, waardoor de informatieverwerking beter aangepast is aan de eisen van de omgeving. Het verloop in de tijd is voor verschillende delen van de hersenen anders, wat wordt weerspiegeld in de verschillen in ontwikkeling van de hersenfuncties (zie figuur 3).[22]

Tijdens de volwassen levensfase is er een balans tussen de processen van vorming en verdwijnen van synapsen, onder meer onder invloed van leer- en geheugenprocessen.

Het verdwijnen van synapsen vindt plaats onder invloed van elektrische activiteit, onder meer afkomstig van de zintuigen. De vraag rijst dan, of blootstelling aan externe elektromagnetische velden, die in de hersenen een elektrisch veld kunnen veroorzaken, op dit proces een invloed kan hebben. Mocht dit het geval zijn, dan betekent het dat blootstelling van de hersenen aan externe elektromagnetische velden de ontwikkeling van de hersenen, en daarmee van het organisme, beïnvloedt. Het is daarom van groot belang om hierover informatie te verkrijgen, bijvoorbeeld uit onderzoek naar veranderingen in het functioneren van de hersenen bij blootstelling in de vroege levensfasen.

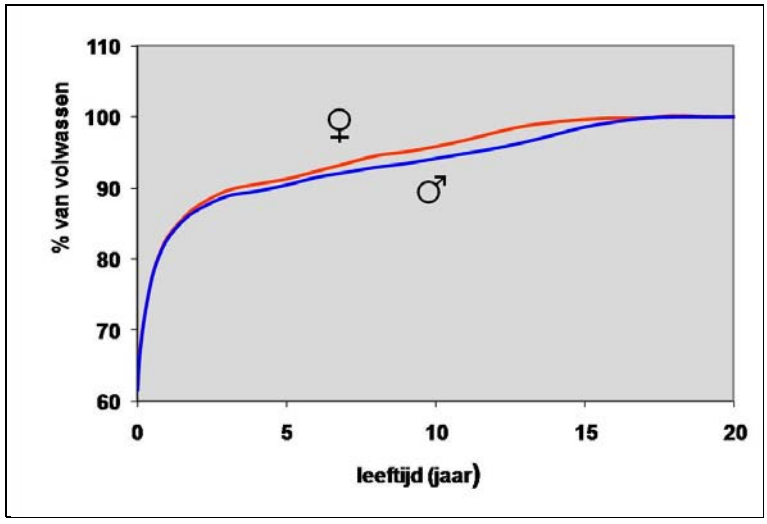


Figuur 3 Ontwikkeling van het aantal synapsen in verschillende delen van de hersenschors.[22]

2.2 Celdeling en celgroei

Een van de redenen waarom kinderen vaak worden verondersteld gevoeliger te zijn dan volwassenen voor effecten van externe factoren is dat zij groeien en dat er daarbij veel celdelingen optreden. De celdeling is een proces waarin schade als gevolg van blootstelling aan bijvoorbeeld externe factoren mogelijk niet voldoende hersteld kan worden, waardoor er fouten in het erfelijk materiaal vastgelegd kunnen worden. Die kunnen dan leiden tot ziektes of afwijkingen. De toename van het aantal cellen in de hersenen vindt bij de mens vooral in de eerste levensjaren plaats.

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 puberteit, de rest van het lichaam sterk uit, waardoor de verhouding tussen hoofd en lichaam verandert. De omtrek van het hoofd van een eenjarige is circa 83% van die van een volwassene (figuur 4). Bij een 7-jarige is dat circa 93%.[23] 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.[24]



Figuur 4 Schedelomtrek als percentage van die bij volwassenen, voor jongens en meisjes in Vlaanderen.[23]

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.[25] Het water- en ionengehalte in de schedelbeenderen, en daarmee de geleidbaarheid, neemt in die periode af. Hierdoor, en door de dikte-groei, 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.[26] Na die tijd neemt alleen het gewicht van de cellen toe.

Hoofdstuk **3**

Effecten van radiofrequente velden op de hersenen bij kinderen

Er is slechts een beperkt aantal wetenschappelijke onderzoeken gepubliceerd over de effecten van radiofrequente velden op de ontwikkeling en het functioneren van de hersenen bij kinderen. In de volgende paragrafen geeft de commissie algemene conclusies over de verschillende onderwerpen die zijn onderzocht. Een uitgebreidere beschrijving van de onderzoeken en een overzichtstabel zijn te vinden in bijlage E. De commissie beperkt zich in dit advies tot effecten van blootstelling na de geboorte, omdat zij deze situatie het meest relevant vindt voor de vraag of het gebruik van een mobiele telefoon, of blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden afkomstig van antennes of WiFi-systemen, bij kinderen gezondheidsproblemen kan veroorzaken.

Bij de interpretatie van de experimentele onderzoeken is het van belang voor ogen te houden dat extrapolatie van proefdieronderzoek naar de mens lastig is, onder meer omdat bij proefdieren, met name bij knaagdieren als ratten en muizen die het meest voor dergelijk onderzoek worden gebruikt, altijd de gehele hersenen worden blootgesteld, waardoor de verdeling van de elektromagnetische velden over de hersenen anders is dan bij de mens. Daarnaast zijn er tussen knaagdieren enerzijds en apen (die in sommige onderzoeken zijn gebruikt) en mensen anderzijds, grote verschillen in de architectuur en in het verloop van de ontwikkeling van de hersenen. Om deze redenen vindt de commissie dat knaagdieren voor het meeste onderzoek naar effecten van radiofrequente elektromagnetische velden op de vroege ontwikkeling van de hersenen bij mensen geen

goed model zijn. Voor de volledigheid bespreekt zij de onderzoeken met knaagdieren wel.

Dit hoofdstuk begint met een kort overzicht van relevant onderzoek aan gekweekte cellen (in vitro onderzoek). Dit type onderzoek is nuttig en nodig voor het bestuderen van effecten op cellulair en moleculair niveau. Omdat de cellen zich in een kunstmatige omgeving bevinden, zonder de normale regelmechanismen en interacties die plaatsvinden in een intact organisme, zijn eventuele veranderingen echter niet zonder meer te extrapoleren naar gezondheidseffecten in een organisme, zoals de mens.

In de daaropvolgende paragrafen wordt per onderwerp eerst het beschikbare onderzoek aan proefdieren besproken en vervolgens dat aan kinderen.

3.1 In vitro onderzoek aan hersencellen

In vitro zijn bij vers geïsoleerde zenuwcellen uiteenlopende effecten gevonden, over het algemeen bij blootstellingen die hoger zijn dan de SAR-limietwaarde van 2 W/kg die van toepassing is voor blootstelling van het hoofd bij gebruik van een mobiele telefoon.[27-31] Door de variatie in cellijnen en eindpunten is het lastig een eenduidig beeld te verkrijgen. Onderzoek aan steuncellen uit hersenweefsel levert tegenstrijdige resultaten op: enerzijds is in een onderzoek bij blootstelling iets onder de SAR-limiet al een effect gevonden op een enzym dat van belang is bij celgroei en differentiatie[32], anderzijds werd in een ander onderzoek bij blootstelling meer dan 10x hoger dan de SAR-limiet geen effect gevonden.[33]

Op grond van de gegevens over het in vitro onderzoek kan de commissie geen uitspraken doen over de vraag of gevonden effecten van belang zijn voor de gezondheid.

3.2 Effecten op de ontwikkeling van hersenen en hersenfuncties

De elektrische activiteit van de hersenen kan worden gemeten door elektroden op het hoofd te bevestigen en de elektrische signalen vervolgens te registreren. Dit wordt een elektro-encefalogram (EEG) genoemd. In Bijlage C is een nadere uitleg van het EEG opgenomen, en informatie over de betekenis van de verschillende hersengolven.

3.2.1 Proefdieren

Bij proefdieren is in een onderzoek bij ratten geen effect van blootstelling aan radiofrequente velden gevonden op het spontane EEG en op elektrische activiteit die door een lichtstimulus werd opgewekt.[34] Blootstelling aan radiofrequente velden vond plaats bij niveaus van 20% en 100% van de SAR-limiet voor blootstelling van het hoofd bij de mens. In een ander onderzoek met ratten[35,36] is evenmin een effect gevonden van blootstelling aan radiofrequente velden op de door een geluidstimulus opgewekte elektrische activiteit, maar bij konijnen was dit wel het geval.[37-39] Helaas zijn deze onderzoeken door het ontbreken van goede blootstellingsgegevens niet goed te interpreteren.

In proefdieren zijn in sommige onderzoeken na blootstelling aan radiofrequente velden ook veranderingen in verschillende celtypen in hersenweefsel waargenomen, bijvoorbeeld in de rat[40-42] (blootstelling aan 2,3% of 100% van de SAR-limiet bij de mens) en bij springmuizen (blootstellingsniveau ontbreekt).[43] In andere onderzoeken met ratten en in een onderzoek met doodshoofdapen (blootstellingen tot 7x de SAR-limiet bij de mens) zijn dergelijke effecten niet gevonden.[44-47]

3.2.2 Kinderen

In het Jaarbericht 2008 concludeerde de commissie dat blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden afkomstig van mobiele telefoons bij volwassenen kan leiden tot subtiele veranderingen in de activiteit van de hersenen.[48] Ook bij kinderen zijn in drie onderzoeken[49-51] subtiele, maar verschillende, veranderingen gevonden in de zogenoemde alfaband van het EEG (natuurlijke frequenties van 8-13 Hz). Het is echter onbekend wat de betekenis is van variaties in de activiteit in de alfaband. Er zijn geen aanwijzingen dat ze van invloed zijn op de ontwikkeling van de hersenen of op de gezondheid. Deze onderzoeken waren wat betreft het aantal proefpersonen beperkt van omvang en de bevindingen zouden ook als toevalstreffers verklaard kunnen worden. In twee andere onderzoeken, waarvan er één een groot aantal proefpersonen heeft onderzocht, zijn geen effecten gevonden.[52,53]

3.2.3 Conclusie

De commissie vindt dat consistente effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden op de hersenfunctie bij kinderen niet zijn aangetoond.

Voor zover er effecten zijn waargenomen, zijn deze tijdelijk en gering en ontbreken aanwijzingen dat ze van invloed kunnen zijn op de gezondheid. Proefdieronderzoek levert evenmin aanwijzingen voor effecten op het functioneren van de hersenen op.

3.3 Effecten op gedrag en cognitie

Cognitieve functies zoals geheugen en reactiesnelheid zijn van groot belang voor het goed kunnen functioneren in de leefomgeving. Veranderingen in deze functies kunnen verslechteringen, maar ook verbeteringen zijn. De variaties in cognitief functioneren tussen individuen zijn aanzienlijk.

3.3.1 Proefdieren

Langdurige blootstelling van jonge ratten (enkele uren per dag gedurende enkele weken) leidde in één onderzoek met blootstelling aan niveaus van 15% en 150% van de 2 W/kg SAR-limiet voor blootstelling van het hoofd bij de mens tot een verbeterd leervermogen en geheugen[46] en in een ander met blootstelling aan 318% van de referentiewaarde (een elektrische veldsterkte van 61 V/m bij 2450 MHz) tot een lager uithoudingsvermogen.[54] In vier andere onderzoeken werden bij jonge ratten geen effecten op het gedrag of geheugen gevonden bij blootstelling aan respectievelijk 1,5-7,3% van de SAR limiet[55], 2,3% van de SAR-limiet[42], 225 en 318% van de referentiewaarde (een elektrische veldsterkte van 61 V/m bij 2450 MHz)[34] en 160% van de referentiewaarde (een elektrische veldsterkte van 42 V/m bij 925 MHz).[56]

3.3.2 Kinderen

Bij kinderen kon in het laboratorium niet eenduidig worden aangetoond dat kortdurende blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden van mobiele telefoons leidt tot veranderingen in cognitieve functies.[51,57-59] Een recent onderzoek aan 13-15 jarigen waarbij de geheugentaken waren afgestemd op de individuele capaciteiten geeft bij één test een aanwijzing voor een vermindering van de nauwkeurigheid.[51]

In een observationeel onderzoek aan kinderen van rond de 13 jaar zijn in de groep dagelijkse gebruikers van een mobiele telefoon wel verschillen in cognitieve functies waargenomen ten opzichte van de groep kinderen die de telefoon weinig gebruikten. Die verschillen zijn echter naar alle waarschijnlijkheid niet gerelateerd aan de blootstelling aan de door de telefoon uitgezonden elektromag-

netische velden, maar aan het hanteren van en werken met de telefoon (met name handigheid in het bedienen van de toetsen bij sms'en).[60] In dit onderzoek werden alleen waarnemingen van een bestaande situatie gedaan; de blootstelling was niet te controleren en is ook niet bepaald; alleen het aantal gesprekken per week is geïnventariseerd. Dergelijk onderzoek heeft daarom in het kader van dit advies slechts beperkte waarde.

Bij volwassenen zijn in sommige experimentele onderzoeken wel effecten op cognitieve functies gevonden, maar deze zijn altijd gering en omkeerbaar en de effecten wijzen doorgaans op een verbetering van de prestaties.[61-72] De onderzoeken met grotere aantallen volwassen proefpersonen laten over het algemeen geen effecten zien.[59,73-83]

3.3.3 Conclusie

Blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden lijkt geen duidelijk effect te hebben op gedrag en cognitie bij kinderen. Het onderzoek met proefdieren is alleen met ratten uitgevoerd, en daardoor in de ogen van de commissie minder relevant. Een algemeen probleem bij zowel de onderzoeken aan kinderen als die met proefdieren is het geringe aantal onderzoeken en, op één uitzondering na[60], het geringe aantal proefpersonen of proefdieren per onderzoek.

3.4 Effecten op de bloed-hersenbarrière

De bloed-hersenbarrière in de hersenen zorgt ervoor dat grote moleculen zoals eiwitten niet vanuit het bloed in het hersenweefsel terecht kunnen komen. Was dit wel het geval, dan zou dat van invloed kunnen zijn op het functioneren van de hersenen en op de gezondheid in het algemeen. Onderzoek naar effecten van blootstelling aan radiofrequente velden op de bloed-hersenbarrière is daarom van belang.

Langdurige blootstelling van jonge ratten aan mobiele telefoonsignalen of andere radiofrequente elektromagnetische velden, met niveaus tot ver boven de blootstellingslimiet (SAR tot 6 W/kg, de limiet is 2 W/kg), leidde in diverse onderzoeken niet tot veranderingen in de bloed-hersenbarrière.[46,84,85] Twee recente overzichten geven aan dat ook bij volwassen proefdieren er geen overtuigende bewijzen zijn voor effecten op de bloed-hersenbarrière.[86,87]

3.5 Fysiologische effecten

Veranderingen in fysiologische functies kunnen van invloed zijn op de gezondheid als ze buiten de normale variatie vallen en onvoldoende gecompenseerd kunnen worden. Als de homeostatische balans van een organisme verstoord raakt, kan het organisme ziek worden.

3.5.1 Proefdieren

Bij jonge ratten zijn diverse fysiologische veranderingen waargenomen na blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden, zoals variabele effecten op groeihormoonspiegels[88,89] (blootstelling aan 20% van de 2 W/kg SAR-limiet voor blootstelling van het hoofd bij de mens), een toename van DNA-schade[90,91] (blootstelling van 5,5 tot 100% van de SAR-limiet), toe- en afname van de activiteit van verschillende enzymen in de hersenen[92-94] (blootstelling aan 4% of 5,5% van de SAR-limiet) en variabele effecten op pijnbeleving[95] (blootstelling aan 20% van de SAR-limiet).

De proefdieronderzoeken waarin DNA-schade in hersencellen is gevonden dienen te worden gezien in het totaal van alle gegevens over dit onderwerp. In een recente review concluderen Verschaeve en medeauteurs dat de beschikbare gegevens geen overtuigende bewijzen leveren voor genetische effecten in proefdieren.[96]

3.5.2 Kinderen

In een onderzoek aan kinderen is een grote verscheidenheid aan fysiologische parameters onderzocht, overigens zonder aan te geven wat de natuurlijke variatie is.[97] Bij mannelijke, maar niet bij vrouwelijke tieners werd een afname van de elektrische weerstand van de huid gevonden bij blootstelling aan het signaal van een mobiele telefoon; geen van beide geslachten vertoonde effecten op de bloeddruk, hartslag of ademhalingssnelheid.

3.5.3 Conclusie

De beschikbare gegevens wijzen er in het algemeen niet op dat blootstelling aan radiofrequente velden onder de blootstellingslimieten kan leiden tot veranderingen in fysiologische functies die schadelijk zijn voor de gezondheid. De onder-

zoeken dienen echter gerepliceerd te worden om met meer zekerheid uitspraken te kunnen doen.

3.6 Epidemiologisch onderzoek

Onderzoek aan populaties kan geen direct oorzakelijk verband aantonen tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en effecten op de gezondheid, maar het kan wel aanwijzingen geven voor zo'n verband.

In een onderzoek onder Duitse jongeren van 8-12 en 13-17 jaar werd de blootstelling over 24 uur gemeten. In beide leeftijdsgroepen werd een verhoging gevonden van gedrags-, maar niet van andere emotionele problemen op basis van zelfrapportage bij de meest blootgestelde groep.[98] Er was geen verband tussen blootstelling en chronische klachten.[99]

In Denemarken, Noorwegen, Zweden en Zwitserland is een patiënt-controle-onderzoek (Cephalo) uitgevoerd naar de relatie tussen het gebruik van een mobiele telefoon en het optreden van hersentumoren bij kinderen in de leeftijd van 7-19 jaar.[100,101] De auteurs concluderen dat geen verhoogd risico op hersentumoren bij kinderen is aangetoond, maar de problemen bij de interpretatie zijn vergelijkbaar met die bij soortgelijk onderzoek aan volwassenen. De commissie stelt hierover thans een advies op, waarin de gegevens over dit onderzoek ook zullen worden besproken.

Daarnaast is in 2010 in 13 landen, waaronder Nederland, een groot patiënt-controle onderzoek (MOBI-KIDS) gestart, waarin de relatie tussen het gebruik van een mobiele telefoon en het optreden van hersentumoren bij kinderen in de leeftijd van 10-24 jaar wordt onderzocht (zie http://www.mbkds.net/).

Zoals in hoofdstuk 1 is aangegeven, verschuift het eerste gebruik van mobiele telefoons door kinderen naar steeds jongere leeftijd en neemt de mate van gebruik in alle leeftijdsklassen toe. Jonge kinderen bellen meer dan zij sms'en, maar met toenemende leeftijd draait dit patroon om. Onderzoek naar effecten bij kinderen, met name langetermijneffecten, loopt achter bij deze ontwikkelingen. De resultaten van de lopende onderzoeken zullen nog een aantal jaren op zich laten wachten. Over het optreden van langetermijneffecten bij kinderen kunnen dus voorlopig geen goede uitspraken worden gedaan.

Hoofdstuk **4**

Dosimetrie en blootstellingslimieten

4.1 Computermodellen

ICNIRP heeft voor het afleiden van de referentiewaarden uit de basisbeperkingen eenvoudige rekenkundige modellen gebruikt.[17] De afgelopen decennia is er een sterke ontwikkeling geweest van computermodellen voor het nauwkeurig berekenen van de inwendige veldsterkte en de SAR, waarbij gebruik wordt gemaakt van anatomische modellen. Deze zijn verkregen door middel van MRI-scans van het gehele lichaam, die vervolgens zijn verdeeld in blokjes van enkele kubieke millimeters (voxels). Elke voxel krijgt de elektromagnetische eigenschappen toebedeeld van het weefsel waarmee het in het model correspondeert. Hiermee kan dan berekend worden hoe een elektromagnetisch veld dat van buiten af op het lichaam valt, zich in het lichaam verspreidt en wat de daardoor veroorzaakte stroomdichtheid, elektrische veldsterkte of SAR is. Hoe kleiner de voxels, des te nauwkeuriger het model (maar ook des te langer de rekentijd).*

* Door ICNIRP wordt de SAR geformuleerd als de SAR gemiddeld over het gehele lichaam (totale-lichaams SAR). Daarnaast geeft ICNIRP waarden voor lokale SAR (bijvoorbeeld in het hoofd of de ledematen), dat zijn waarden gemiddeld over 10 g weefsel (SAR_{10g}). IEEE heeft een vergelijkbare benadering, maar in een oudere en nog regelmatig gebruikte versie van de aanbevelingen middelde IEEE de lokale SAR over 1 g weefsel (SAR_{1g}). In het dosimetrisch onderzoek worden vaak de locatie en grootte bepaald van de maximale SAR (piek-SAR). Daarbij is niet altijd aangegeven of dit de SAR in 1 voxel is, of de SAR_{10g} of SAR_{1g}.

4.2 Ontwikkeling en toepassing van specifieke modellen

Dergelijke modellen worden nu veelvuldig gebruikt voor het bepalen van de relatie tussen blootstelling aan een extern elektromagnetisch veld en de daardoor opgewekte inwendige veldsterkte. Dit soort berekeningen is om twee redenen van belang. Ten eerste om vast te stellen wat de blootstelling is die door bijvoorbeeld mobiele telefoons of antennes in laptops wordt veroorzaakt en of daarbij wordt voldaan aan de blootstellingslimieten. Ten tweede om te onderzoeken of bij blootstelling aan de referentiewaarden onder alle omstandigheden de basisbeperkingen niet worden overschreden. In beide gevallen is het van belang dat er niet alleen gebruik wordt gemaakt van modellen van volwassenen, maar ook van modellen van kinderen van verschillende leeftijden, omdat de anatomische verschillen tussen kinderen en volwassenen groot kunnen zijn. Bovendien is het van belang om de natuurlijke variatie in anatomie bij zowel mannen als vrouwen in aanmerking te nemen. De afgelopen jaren zijn er daarom diverse modellen ontwikkeld.[102-107] Ook is er een serie modellen ontwikkeld van vrouwen in verschillende stadia van zwangerschap.[108-112] De nieuwste ontwikkelingen zijn modellen die in verschillende houdingen geplaatst kunnen worden (zittend, armen omhoog, etc.).[113]

Aanvankelijk werd voor de modellen van kinderen gebruik gemaakt van lineair geschaalde modellen van volwassenen.[104,114,115] Omdat er tijdens de groei allerlei anatomische veranderingen optreden, leidt deze schaalverkleining tot onjuistheden, vooral in de dikte van de huid en de proporties van het hoofd en de hersenen.[107] Bovendien kan dit voor overgangen tussen weefsels met een groot verschil in elektromagnetische eigenschappen de nauwkeurigheid van de SAR-bepaling nadelig beïnvloeden.[116] Daarom zijn in latere onderzoeken bij de schaling ook de veranderingen in proporties bij de groei van kinderen in aanmerking genomen.[102,107,117] Intussen zijn ook anatomisch correcte modellen ontwikkeld op basis van MRI-scans van kinderen.[103,118,119]

4.3 SAR-berekeningen met specifieke modellen

Uit de onderzoeken met geavanceerde modellen blijkt dat de SAR gemiddeld over het gehele hoofd bij volwassenen en kinderen vrijwel gelijk is, maar dat de piek-SAR bij kinderen wat hoger kan zijn en dat de locatie van de piek-SAR bij kinderen ook anders kan zijn dan bij volwassenen. Dat is het gevolg van de verschillen in grootte en proporties van het hoofd tussen volwassenen en kinderen. De grootte en locatie van de piek-SAR blijkt ook zeer sterk beïnvloed te worden

door de locatie van de antenne ten opzichte van het hoofd.[103,118,120] Bij een mobiele telefoon is de plaats van de antenne in de telefoon van belang, evenals de wijze waarop de telefoon naast het hoofd gehouden wordt. Ook de mate van samendrukking van de oorschelp is daarbij van invloed.[121]

Er is in de – relatief weinige – beschikbare modellen van zowel volwassenen als kinderen al een grote variatie in berekende SAR-waarden gevonden.[107,118,119,122] Dat betekent dat de variatie in de populatie waarschijnlijk nog groter zal zijn.

4.4 Overschrijding SAR

Een belangrijk resultaat van de onderzoeken is, dat gebleken is dat voor kinderen in het frequentiegebied rond 2 GHz de referentiewaarden zoals gegeven door ICNIRP te hoog zijn: bij blootstelling aan de referentiewaarde treedt een geringe overschrijding van de basisbeperkingen op.[102,104-107,113,115,119,122-126] Deze situatie heeft alleen betrekking op blootstelling in het zogenoemde verre veld, dat wil zeggen, op enige afstand van de bron. Dit probleem doet zich dus niet voor bij het bellen met een mobiele telefoon, omdat dan de afstand tot het hoofd minimaal is. In de praktijk doen zich slechts zelden situaties voor waarbij de blootstelling de referentiewaarde benadert. Een geringe overschrijding van de basisbeperkingen zal weliswaar niet leiden tot een gezondheidsbedreigende situatie, omdat in de basisbeperkingen een veiligheids- en onzekerheidsmarge is ingebouwd, maar de referentiewaarden moeten wel worden herzien om tot de juiste waarden te komen.

Op grond van de huidige inzichten zou het gebruik van een mobiele telefoon bij kinderen tot een wat hogere piek-SAR in het hoofd kunnen leiden dan bij volwassenen. Aan mobiele telefoons wordt de eis gesteld dat de SAR die zij veroorzaken in het hoofd een waarde van 2 W/kg niet overschrijdt. Dat geldt dan dus ook voor het gebruik van een telefoon door kinderen. De wijze van bepalen van de maximale SAR is zodanig dat daarbij niet geheel kan worden uitgesloten dat er zich uitzonderlijke situaties voordoen waarbij de maximale waarde wordt overschreden. De kans daarop is bij kinderen dus iets groter dan bij volwassenen. Maar omdat de maximale SAR doorgaans ruimschoots lager is dan 2 W/kg[127], is de kans dat die waarde in de praktijk wordt overschreden zowel voor volwassen als voor kinderen waarschijnlijk uiterst gering.

Berekeningen van de SAR voor realistische blootstellingssituaties voor elektromagnetische velden van een WiFi toegangspunt of laptop[128], laten zien dat daarbij de ICNIRP limieten niet worden overschreden.

Hoofdstuk **5**

Conclusies en aanbevelingen

De ontwikkeling van de hersenen is een complex proces. Enerzijds hebben jonge hersenen een groter herstellend vermogen dan volwassen hersenen, waardoor negatieve effecten wellicht beter gecompenseerd kunnen worden; anderzijds zou door blootstelling aan externe factoren zoals elektromagnetische velden de ontwikkeling van de hersenen zodanig beïnvloed kunnen worden dat dit leidt tot negatieve gevolgen.

5.1 Zijn er gezondheidseffecten gevonden?

De eerste vraag die de commissie zich tot doel stelde om met dit advies te beantwoorden luidt:

Brengt het gebruik van mobiele telefoons of de aanwezigheid van antennes voor mobiele telefonie of van WiFi-voorzieningen in de leefomgeving op korte termijn een verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten voor kinderen met zich mee, als gevolg van de blootstelling aan de door deze apparaten uitgezonden elektromagnetische velden?

Het antwoord op deze vraag is: op grond van de thans beschikbare kennis niet, maar die kennis is op diverse gebieden nog beperkt en de beschikbare gegevens zijn niet consistent.

Er is de afgelopen jaren in toenemende mate onderzoek gedaan naar mogelijke effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de gezondheid

van kinderen en jonge proefdieren. Ten opzichte van de situatie van enkele jaren geleden zijn er daardoor meer gegevens bekend, maar niet over effecten bij jonge kinderen: de onderzoeken zijn vrijwel uitsluitend gedaan met kinderen ouder dan 10 jaar. Er kan op dit moment alleen worden geconcludeerd dat de toch nog steeds relatief weinige beschikbare gegevens niet wijzen op effecten op de ontwikkeling van de hersenen of op de gezondheid, wanneer kinderen worden blootgesteld aan radiofrequente elektromagnetische velden zoals afkomstig van mobiele telefoons, van antennes voor mobiele telefonie of van Wifi-voorzieningen.

5.2 Er is meer onderzoek nodig

Er is meer, met name langetermijnonderzoek bij kinderen nodig om beter onderbouwde uitspraken te kunnen doen over effecten van elektromagnetische velden op de gezondheid bij kinderen. Dergelijk onderzoek is momenteel gaande. Als over enkele jaren de resultaten daarvan bekend zullen zijn zal de commissie daarom een nieuwe evaluatie uitvoeren.

De WHO beveelt in de recent gepubliceerde onderzoeksagenda voor radiofrequente elektromagnetische velden[9] aan, om een cohortonderzoek uit te voeren waarin bij kinderen en adolescenten de relatie tussen het gebruik van draadloze telecommunicatiemiddelen en het optreden van gedrags- en neurologische afwijkingen en het optreden van kanker onderzocht wordt. De commissie ondersteunt deze aanbeveling, maar beveelt ook aan om meer experimenteel onderzoek met verschillende typen signalen te doen bij kinderen van verschillende leeftijden. De commissie realiseert zich echter dat het praktisch vrijwel onmogelijk is om langdurige onderzoeken aan kinderen uit te voeren. Kinderen maken in korte tijd veel en ingrijpende lichamelijke ontwikkelingen door. Daarnaast volgen nieuwe vormen van mobiele telecommunicatie elkaar in een hoog tempo op en worden met name door jongeren zeer snel omarmd. Beide gegevens leiden tot continu veranderende blootstellingspatronen.

Uit het dosimetrisch onderzoek blijkt dat er verschillen zijn tussen volwassenen en kinderen in het patroon en de mate van energieabsorptie. De piek-SAR kan onder bepaalde omstandigheden bij kinderen hoger zijn dan bij volwassenen, en ook de plaats waar de piek-SAR optreedt kan verschillen. De SAR gemiddeld over het gehele hoofd verschilt weer niet tussen volwassenen en kinderen.

Die verschillen zijn het gevolg van de anatomische verschillen tussen volwassenen en kinderen. Die zijn het grootst bij jonge kinderen en verdwijnen uiteraard naarmate de leeftijd toeneemt. De locatie van de piek-SAR zal dus ook

verschuiven naarmate de leeftijd toeneemt. Het type telefoon en de manier waarop deze tegen het hoofd wordt gehouden zijn echter ook zeer bepalend voor de grootte en locatie van de piek-SAR. Bovendien is er een grote anatomische variatie in de bevolking, een veel grotere variatie dan thans met het beperkte aantal beschikbare modellen kan worden onderzocht. Er is daarom op dit moment ook vanuit dosimetrisch oogpunt geen reden om aan te nemen dat de blootstelling van kinderen aan elektromagnetische velden bij het gebruik van een mobiele telefoon leidt tot grotere risico's dan bij volwassenen.

In toekomstig onderzoek zouden er aan meer op MRI-scans gebaseerde modellen van kinderen van verschillende leeftijden berekeningen moeten worden uitgevoerd, met name ook aan de nu nog vrijwel ontbrekende modellen van jongeren tussen 0 en 6 jaar en van 15 jaar en ouder. Daarbij zou dan ook de invloed van de lichaamshouding onderzocht moeten worden. Daarnaast zouden er goede gegevens moeten komen over de elektromagnetische eigenschappen van de verschillende weefsels bij kinderen.

5.3 Zijn de blootstellingslimieten adequaat voor kinderen?

De tweede vraag die de commissie zich tot doel stelde te beantwoorden, luidt:

Is er aanleiding voor kinderen andere blootstellingslimieten voor te stellen dan voor volwassenen?

Het antwoord op deze vraag is: nee, want bij de vaststelling van de blootstellingslimieten is expliciet rekening gehouden met de mogelijke extra gevoeligheid van kinderen en andere kwetsbare groepen. Mede daarom is bij de vaststelling van de blootstellingslimieten voor de algemene bevolking een ruime onzekerheidsmarge van een factor 50 toegepast. De commissie ziet in de gegevens die zij in dit advies heeft gepresenteerd geen reden om voor kinderen andere blootstellingslimieten aan te bevelen dan voor volwassenen.

Wel maakt de commissie de volgende kanttekeningen. De referentiewaarden zijn met de destijds beschikbare kennis zodanig opgesteld, dat het niet overschrijden van deze waarden (in verre-veldsituaties, dat wil zeggen op enige afstand van de bron) betekent dat ook de basisbeperkingen niet worden overschreden. Uit de in dit advies gepresenteerde nieuwe wetenschappelijke gegevens blijkt echter dat in het frequentiegebied rond 2 GHz de referentiewaarden zoals voorgesteld door ICNIRP[17] niet correct zijn. Voor jonge kinderen (en dus voor kleine individuen) blijken de referentiewaarden overeen te komen met een SAR-waarde die hoger is dan de maximaal toelaatbare waarde. Dat geldt dus ook voor de referentiewaarden zoals voorgesteld door de Gezondheidsraad[129], want

die liggen in dit frequentiegebied boven die van ICNIRP. Er is destijds vanuit gegaan dat de berekening van de referentiewaarden voor de meest ongunstige omstandigheden werd gedaan, maar dat blijkt nu dus niet het geval te zijn. Daarom moeten de referentiewaarden naar lagere waarden worden gecorrigeerd. De commissie doet in bijlage F een voorstel hiertoe. Daarbij moet worden opgemerkt dat de commissie onverkort vasthoudt aan de onderbouwing van de hoogte van de basisbeperkingen zoals die in het advies uit 1997[129] is gegeven, die daarmee afwijkt van die van ICNIRP.*

De commissie merkt ook op dat in het onwaarschijnlijke geval dat er blootstelling van kleine individuen aan de referentiewaarde zal plaatsvinden, en er dus een geringe overschrijding van de basisbeperking in termen van de SAR optreedt, dit niet betekent dat er een gezondheidsbedreigende situatie ontstaat. De maximale SAR-waarde voor de algemene bevolking is geen scherpe grens tussen slecht en niet slecht, maar is, zoals eerder aangegeven, opgesteld met een grote onzekerheidsmarge. De maximaal toelaatbare waarde ligt een factor 50 lager dan de waarde waarboven mogelijk gezondheidseffecten op zouden kunnen treden. Het is echter niet de bedoeling dat er situaties ontstaan waarin van de onzekerheidsmarge gebruik gemaakt moet worden. Dus moeten de referentiewaarden worden bijgesteld.

Dit betekent met de huidige voorstellen van de commissie dat de referentiewaarden voor frequenties van GSM-, UMTS- en WiFi-toepassingen worden verlaagd van circa 40-70 V/m naar 28 V/m. In de praktijk heeft dat weinig consequenties doordat een veldsterkte van meer dan 28 V/m niet voorkomt op plekken in Nederland die toegankelijk zijn voor de algemene bevolking.

* In het frequentiegebied tussen 5 en 300 GHz wordt de basisbeperking uitgedrukt in de vermogensdichtheid van het elektromagnetische veld (in eenheden van watt per vierkante meter, W/m^2). In het advies uit 1997 heeft de Gezondheidsraad als uitgangspunt voor de basisbeperkingen gekozen voor een vermogensdichtheid van 100 W/m^2, om aan te sluiten bij de blootstellingslimiet voor de infrarood frequenties boven 300 GHz. Het uitgangspunt voor de basisbeperkingen van ICNIRP is 50 W/m^2 en dat resulteert in een plotselinge overgang naar een hogere waarde bij 300 GHz.

Literatuur

1 Foster KR and Glaser R. Thermal mechanisms of interaction of radiofrequency energy with biological systems with relevance to exposure guidelines. Health Phys, 2007; 92(6): 609-620.

2 Challis LJ. Mechanisms for interaction between RF fields and biological tissue. Bioelectromagnetics, 2005; Suppl 7: S98-S106.

3 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Mobiele telefoons. Een gezondheidskundige analyse. Den Haag: Gezondheidsraad, 2002; publicatie nr 2002/01.

4 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Mobiele telefoons en gezondheid (briefadvies). Den Haag: Gezondheidsraad, 2005.

5 IEGMP - Independent Expert Group on Mobile Phones. Mobile phones and health. Chilton: Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000.

6 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden. Aanbevelingen voor onderzoek. Den Haag: Gezondheidsraad, 2003; publicatie nr 2003/03.

7 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Voorstellen voor onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden (0 Hz - 300 GHz) op de gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad, 2006; publicatie nr 2006/11.

8 WHO International EMF Project. 2006 WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields. WHO International EMF Project. Internet: http://www.who.int/peh-emf/research/rf_research_agenda_2006.pdf. Geraadpleegd 17-12-2010.

9 WHO International EMF Project. 2010 WHO Research Agenda for Radiofrequency Fields. WHO International EMF Project. Internet: http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599948_eng.pdf. Geraadpleegd 17-12-2010.

10 Thomas S, Heinrich S, Kuhnlein A, e.a. The association between socioeconomic status and exposure to mobile telecommunication networks in children and adolescents. Bioelectromagnetics, 2010; 31(1): 20-27.
11 Söderqvist F, Hardell L, Carlberg M, e.a. Ownership and use of wireless telephones: a population-based study of Swedish children aged 7-14 years. BMC Public Health, 2007; 7: 105.
12 Mezei G, Benyi M, and Muller A. Mobile phone ownership and use among school children in three Hungarian cities. Bioelectromagnetics, 2007; 28(4): 309-315.
13 Inyang I, Benke G, Dimitriadis C, e.a. Predictors of mobile telephone use and exposure analysis in Australian adolescents. J Paediatr Child Health, 2010; 46(5): 226-233.
14 Lenhart A, Ling R, Campbell S, e.a. Teens and mobile phones. Washington, DC: Pew Internet & American Life Project, 2010.
15 Rideout, VJ, Foehr, UG, and Roberts, DF. Generation M2. Media in the Lives of 8- to 18-Year-Olds. Kaiser Family Foundation. Internet: http://www.kff.org/entmedia/upload/8010.pdf. Geraadpleegd 25-8-2011.
16 Mijn Kind Online. Altijd binnen bereik. 8-18 jarigen en mobiele telefoons. Mijn Kind Online. Internet: http://www.mijnkindonline.nl/uploads/100118%201129%20rapport%20Altijd%20binnen%20bereik%20def.pdf. Geraadpleegd 25-8-2011.
17 ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys, 1998; 74(4): 494-522.
18 IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers. 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., 2005; report nr IEEE C95.1-2005.
19 IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3 kHz. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002; report nr IEEE Std C95.6-2002.
20 Holland BA, Haas DK, Norman D, e.a. MRI of normal brain maturation. Am J Neuroradiol, 1986; 7(2): 201-208.
21 van der Knaap MS and Valk J. MR imaging of the various stages of normal myelination during the first year of life. Neuroradiology, 1990; 31(6): 459-470.
22 Ramakers GJ. Neuronal network formation in human cerebral cortex. Prog Brain Res, 2005; 147: 1-14.
23 Roelants M, Hauspie R, and Hoppenbrouwers K. References for growth and pubertal development from birth to 21 years in Flanders, Belgium. Ann Hum Biol, 2009; 36(6): 680-694.
24 Eisenberg RB. Auditory competence in early life. Baltimore, ML: University Park Press, 1976.
25 Koenig WJ, Donovan JM, and Pensler JM. Cranial bone grafting in children. Plast Reconstr Surg, 1995; 95(1): 1-4.
26 Fein GG. Child development. Englewood Cliffs, NY: Prentice-Hall, Inc., 1978.

27 Ning W, Xu SJ, Chiang H, e.a. Effects of GSM 1800 MHz on dendritic development of cultured hippocampal neurons. Acta Pharmacol Sin, 2007; 28(12): 1873-1880.
28 Xu S, Ning W, Xu Z, e.a. Chronic exposure to GSM 1800-MHz microwaves reduces excitatory synaptic activity in cultured hippocampal neurons. Neurosci Lett, 2006; 398(3): 253-257.
29 Wang Q, Cao Z, and Bai X. [Effect of 900 MHz electromagnetic fields on energy metabolism of cerebral cortical neurons in postnatal rat]. Wei Sheng Yan Jiu, 2004; 33(4): 428-9, 432.
30 Wang Q, Cao ZJ, and Bai XT. [Effect of 900 MHz electromagnetic fields on energy metabolism in postnatal rat cerebral cortical neurons]. Wei Sheng Yan Jiu, 2005; 34(2): 155-158.
31 Zhao R, Zhang SZ, Yao GD, e.a. [Effect of 1.8 GHz radiofrequency electromagnetic fields on the expression of microtubule associated protein 2 in rat neurons]. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi, 2006; 24(4): 222-225.
32 Höytö A, Juutilainen J, and Naarala J. Ornithine decarboxylase activity is affected in primary astrocytes but not in secondary cell lines exposed to 872 MHz RF radiation. Int J Radiat Biol, 2007; 83(6): 367-374.
33 Thorlin T, Rouquette JM, Hamnerius Y, e.a. Exposure of cultured astroglial and microglial brain cells to 900 MHz microwave radiation. Radiat Res, 2006; 166(2): 409-421.
34 McRee DI, Elder JA, Gage MI, e.a. Effects of noinionizing radiation on the central nervous system, behavior, and blood: a progress report. Environ Health Perspect, 1979; 30: 123-131.
35 Kizilay A, Ozturan O, Erdem T, e.a. Effects of chronic exposure of electromagnetic fields from mobile phones on hearing in rats. Auris Nasus Larynx, 2003; 30(3): 239-245.
36 Kayabasoglu G, Sezen OS, Eraslan G, e.a. Effect of chronic exposure to cellular telephone electromagnetic fields on hearing in rats. J Laryngol Otol, 2011; 125(4): 348-353.
37 Budak GG, Muluk NB, Budak B, e.a. Effects of GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions of rabbits: comparison of infants versus adults. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2009; 73(8): 1143-1147.
38 Budak GG, Muluk NB, Budak B, e.a. Effects of intrauterine and extrauterine exposure to GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions in infant male rabbits. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2009; 73(3): 391-399.
39 Budak GG, Muluk NB, Budak B, e.a. Effects of intrauterine and extrauterine exposure to GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions in infant female rabbits. Int Adv Otol, 2009; 5(2): 209-217.
40 Albert EN, Sherif MF, Papadopoulos NJ, e.a. Effect of nonionizing radiation on the Purkinje cells of the rat cerebellum. Bioelectromagnetics, 1981; 2(3): 247-257.
41 Albert EN and Sherif M. Morphological changes in cerebellum of neonatal rats exposed to 2.45 GHz microwaves. Prog Clin Biol Res, 1988; 257: 135-151.
42 Cobb BL, Jauchem JR, Mason PA, e.a. Neural and behavioral teratological evaluation of rats exposed to ultra-wideband electromagnetic fields. Bioelectromagnetics, 2000; 21(7): 524-537.

43 Hoffmann K, Bagorda F, Stevenson AF, e.a. Electromagnetic exposure effects the hippocampal dentate cell proliferation in gerbils (Meriones unguiculatus). Indian J Exp Biol, 2001; 39(12): 1220-1226.
44 Albert EN, Sherif MF, and Papadopoulos NJ. Effect of nonionizing radiation on the Purkinje cells of the uvula in squirrel monkey cerebellum. Bioelectromagnetics, 1981; 2(3): 241-246.
45 Inouye M, Galvin MJ, and McRee DI. Effect of 2,450 MHz microwave radiation on the development of the rat brain. Teratology, 1983; 28(3): 413-419.
46 Kumlin T, Iivonen H, Miettinen P, e.a. Mobile phone radiation and the developing brain: behavioral and morphological effects in juvenile rats. Radiat Res, 2007; 168(4): 471-479.
47 Ragbetli MC, Aydinlioglu A, Koyun N, e.a. Effect of prenatal exposure to mobile phone on pyramidal cell numbers in the mouse hippocampus: a stereological study. Int J Neurosci, 2009; 119(7): 1031-1041.
48 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2008. Den Haag: Gezondheidsraad, 2009; publicatie nr 2009/02.
49 Krause CM, Björnberg CH, Pesonen M, e.a. Mobile phone effects on children's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task. Int J Radiat Biol, 2006; 82(6): 443-450.
50 Kramarenko AV and Tan U. Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. Int J Neurosci, 2003; 113(7): 1007-1019.
51 Leung S, Croft RJ, McKenzie RJ, e.a. Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. Clin Neurophysiol, 2011; doi:10.1016/j.clinph.2011.04.006.
52 Croft RJ, Leung SJ, McKenzie RJ, e.a. Effect of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. Bioelectromagnetics, 2010; 6: 434-444.
53 Kwon MS, Huotilainen M, Shestakova A, e.a. No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: An ERP study. Bioelectromagnetics, 2009.
54 Galvin MJ, Tilson HA, Mitchell CL, e.a. Influence of pre- and postnatal exposure of rats to 2.45-GHz microwave radiation on neurobehavioral function. Bioelectromagnetics, 1986; 7(1): 57-71.
55 Takahashi S, Imai N, Nabae K, e.a. Lack of adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus. Radiat Res, 2010; 173(3): 362-372.
56 Priakhin EA, Triapitsyna GA, Andreev SS, e.a. [The assessment of modulated radiofrequence electromagnetic radiation on cognitive function in rats of different ages]. Radiats Biol Radioecol, 2007; 47(3): 339-344.
57 Haarala C, Bergman M, Laine M, e.a. Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function. Bioelectromagnetics, 2005; Suppl 7: S144-S150.
58 Preece AW, Goodfellow S, Wright MG, e.a. Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. Bioelectromagnetics, 2005; Suppl 7: S138-S143.
59 Riddervold IS, Pedersen GF, Andersen NT, e.a. Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation to rf radiation from UMTS base stations. Bioelectromagnetics, 2008; 29(4): 257-267.

60 Abramson MJ, Benke GP, Dimitriadis C, e.a. Mobile telephone use is associated with changes in cognitive function in young adolescents. Bioelectromagnetics, 2009; 30(8): 678-686.
61 Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L, e.a. Time-course of electromagnetic field effects on human performance and tympanic temperature. Neuroreport, 2004; 15(1): 161-164.
62 Edelstyn N and Oldershaw A. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. Neuroreport, 2002; 13(1): 119-121.
63 Eliyahu I, Luria R, Hareuveny R, e.a. Effects of radiofrequency radiation emitted by cellular telephones on the cognitive functions of humans. Bioelectromagnetics, 2006; 27(2): 119-126.
64 Keetley V, Wood AW, Spong J, e.a. Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans. Neuropsychologia, 2006; 44(10): 1843-1848.
65 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(2): 413-415.
66 Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, e.a. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. Neuroreport, 2000; 11(8): 1641-1643.
67 Lass J, Tuulik V, Ferenets R, e.a. Effects of 7 Hz-modulated 450 MHz electromagnetic radiation on human performance in visual memory tasks. Int J Radiat Biol, 2002; 78(10): 937-944.
68 Maier R, Greter SE, and Maier N. Effects of pulsed electromagnetic fields on cognitive processes - a pilot study on pulsed field interference with cognitive regeneration. Acta Neurol Scand, 2004; 110(1): 46-52.
69 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(4): 447-456.
70 Regel SJ, Gottselig JM, Schuderer J, e.a. Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. Neuroreport, 2007; 18(8): 803-807.
71 Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, e.a. Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. J Sleep Res, 2007; 16(3): 253-258.
72 Smythe JW and Costall B. Mobile phone use facilitates memory in male, but not female, subjects. Neuroreport, 2003; 14(2): 243-246.
73 Besset A, Espa F, Dauvilliers Y, e.a. No effect on cognitive function from daily mobile phone use. Bioelectromagnetics, 2005; 26(2): 102-108.
74 Cinel C, Boldini A, Russo R, e.a. Effects of mobile phone electromagnetic fields on an auditory order threshold task. Bioelectromagnetics, 2007; 28: 493-496.
75 Haarala C, Björnberg L, Ek M, e.a. Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study. Bioelectromagnetics, 2003; 24(4): 283-288.
76 Haarala C, Ek M, Björnberg L, e.a. 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans. Bioelectromagnetics, 2004; 25(6): 452-456.

77 Haarala C, Takio F, Rintee T, e.a. Pulsed and continuous wave mobile phone exposure over left versus right hemisphere: effects on human cognitive function. Bioelectromagnetics, 2007; 28(4): 289-295.
78 Russo R, Fox E, Cinel C, e.a. Does acute exposure to mobile phones affect human attention? Bioelectromagnetics, 2006; 27(3): 215-220.
79 Schmid G, Sauter C, Stepansky R, e.a. No influence on selected parameters of human visual perception of 1970 MHz UMTS-like exposure. Bioelectromagnetics, 2005; 26(4): 243-250.
80 Terao Y, Okano T, Furubayashi T, e.a. Effects of thirty-minute mobile phone use on visuo-motor reaction time. Clin Neurophysiol, 2006; 117(11): 2504-2511.
81 Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, e.a. Effects of weak mobile phone-Electromagnetic fields (GSM, UMTS) on event related potentials and cognitive functions. Bioelectromagnetics, 2008; 29(6): 488-497.
82 Curcio G, Valentini E, Moroni F, e.a. Psychomotor performance is not influenced by brief repeated exposures to mobile phones. Bioelectromagnetics, 2008; 29(3): 237-241.
83 Unterlechner M, Sauter C, Schmid G, e.a. No effect of an UMTS mobile phone-like electromagnetic field of 1.97 GHz on human attention and reaction time. Bioelectromagnetics, 2008; 29(2): 145-153.
84 Kuribayashi M, Wang J, Fujiwara O, e.a. Lack of effects of 1439 MHz electromagnetic near field exposure on the blood-brain barrier in immature and young rats. Bioelectromagnetics, 2005; 26(7): 578-588.
85 Finnie JW, Blumbergs PC, Cai Z, e.a. Neonatal mouse brain exposure to mobile telephony and effect on blood-brain barrier permeability. Pathology, 2006; 38(3): 262-263.
86 Stam R. Electromagnetic fields and the blood-brain barrier. Brain Res Rev, 2010.
87 Perrin A, Cretallaz C, Collin A, e.a. Effects of radiofrequency field on the blood-brain barrier: A systematic review from 2005 to 2009. CR Physique, 2011; in press.
88 Saddiki-Traki F, Lescoat G, and Maniey J. Effects of postnatal microwave exposure on thyrotropin level in the adult male rat. J Physiol (Paris), 1986; 81(1): 3-6.
89 Guessab A, Lescoat G, and Maniey J. Influence of postnatal exposition to microwaves on brain and hypothalamo-pituitary monoamines in the adult male rat. Physiologie, 1983; 20(2): 71-74.
90 Paulraj R and Behari J. Single strand DNA breaks in rat brain cells exposed to microwave radiation. Mutat Res, 2006; 596(1-2): 76-80.
91 Kesari KK, Behari J, and Kumar S. Mutagenic response of 2.45 GHz radiation exposure on rat brain. Int J Radiat Biol, 2010; 86(4): 334-343.
92 Paulraj R, Behari J, and Rao AR. Effect of amplitude modulated RF radiation on calcium ion efflux and ODC activity in chronically exposed rat brain. Indian J Biochem Biophys, 1999; 36(5): 337-340.
93 Paulraj R and Behari J. Radio frequency radiation effects on protein kinase C activity in rats' brain. Mutat Res, 2004; 545(1-2): 127-130.
94 Paulraj R and Behari J. Protein kinase C activity in developing rat brain cells exposed to 2.45 GHz radiation. Electromagn Biol Med, 2006; 25(1): 61-70.

95 Mathur R. Effect of chronic intermittent exposure to AM radiofrequency field on responses to various types of noxious stimuli in growing rats. Electromagn Biol Med, 2008; 27(3): 266-276.
96 Verschaeve L, Juutilainen J, Lagroye I, e.a. In vitro and in vivo genotoxicity of radiofrequency fields. Mutat Res, 2010; 705(3): 252-268.
97 Nam KC, Kim SW, Kim SC, e.a. Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones. Bioelectromagnetics, 2006; 27(7): 509-514.
98 Thomas S, Heinrich S, von KR, e.a. Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. Eur J Epidemiol, 2010; 25(2): 135-141.
99 Heinrich S, Thomas S, Heumann C, e.a. The impact of exposure to radio frequency electromagnetic fields on chronic well-being in young people--a cross-sectional study based on personal dosimetry. Environ Int, 2011; 37(1): 26-30.
100 Aydin D, Feychting M, Schüz J, e.a. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. J Natl Cancer Inst, 2011; 103(16): 1264-1276.
101 Aydin D, Feychting M, Schüz J, e.a. Impact of random and systematic recall errors and selection bias in case--control studies on mobile phone use and brain tumors in adolescents (CEFALO study). Bioelectromagnetics, 2011; 32(5): 396-407.
102 Nagaoka T, Kunieda E, and Watanabe S. Proportion-corrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz. Phys Med Biol, 2008; 53(23): 6695-6711.
103 Wiart J, Hadjem A, Wong MF, e.a. Analysis of RF exposure in the head tissues of children and adults. Phys Med Biol, 2008; 53(13): 3681-3695.
104 Dimbylow PJ. FDTD calculations of the whole-body averaged SAR in an anatomically realistic voxel model of the human body from 1 MHz to 1 GHz. Phys-Med-Biol, 1997; 42(3): 479-490.
105 Dimbylow P. Resonance behaviour of whole-body averaged specific energy absorption rate (SAR) in the female voxel model, NAOMI. Phys Med Biol, 2005; 50(17): 4053-4063.
106 Dimbylow P and Bolch W. Whole-body-averaged SAR from 50 MHz to 4 GHz in the University of Florida child voxel phantoms. Phys Med Biol, 2007; 52(22): 6639-6649.
107 Conil E, Hadjem A, Lacroux F, e.a. Variability analysis of SAR from 20 MHz to 2.4 GHz for different adult and child models using finite-difference time-domain. Phys Med Biol, 2008; 53(6): 1511-1525.
108 Nagaoka T, Togashi T, Saito K, e.a. An anatomically realistic whole-body pregnant-woman model and specific absorption rates for pregnant-woman exposure to electromagnetic plane waves from 10 MHz to 2 GHz. Phys Med Biol, 2007; 52(22): 6731-6745.
109 Nagaoka T, Saito K, Takahashi M, e.a. Anatomically realistic reference models of pregnant women for gestation ages of 13, 18, and 26 weeks. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2008; 2008: 2817-2820.
110 Dimbylow P. SAR in the mother and foetus for RF plane wave irradiation. Phys Med Biol, 2007; 52(13): 3791-3802.

111 Dimbylow PJ, Nagaoka T, and Xu XG. A comparison of foetal SAR in three sets of pregnant female models. Phys Med Biol, 2009; 54(9): 2755-2767.
112 Bibin L, Anquez J, De La Plata AJ, e.a. Whole body pregnant woman modeling by digital geometry processing with detailed utero-fetal unit based on medical images. IEEE Trans Biomed Eng, 2010.
113 Findlay RP, Lee AK, and Dimbylow PJ. FDTD calculations of SAR for child voxel models in different postures between 10 MHz and 3 GHz. Radiat Prot Dosimetry, 2009; 135(4): 226-231.
114 Gandhi OP and Kang G. Some present problems and a proposed experimental phantom for SAR compliance testing of cellular telephones at 835 and 1900 MHz. Phys Med Biol, 2002; 47(9): 1501-1518.
115 Dimbylow PJ. Fine resolution calculations of SAR in the human body for frequencies up to 3 GHz. Phys Med Biol, 2002; 47(16): 2835-2846.
116 Christ A and Kuster N. Differences in RF energy absorption in the heads of adults and children. Bioelectromagnetics, 2005; Suppl 7: S31-S44.
117 Bit-Babik G, Guy AW, Chou CK, e.a. Simulation of exposure and SAR estimation for adult and child heads exposed to radiofrequency energy from portable communication devices. Radiat Res, 2005; 163(5): 580-590.
118 Christ A, Gosselin MC, Christopoulou M, e.a. Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. Phys Med Biol, 2010; 55(7): 1767-1783.
119 Kühn S, Jennings W, Christ A, e.a. Assessment of induced radio-frequency electromagnetic fields in various anatomical human body models. Phys Med Biol, 2009; 54(4): 875-890.
120 Wiart J, Hadjem A, Gadi N, e.a. Modeling of RF head exposure in children. Bioelectromagnetics, 2005; Suppl 7: S19-S30.
121 Christ A, Gosselin MC, Kühn S, e.a. Impact of pinna compression on the RF absorption in the heads of adult and juvenile cell phone users. Bioelectromagnetics, 2010; 31(5): 406-412.
122 Bakker JF, Paulides MM, Christ A, e.a. Assessment of induced SAR in children exposed to electromagnetic plane waves between 10 MHz and 5.6 GHz. Phys Med Biol, 2010; 55(11): 3115-3130.
123 Joó E, Szász A, and Szendrö P. Metal-framed spectacles and implants and specific absorption rate among adults and children using mobile phones at 900/1800/2100 MHz. Electromagn Biol Med, 2006; 25(2): 103-112.
124 Wang J, Fujiwara O, Kodera S, e.a. FDTD calculation of whole-body average SAR in adult and child models for frequencies from 30 MHz to 3 GHz. Phys Med Biol, 2006; 51(17): 4119-4127.
125 Dimbylow P, Bolch W, and Lee C. SAR calculations from 20 MHz to 6 GHz in the University of Florida newborn voxel phantom and their implications for dosimetry. Phys Med Biol, 2010; 55(5): 1519-1530.
126 Uusitupa T, Laakso I, Ilvonen S, e.a. SAR variation study from 300 to 5000 MHz for 15 voxel models including different postures. Phys Med Biol, 2010; 55(4): 1157-1176.
127 SAR Values & Mobile Phone Health. Internet: http://www.mobile-phones-uk.org.uk/sar.htm. Geraadpleegd 8-7-2011.

128 Findlay RP and Dimbylow PJ. SAR in a child voxel phantom from exposure to wireless computer networks (Wi-Fi). Phys Med Biol, 2010; 55(15): N405-N411.
129 Gezondheidsraad: Commissie Radiofrequente elektromagnetische velden. Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz). Rijswijk: Gezondheidsraad, 1997; publicatie nr 1997/01.
130 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. GSM-basisstations. Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/16.
131 Antennebureau. Internet: http://www.antennebureau.nl/onderwerpen/techniek. Geraadpleegd 17-3-2011.
132 ITU - International Telecommunciation Union. Internet: http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/. Geraadpleegd 17-3-2011.
133 Nu.nl. Nederland in 2010 massaal overgestapt op smartphone. Internet: http://www.nu.nl/gadgets/2409261/nederland-in-2010-massaal-overgestapt-smartphone.html. Geraadpleegd 17-3-2011.
134 Wang Q, Cao ZJ, and Bai XT. [Effect of 900 MHz electromagnetic fields on the expression of GABA receptor of cerebral cortical neurons in postnatal rats]. Wei Sheng Yan Jiu, 2005; 34(5): 546-548.
135 Henley CM, Weatherly RA, Ou CN, e.a. Pharmacokinetics of kanamycin in the developing rat. Hear Res, 1996; 99(1-2): 85-90.
136 Krause CM, Salminen PA, Sillanmaki L, e.a. Event-related desynchronization and synchronization during a memory task in children. Clin Neurophysiol, 2001; 112(12): 2233-2240.
137 Krause CM, Pesonen M, and Hamalainen H. Brain oscillatory responses during the different stages of an auditory memory search task in children. Neuroreport, 2007; 18(3): 213-216.
138 Borbély AA, Huber R, Graf T, e.a. Pulsed high-frequency electromagnetic field affect human sleep and sleep electroencephalogram. Neurosci Lett, 1999; 275: 207-210.
139 Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, e.a. Acute mobile phone operation affects neural function in humans. Clin Neurophysiol, 2002; 113(10): 1623-1632.
140 Curcio G, Ferrara M, Moroni F, e.a. Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. Neurosci Res, 2005; 53(3): 265-270.
141 D'Costa H, Trueman G, Tang L, e.a. Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones. Australas Phys Eng Sci Med, 2003; 26(4): 162-167.
142 Freude G, Ullsperger P, Eggert S, e.a. Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. Eur J Appl Physiol, 2000; 81(1-2): 18-27.
143 Hinrikus H, Parts M, Lass J, e.a. Changes in human EEG caused by low level modulated microwave stimulation. Bioelectromagnetics, 2004; 25(6): 431-440.
144 Huber R, Graf T, Cote KA, e.a. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. Neuroreport, 2000; 11(15): 3321-3325.
145 Huber R, Treyer V, Borbély AA, e.a. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. J Sleep Res, 2002; 11(4): 289-295.

146 Maby E, Le Bouquin Jeannès R, and Faucon G. Short-term effects of GSM mobiles phones on spectral components of the human electroencephalogram. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2006; 1: 3751-3754.
147 Reiser H, Dimpfel W, and Schober F. The influence of electromagnetic fields on human brain activity. Eur J Med Res, 1995; 1(1): 27-32.
148 Hietanen M, Kovala T, and Hämäläinen AM. Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. Scand J Work Environ Health, 2000; 26(2): 87-92.
149 Perentos N, Croft RJ, McKenzie RJ, e.a. Comparison of the effects of continuous and pulsed mobile phone like RF exposure on the human EEG. Australas Phys Eng Sci Med, 2007; 30(4): 274-280.
150 Röschke J and Mann K. No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. Bioelectromagnetics, 1997; 18(2): 172-176.
151 Kleinlogel H, Dierks T, Koenig T, e.a. Effects of weak mobile phone-electromagnetic fields (GSM, UMTS) on well-being and resting EEG. Bioelectromagnetics, 2008; 29(6): 479-487.
152 Croft RJ, Hamblin DL, Spong J, e.a. The effect of mobile phone electromagnetic fields on the alpha rhythm of human electroencephalogram. Bioelectromagnetics, 2008; 29(1): 1-10.
153 Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, e.a. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. Neuroreport, 1998; 9(14): 3229-3232.
154 Freude G, Ullsperger P, Eggert S, e.a. Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. Bioelectromagnetics, 1998; 19(6): 384-387.
155 Hamblin DL, Croft RJ, Wood AW, e.a. The sensitivity of human event-related potentials and reaction time to mobile phone emitted electromagnetic fields. Bioelectromagnetics, 2006; 27(4): 265-273.
156 Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, e.a. Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. Clin Neurophysiol, 2004; 115(1): 171-178.
157 Hinrichs H and Heinze HJ. Effects of GSM electromagnetic field on the MEG during an encoding-retrieval task. Neuroreport, 2004; 15(7): 1191-1194.
158 Jech R, Sonka K, Ruzicka E, e.a. Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. Bioelectromagnetics, 2001; 22: 519-528.
159 Maby E, Le Bouquin Jeannès R, Liégeois-Chauvel C, e.a. Analysis of auditory evoked potential parameters in the presence of radiofrequency fields using a support vector machines method. Med Biol Eng Comput, 2004; 42(4): 562-568.
160 Maby E, Le Bouquin Jeannès R, and Faucon G. Scalp localization of human auditory cortical activity modified by GSM electromagnetic fields. Int J Radiat Biol, 2006; 82(7): 465-472.
161 Ferreri F, Curcio G, Pasqualetti P, e.a. Mobile phone emissions and human brain excitability. Ann Neurol, 2006; 60(2): 188-196.
162 Urban P, Lukas E, and Roth Z. Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilot study. Cent Eur J Public Health, 1998; 6(4): 288-290.

163 Bak M, Sliwinska-Kowalska M, Zmyslony M, e.a. No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. Int J Occup Med Environ Health, 2003; 16(3): 201-208.
164 Krause CM, Haarala C, Sillanmaki L, e.a. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: a double blind replication study. Bioelectromagnetics, 2004; 25(1): 33-40.
165 Oysu C, Topak M, Celik O, e.a. Effects of the acute exposure to the electromagnetic field of mobile phones on human auditory brainstem responses. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2005; 262(10): 839-843.
166 Krause CM, Pesonen M, Haarala C, e.a. Effects of pulsed and continuous wave 902 MHz mobile phone exposure on brain oscillatory activity during cognitive processing. Bioelectromagnetics, 2007; 28(4): 296-308.
167 Yuasa K, Arai N, Okabe S, e.a. Effects of thirty minutes mobile phone use on the human sensory cortex. Clin Neurophysiol, 2006; 117(4): 900-905.
168 Lu ST, Lebda NA, Lu SJ, e.a. Effects of microwaves on three different strains of rats. Radiat Res, 1987; 110(2): 173-191.
169 Michaelson SM, Thomson RAE, and Howland JW. Biologic effects of microwave exposure. Rome, NY: RADC, 1967; ASTIA Doc No AD 824-242, Griffiss AFB.
170 Michaelson SM. Physiologic regulation in electromagnetic fields. Bioelectromagnetics, 1982; 3(1): 91-103.
171 Lu ST, Lebda N, Michaelson SM, e.a. Thermal and endocrinological effects of protracted irradiation of rats by 2450-MHz microwaves. Radio Sci, 1977; 12(S): 147-156.
172 Lu ST, Lebda NA, Pettit S, e.a. The relationship of decreased serum thyrotropin and increased colonic temperature in rats exposed to microwaves. Radiat Res, 1985; 104(3): 365-386.
173 Parker LN. Thyroid suppression and adrenomedullary activation by low-intensity microwave radiation. Am J Physiol, 1973; 224(6): 1388-1390.
174 Koyu A, Cesur G, Ozguner F, e.a. Effects of 900 MHz electromagnetic field on TSH and thyroid hormones in rats. Toxicol Lett, 2005; 157(3): 257-262.
175 Heinrich S, Thomas S, Heumann C, e.a. Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study. Environ Health, 2010; 9: 75.
176 Gandhi OP, Lazzi G, and Furse CM. Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. IEEE Trans Microwave Theory Techn, 1996; 44(10): 1884-1897.
177 Schönborn F, Burkhardt M, and Kuster N. Differences in energy absorption between heads of adults and children in the near field of sources. Health-Phys, 1998; 74(2): 160-168.
178 Martínez-Búrdalo M, Martín A, Anguiano M, e.a. Comparison of FDTD-calculated specific absorption rate in adults and children when using a mobile phone at 900 and 1800 MHz. Phys Med Biol, 2004; 49(2): 345-354.

179 Keshvari J and Lang S. Comparison of radio frequency energy absorption in ear and eye region of children and adults at 900, 1800 and 2450 MHz. Phys Med Biol, 2005; 50(18): 4355-4369.

180 Salles AA de, Bulla G, and Rodriguez CE. Electromagnetic absorption in the head of adults and children due to mobile phone operation close to the head. Electromagn Biol Med, 2006; 25(4): 349-360.

181 Nagaoka T and Watanabe S. Estimation of variability of specific absorption rate with physical description of children exposed to electromagnetic field in the VHF band. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2009; 2009: 942-945.

182 Hirata A, Ito N, and Fujiwara O. Influence of electromagnetic polarization on the whole-body averaged SAR in children for plane-wave exposures. Phys Med Biol, 2009; 54(4): N59-N65.

A De commissie

B De groei van mobiele telefonie

C Het elektro-encefalogram

D De zoekstrategie

E Beschrijving van de onderzoeken

F ICNIRP en IEEE limieten algemene bevolking

Bijlagen

Bijlage **A**

De commissie

De Commissie Elektromagnetische velden had bij het opstellen van dit advies de volgende samenstelling:

- prof. dr. G.C. van Rhoon, *voorzitter*
  hoogleraar fysische aspecten van elektromagnetische velden en gezondheid, Erasmus Universitair Medisch Centrum Rotterdam
- prof. dr. A. Aleman
  hoogleraar cognitieve neuropsychiatrie, Rijksuniversiteit Groningen
- ir. R.M. van der Graaf, *adviseur*
  algemeen secretaris, Kennisplatform Elektromagnetische velden, Bilthoven
- dr. G. Kelfkens, *adviseur*
  fysicus, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
- prof. dr. ir. H. Kromhout
  hoogleraar arbeidshygiëne en blootstellingskarakterisering, Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht
- prof. dr. ir. E. Lebret, *adviseur*
  hoogleraar environmental health impact assessment, Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht; voorzitter Wetenschapsforum, Kennisplatform Elektromagnetische velden, Bilthoven
- prof. dr. ir. F.E. van Leeuwen
  hoogleraar epidemiologie van kanker, Vrije Universiteit Amsterdam; Nederlands Kanker Instituut, Amsterdam

- dr. H.K. Leonhard, *waarnemer*
  ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Groningen
- prof. dr. H.F.J. Savelkoul
  hoogleraar celbiologie en immunologie, Wageningen University
- prof. dr. W.J. Wadman
  hoogleraar neurobiologie, Universiteit van Amsterdam
- D.H.J. van de Weerdt, arts
  toxicoloog en medisch milieukundige, Hulpverlening Gelderland Midden / GGD, Arnhem
- prof. dr. ir. A.P.M. Zwamborn
  hoogleraar elektromagnetische velden en gezondheid, Technische Universiteit Eindhoven; TNO, Den Haag
- dr. E. van Rongen, *secretaris*
  radiobioloog, Gezondheidsraad, Den Haag

Ir. J. Bakker, fysicus bij het Erasmus Universitair Medisch Centrum Rotterdam, heeft de commissie bijgestaan op het gebied van de dosimetrie en SAR berekeningen.

De Gezondheidsraad en belangen

Leden van Gezondheidsraadcommissies worden benoemd op persoonlijke titel, wegens hun bijzondere expertise inzake de te behandelen adviesvraag. Zij kunnen echter, dikwijls juist vanwege die expertise, ook belangen hebben. Dat behoeft op zich geen bezwaar te zijn voor het lidmaatschap van een Gezondheidsraadcommissie. Openheid over mogelijke belangenconflicten is echter belangrijk, zowel naar de voorzitter en de overige leden van de commissie, als naar de voorzitter van de Gezondheidsraad. Bij de uitnodiging om tot de commissie toe te treden wordt daarom aan commissieleden gevraagd door middel van het invullen van een formulier inzicht te geven in de functies die zij bekleden, en andere materiële en niet-materiële belangen die relevant kunnen zijn voor het werk van de commissie. Het is aan de voorzitter van de raad te oordelen of gemelde belangen reden zijn iemand niet te benoemen. Soms zal een adviseurschap het dan mogelijk maken van de expertise van de betrokken deskundige gebruik te maken. Tijdens de installatievergadering vindt een bespreking plaats van de verklaringen die zijn verstrekt, opdat alle commissieleden van elkaars eventuele belangen op de hoogte zijn.

Bijlage **B**

De groei van mobiele telefonie

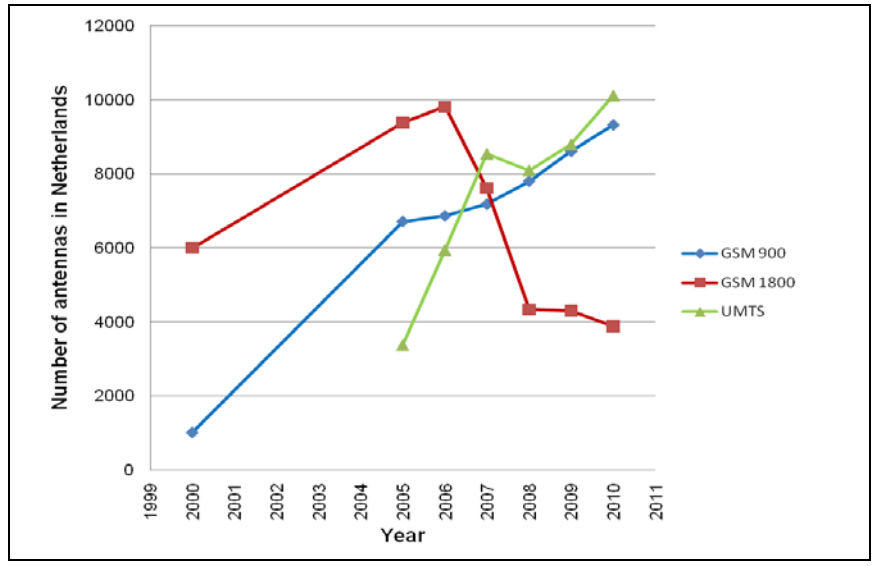
In 2000 schreef de commissie in het advies GSM basisstations[130]:

De afgelopen jaren zijn gekenmerkt door een snelle toename van de mobiele telecommunicatie. De openbare mobiele telefonie begon in 1980 met het eerste autotelefoonnet, ATF-1. Voor landelijke dekking zorgden 29 basisstations, die in totaal 2000 autotelefoons konden bedienen. De technische ontwikkelingen hebben sedertdien een hoge vlucht genomen en met de komst van het DCS 1800-systeem is, mede dankzij de sterke commerciële benadering van het publiek, mobiele telefonie voor iedereen bereikbaar geworden. Tabel 1 geeft een overzicht van de ontwikkelingen.

Tabel 1 Ontwikkeling van mobiele telefonie in Nederland.

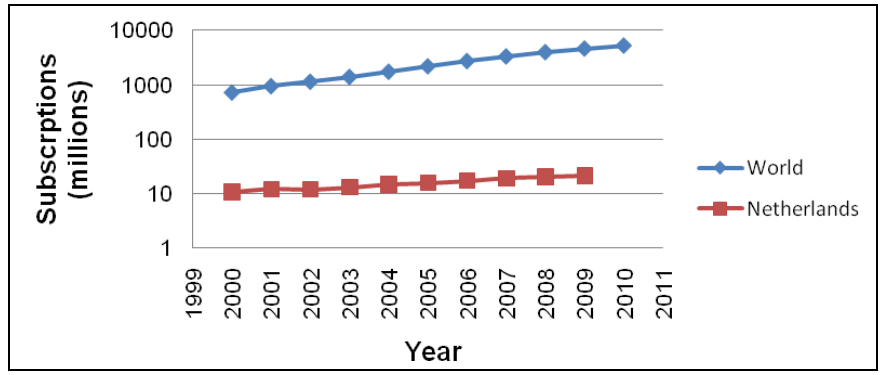
ingebruikneming	netwerk	aantal basisstations	aantal gebruikers
1980	ATF-1	29	2.000
1985	ATF-2	126	30.000
1989	ATF-3	363	> 250.000
1994	GSM 900	> 1.000	> 6.000.000
1998	DCS 1800	> 6.000	> 1.000.000

Inmiddels is de groei explosief toegenomen. Bovenstaande gegevens zijn voor de aantallen antennes aangevuld met gegevens van het Antennebureau[131] (figuur B1).



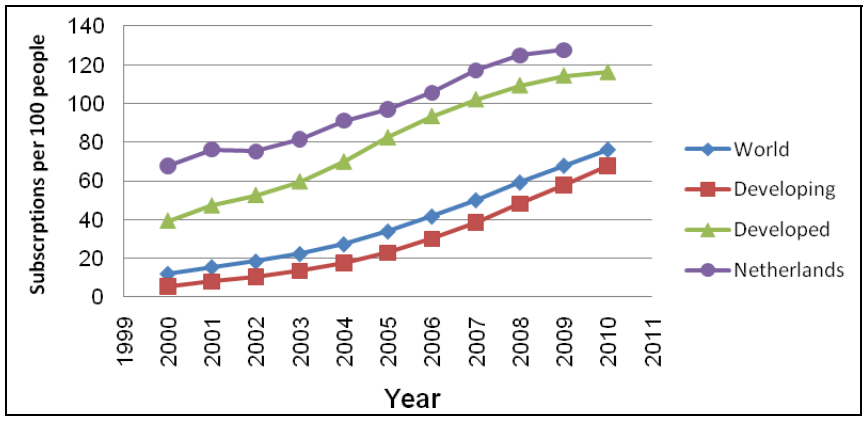
Figuur B1 Aantallen antennes voor verschillende systemen voor mobiele telefonie in Nederland. (Bron: Antennebureau.)

De groei van het aantal gebruikers is weergegeven in figuur B2, op basis van gegevens van de ITU.[132]



Figuur B2 Toename van het aantal eigenaren van een mobiele telefoon wereldwijd en in Nederland. (Bron: International Telecommunication Union.)

Wat betreft het bezit van een mobiele telefoon per 100 inwoners stond Nederland wereldwijd in 2009 op de 38e plaats (bovenaan staan de Verenigde Arabische Emiraten met 232 mobiele telefoons per 100 inwoners); figuur B3 geeft de ontwikkeling in het laatste decennium weer.[132]



Figuur B3 Groei van het bezit van een mobiele telefoon per 100 personen. (Bron: International Telecommunication Union.)

Het gebruik is voortdurend aan veranderingen onderhevig, en verschilt ook voor verschillende groepen in de bevolking. Jongeren maken meer gebruik van sms'en en – tegenwoordig steeds meer – draadloos internet via de smartphone. Het aantal smartphones in Nederland groeit zeer snel: aan het eind van 2010 werd verwacht dat er 3,3 miljoen smartphonegebruikers zijn, dat wil zeggen zo'n 15% van het totaal aantal mobiele telefoongebruikers.[133]

Bijlage **C**

Het elektro-encefalogram

Een elektro-encefalogram (EEG) is een registratie van de elektrische activiteit van de hersenen. Een EEG geeft geen gedetailleerd beeld van de hersenactiviteit, maar is een weergave van de synchrone activiteit van relatief grote hoeveelheden zenuwcellen in de hersenschors, de buitenste laag van de hersenen. Hersenactiviteit vindt continu plaats, ook als men in rust is. Wel zijn er duidelijke verschillen tussen het EEG tijdens slaap en tijdens waken.

Het waak-EEG wordt doorgaans onderverdeeld in een aantal frequentiegebieden. De mate van activiteit in elk van deze gebieden hangt af van de psychologische toestand van de persoon en van de cognitieve activiteit; hierbij zijn er grote inter-individuele verschillen. Doordat niet altijd een eenduidige indeling van de frequentiegebieden gebruikt wordt, kunnen bepaalde frequenties in verschillende onderzoeken aan verschillende frequentiegebieden toegewezen worden. De meest gebruikte indeling in frequentiegebieden is:

- delta (δ): < 4 Hz
- theta (θ): 4-8 Hz
- alfa (α): 8-13 Hz
- beta (β): 13-30 Hz
- gamma (γ): > 30 Hz.

Er is slechts beperkte kennis over de functionele betekenis van de verschillende onderdelen van het normale waak-EEG. Delta golven zijn gerelateerd aan *slow wave sleep*, maar komen ook overdag voor, bijvoorbeeld bij het uitvoeren van

continue attentietaken en bij mediteren; ze geven dus geen negatieve effecten aan. Theta golven zijn gerelateerd aan slaperigheid en aan het remmen van een respons, een normale taak in de hersenen. Alfa golven zijn gerelateerd aan ontspanning en reflectie. Beta golven hangen samen met alertheid en het uitvoeren van een taak. Gamma golven treden op bij aanspreken van het werkgeheugen en het uitvoeren van taken met een mentale inspanning en bij integratie van taken.

Als signalen van mobiele telecommunicatiesystemen bepaalde onderdelen van het EEG blijken te beïnvloeden wijst dat dus op een biologisch effect, maar het is vrijwel niet mogelijk aan te geven of zo'n effect eventueel ook tot gezondheidsproblemen leidt. Een complicerende factor is ook nog, dat er aanzienlijke inter-individuele variaties in het waak-EEG voorkomen.

Dat laatste is veel minder het geval in het slaap-EEG. Hierin zijn goed gekarakteriseerde patronen te onderscheiden; deze patronen worden gebruikt als kenmerken van de verschillende slaapstadia die een gezond persoon tijdens de nacht doorloopt. Inter-individuele variaties zijn hier vooral te vinden in de oppervlakkige slaapstadia. Ook tussen een normaal EEG en een EEG dat behoort bij bepaalde ziektebeelden, zoals epilepsie, zijn meestal duidelijke verschillen.

Bijlage **D**

De zoekstrategie

Er is eerst gezocht in de *research database* van het WHO *International EMF Project* (http://www.who.int/peh-emf/research/database/en/index.html) met de criteria: Freq Range=100 kHz - 300 GHz (radiofrequente/MW/mmW), KeyWord=children,Status=All. Deze database is bijgewerkt tot 22 mei 2009.

Vervolgens is in PubMed gezocht met de termen: (microwaves[MeSH Terms] OR extremely high frequency radio waves[MeSH Terms] OR radio waves[MeSH Terms] OR cellular phone[MeSH Terms] OR telephone, cellular[MeSH Terms] OR electromagnetic fields[MeSH Terms] OR electromagnetic radiation, nonionizing[MeSH Terms] OR electromagnetic radiation, non-ionizing[MeSH Terms] OR radiation, nonionizing[MeSH Terms] OR base station OR (antenna AND radiofrequency) OR mobile phone) AND (child OR children OR infant OR infants OR Animals, Newborn[MeSH Terms] OR aging[MeSH Terms] OR Brain/embryology[MeSH Terms] OR Fetus/radiation effects[MeSH Terms] OR (development AND brain)) NOT (DNA/analysis OR light OR ultraviolet OR epidemiology OR (extremely low) OR ELF OR psychology OR food OR (text message) OR (text messaging) OR cohort OR (magnetic resonance) OR (low frequency) OR dermatitis OR epilepsy OR static OR geomagnetic OR therapy OR (Social Behavior) OR fertility OR cameras OR email OR e-mail OR interference OR Remote Consultation/instrumentation*[MeSH Terms] OR care OR diabetes OR sms OR cartilage OR electroporation OR egg OR power line OR power lines OR (50 Hz) OR immunostaining). Bij de belangrijkste artikelen is daarna verder gezocht met ‘Related articles’.

Dit leverde in totaal 147 artikelen op. Hiervan hadden er 90 betrekking op blootstelling na de geboorte, of blootstelling van gekweekte cellen; deze zijn voor dit advies gebruikt. Daarnaast gingen 35 artikelen over blootstelling voor de geboorte, 14 artikelen waren reviews en 9 artikelen behandelden algemene onderwerpen; al deze artikelen zijn in dit advies niet meegenomen.

Het literatuuronderzoek is afgesloten op 5 juli 2011.

Bijlage **E**

Beschrijving van de onderzoeken

E.1 In vitro onderzoek hersencellen

Functionele effecten in zenuwcellen

Ning en medewerkers (2007)[27] stelden primaire zenuwcellen uit de hippocampus gedurende 6 dagen 15 minuten per dag bloot aan een GSM-1800-signaal. Bij een SAR van 2,4 W/kg vonden zij effecten van blootstelling op de vorming van dendrieten, bij een SAR van 0,8 W/kg was dit niet het geval.

Xu en medewerkers (2006)[28] stelden primaire rattenneuronen gedurende 8 dagen 15 minuten per dag bloot aan een GSM-1800-signaal met een SAR van 2,4 W/kg. Zij namen een afname waar van de intensiteit van bepaalde synaptische activiteit (alleen signalen gegenereerd door α-amino-3-hydroxy-5-methyl-4-soxazol propionzuur (AMPA) receptoren, niet door N-methyl-D-aspartaat (NMDA) receptoren).

Wang en medewerkers (2004)[29] stelden neuronen uit de hersenschors van pasgeboren ratten bloot aan een 900 MHz continu signaal, met een SAR van 3,2 W/kg, gedurende 4-5 dagen en 2 uur per dag, of gedurende 12 uur achtereen. Beide behandelingen resulteerden in een afname van de activiteit van het enzym cytochroom C oxidase, dat van belang is voor de energiehuishouding van de cel.

In een vervolgexperiment stelden Wang en medewerkers (2005)[30] neuronen uit de hersenschors van pasgeboren ratten bloot aan een 900 MHz continu signaal, met SAR van 1,1, 2,2 of 3,2 W/kg, gedurende 4 of 6 dagen en 2 uur per dag,

of aan een SAR van 3,2 W/kg gedurende 12 uur achtereen. Beide behandelingen resulteerden in een dosisafhankelijke afname van het receptoreiwit GluR2 en een toename van intracellulair calcium. Eveneens vonden Wang en medewerkers (2005)[134] veranderingen in de expressie van GABA-receptoren*; daarbij deed zich een niet nader gespecificeerd venstereffect voor**. De in beide onderzoeken gevonden effecten kunnen gevolgen hebben voor de signaaloverdracht. (Deze publicaties zijn in het Chinees gepubliceerd, de commissie kon alleen gegevens verkrijgen uit de Engelstalige samenvatting.)

Functionele effecten in steuncellen

Astrocyten zijn steuncellen in de hersenen die de ervoor zorgen dat de neuronen goed kunnen functioneren. Microgliacellen zijn specifieke tot het afweersysteem behorende cellen in de hersenen. Veranderingen in het functioneren van beide celtypen kunnen een invloed hebben op het functioneren van de hersenen.

Höytö en medewerkers (2007)[32] stelden primaire astrocyten en twee neuroblastoma cellijnen bloot aan 872 MHz continue of GSM-gemoduleerde elektromagnetische velden, gedurende 2, 8 of 24 uur en bij SAR-waarden van 1,5, 2,5 en 6,0 W/kg. Zij bepaalden de activiteit van het enzym ornithine decarboxylase (ODC), dat van belang is bij celgroei en differentiatie; een hoog ODC-gehalte kan de ontwikkeling van tumoren uit premaligne cellen stimuleren. In astrocyten werd bij SAR's van 1,5 en 6,0 W/kg een afname van ODC gevonden bij zowel continue als GSM-gemoduleerde velden (de SAR van 2,5 W/kg is bij deze cellijn niet getest), wanneer de gegevens van de drie blootstellingstijden bijeen genomen werden. Analyse van de blootstellingstijden apart leverde geen tijdsafhankelijke respons op. Bij de andere cellijnen werd geen effect waargenomen.

Thorlin en medewerkers (2006)[33] stelden primaire cultures van astrocyten en microgliacellen bloot aan continue 900 MHz elektromagnetische velden bij een SAR van 27 W/kg gedurende 24 uur, of aan GSM-gemoduleerde velden bij een SAR van 3 W/kg gedurende 4, 8 en 24 uur. De temperatuur werd constant op 37 °C gehouden. Verschillende parameters die indicatief zijn voor de reactie van deze cellen op externe prikkels werden gemeten, maar in geen enkel geval werd een respons gevonden.

---

* Gamma-aminoboterzuur (GABA) is een belangrijke neurotransmitter.

** Een venstereffect wil zeggen dat het effect alleen optreedt onder bepaalde omstandigheden, bijvoorbeeld in een bepaald frequentiegebied, en niet bij lagere of hogere frequenties.

Gen expressie

Zhao en medewerkers (2006)[31] stelden primaire neuronen uit de cortex en hippocampus van pasgeboren ratten bloot aan een 1800 MHz GSM-achtig signaal, bij een SAR van 2 W/kg gedurende 24 uur, in een schema van 5 minuten aan, 10 minuten uit. Van een groep van 1200 mogelijk te beïnvloeden genen, bleek de activiteit van 34 genen verhoogd of verlaagd te zijn. Nadere analyse van één gen, dat van *microtubule associated protein 2* (Map2), wees uit dat de expressie was toegenomen. Dit wijst op een toename van de productie van dit eiwit, dat een functie heeft in het handhaven van het skelet van de neuronen en in de vorming van uitlopers, en dat daarmee een invloed heeft op het functioneren van de cellen. (Dit artikel is in het Chinees gepubliceerd, de commissie kon alleen gegevens verkrijgen uit de Engelstalige samenvatting.)

E.2 Ontwikkeling hersenweefsel en hersenfunctie

Proefdieronderzoek

Verschillende onderzoekers hebben in proefdieren de invloed onderzocht van blootstelling aan elektromagnetische velden na de geboorte op de ontwikkeling van onderdelen van de hersenen. In sommige gevallen vond ook al blootstelling tijdens de zwangerschap plaats.

In een aantal onderzoeken zijn de proefdieren blootgesteld aan een SAR die hoger is dan de limietwaarde van 2 W/kg die ICNIRP geeft voor blootstelling van het hoofd. Dat betekent dat in die gevallen effecten van opwarming niet uitgesloten kunnen worden. Dat geldt des te meer indien de dieren over het gehele lichaam aan een dergelijke hoge SAR werden blootgesteld. Daarnaast is het de vraag of de warmtehuishouding van heel jonge dieren gelijk is aan die van oudere dieren. Als dit niet het geval is, kan een SAR van 2 W/kg mogelijk bij de jonge dieren al tot stijging van de lichaamstemperatuur leiden, wat weer een verklaring zou kunnen zijn voor waargenomen effecten.

Weefselonderzoek

Albert en medewerkers (1981a,b)[40,44] onderzochten het aantal purkinjecellen in de kleine hersenen na blootstelling aan 2450 MHz radiofrequente velden bij ratten en doodshoofdapen.

Zes dagen oude ratten ondergingen gedurende 5 dagen 7 uur per dag blootstelling van het gehele lichaam aan 100 W/m^2 (= 194 V/m), resulterend in een

gemiddelde totalelichaams-SAR van 2 W/kg. Direct na blootstelling werd een significant lager aantal purkinjecellen waargenomen t.o.v. gesimuleerde blootstelling, maar 40 dagen later was dit verschil niet meer aanwezig.

De doodshoofdapen werden tijdens gehele zwangerschap en gedurende 9,5 maand na de geboorte gedurende 3 uur per dag blootgesteld aan 100 W/m^2 (= 194 V/m), resulterend in een gemiddelde totalelichaams-SAR van 3,4 W/kg. Er was geen verschil in de dichtheid en het aantal purkinjecellen tussen blootgestelde en controledieren.

In een vervolgonderzoek bestudeerden Albert en medewerkers (1988)[41] de kleine hersenen bij ratten na blootstelling aan 2450 MHz radiofrequente velden. Eén dag oude en zes dagen oude ratten werden gedurende 5 dagen 7 uur per dag blootgesteld aan 100 W/m^2 (= 194 V/m), resulterend in een gemiddelde totalelichaams-SAR van 2 W/kg. In de kleine hersenen van blootgestelde dieren vonden de onderzoekers daarna 2x zoveel cellen met een geschrompelde kern als in gesimuleerd blootgestelde controledieren. De auteurs suggereren dat dit erop wijst dat blootstelling aan radiofrequente velden de vroege ontwikkeling van microneuronen in de kleine hersenen kan beïnvloeden en de stofwisselingstoestand van purkinjecellen kan veranderen. Dit effect kan volgens de auteurs omkeerbaar zijn.

Inouye en medewerkers (1983)[45] stelden ratten vanaf de 4^e dag van de zwangerschap tot 40 dagen na de geboorte dagelijks gedurende 3 uur per dag bloot aan 2450 MHz radiofrequente velden van 100 W/m^2 (= 194 V/m). Zij berekenden dat de SAR in de hersenen gedurende de blootstellingsperiode als gevolg van de groei van de dieren afnam van 13,9 tot 9,5 W/kg. De onderzoekers vonden voor de onderzochte histologische parameters geen kwalitatieve en kwantitatieve verschillen tussen blootgestelde en controle (gesimuleerd blootgestelde) dieren.

In deze vier experimenten kunnen door de relatief hoge SAR opwarmingseffecten niet worden uitgesloten.

Cobb en medewerkers (2000)[42] stelden ratten voor en tot 10 dagen na de geboorte bloot aan een gepulst ultra-breedband elektromagnetisch veld. De piek veldsterkte was 55 kV/m, bij een stijgtijd van 300 picoseconden en een pulsbreedte van 1,8 nanoseconde; de totalelichaams-SAR was 45 mW/kg. Het enige effect dat de onderzoekers vonden was, dat de verhouding van de mediale tot de laterale lengte van de hippocampus groter was in de blootgestelde dan in gesimuleerd blootgestelde dieren.

Hoffman en medewerkers (2001)[43] stelden ‘jong volwassen’ gerbils (springmuizen) bloot aan 35,53 kHz radiofrequente velden, gemoduleerd met frequenties van 1, 8, 12, 29 of 50 Hz. Modulatie met 1, 20 of 50 Hz resulteerde in een vermindering van de toename van het aantal cellen in hersenweefsel ten opzichte

van gesimuleerde blootstelling, terwijl een dergelijk effect niet werd gevonden bij modulatie met 8 of 12 Hz. Omdat de auteurs geen gegevens zoals duur en mate van blootstelling opgeven, is dit onderzoek niet te interpreteren.

Kumlin en medewerkers (2007)[46] stelden 24 dagen oude ratten 5 weken lang gedurende 2 uur per dag en 5 dagen per week bloot aan een 900 MHz mobiel telefoon signaal. Er waren twee niveaus van blootstelling, resulterend in een totalelichaams-SAR van 0.3 of 3.0 W/kg; bij de hoogste SAR-waarde kan opwarming niet worden uitgesloten. Bij geen van beide SAR-waarden werden in het hersenweefsel degeneratieve veranderingen of afstervende neuronen waargenomen.

Ragbetli en medewerkers (2009)[47] onderzochten de aantallen pyramidale cellen in de hippocampus van muizen die gedurende de gehele zwangerschap en 21 dagen daarna waren blootgesteld aan het signaal van een mobiele telefoon. Gedurende de blootstellingsperiode van 12 uur per dag stond de telefoon afwisselend 1 uur en 45 min in *standby* stand en 15 min in gesprekstand. De blootstelling van de dieren is niet bepaald, noch de sterkte van het uitgezonden signaal. Omdat de telefoon midden onder de kooi was gelegd zal er een aanzienlijke variatie in blootstelling hebben plaatsgevonden. De onderzoekers vonden geen verschil in aantallen pyramidale cellen tussen blootgestelde en niet-blootgestelde dieren, maar door het ontbreken van blootstellingsgegevens is dit onderzoek niet te interpreteren.

EEG en ERP

Een maat voor hersenactiviteit die nauw verwant is aan het EEG is de opgewekte potentiaal (*evoked* of *event-related potential*, ERP). Een ERP is een signaal dat in een bepaald hersengebied wordt opgewekt door een van buiten komende prikkel (bijvoorbeeld een lichtflits of een geluid) of door een motorische activiteit (bijvoorbeeld het indrukken van een knop). ERP's worden bepaald door het meten van het EEG in relatie tot de aangeboden prikkel en door vervolgens bepaalde delen van het EEG die op een vast tijdstip na de prikkel optreden op te tellen en te middelen. Het zo verkregen elektrische signaal is een weergave van de hersenactiviteit die gerelateerd is aan die bepaalde prikkel. ERP's worden gebruikt om het functioneren te onderzoeken van neurale systemen die zorgen voor het verwerken van zintuiglijke, cognitieve en motorische prikkels. De interpretatie van ERP's is echter niet eenvoudig, doordat veranderingen in prikkeling en aandacht van de onderzochte personen het resultaat van dergelijke onderzoeken sterk kunnen beïnvloeden.

Rosenstein (gerapporteerd in McRee en medewerkers, 1979)[34] stelde ratten bloot aan 425 MHz radiofrequente velden, 100 W/m^2 (=194 V/m), vanaf de 12^e dag na bevruchting en aan 2450 MHz velden, 50 W/m^2 (=137 V/m) vanaf de 6^e dag na bevruchting. In beide gevallen duurde de blootstelling na de geboorte voort tot de leeftijd van 92 dagen. Op een leeftijd van 140 dagen werden het spontane EEG en door middel van een lichtstimulus opgewekte hersensignalen (*visual evoked responses*) bepaald. De onderzoekers vonden geen verschil tussen de blootgestelde en controledieren.

Gehoor

Kizilay en medewerkers (2003)[35] stelden volwassen en pasgeboren ratten (vanaf een leeftijd van 2 dagen) gedurende 30 dagen dagelijks 1 uur bloot aan elektromagnetische velden van een mobiele telefoon. Zij maten vervolgens de gehoorfunctie (door middel van zogenoemde *distortion product otoacoustic emission*, DPOAE's). De auteurs geven aan dat bij blootstelling aan chemicaliën de meest gevoelige periode voor het ontwikkelen van gehoorschade tussen 11 en 20 dagen na de geboorte ligt.[135] De radiofrequente blootstelling van de dieren is niet bepaald, evenmin als de sterkte van het uitgezonden signaal. De onderzoekers vonden noch in de volwassen, noch in de jonge dieren een effect van de blootstelling op de DPOAE, maar door het ontbreken van blootstellingsgegevens is dit onderzoek niet te interpreteren.

Kayabasoglu en medewerkers (2011)[36] stelden 20 pasgeboren en 20 volwassen ratten gedurende 30 dagen en 6 uur per dag bloot aan een signaal van een mobiele telefoon. Voor en na de blootstellingsperiode maten zij de DPOAE, maar vonden zowel bij de jonge als bij de volwassen dieren geen effect van de blootstelling. Ook deze resultaten zijn door het ontbreken van blootstellingsgegevens niet te interpreteren.

Budak en medewerkers (2009)[37] stelden 1 maand oude en volwassen konijnen gedurende 7 dagen 15 minuten per dag bloot aan een 1800 MHz GSM-achtig signaal. De DPOAE's in de blootgestelde groep waren hoger dan die bij de controles. Bij de volwassen dieren was dit verschil groter dan bij de jonge dieren. Door het ontbreken van blootstellingsgegevens is dit onderzoek niet te interpreteren.

In een ander experiment stelden Budak en medewerkers (2009)[38] 1 maand oude mannelijke konijnen gedurende 14 dagen 15 minuten per dag bloot aan een 1800 MHz GSM-achtig signaal. Een andere groep werd tussen de 15^e en 22^e dag van de zwangerschap in de baarmoeder blootgesteld (7 dagen, 15 minuten per dag). Een derde groep ontving beide behandelingen. Afhankelijk van de bij de

DPOAE gebruikte frequentie werden tussen diverse groepen verschillen gevonden, echter zonder een duidelijk patroon (tabel E1).

De onderzoekers stellen dat in de baarmoeder het watergehalte in het midden- en binnenoor en het vruchtwater een beschermende rol kunnen spelen. Door het ontbreken van blootstellingsgegevens is ook dit onderzoek niet te interpreteren.

In een derde publicatie vinden Budak en medewerkers (2009)[39] in eenzelfde onderzoek bij vrouwelijke konijnen andere resultaten (tabel E1).

Tabel E1 Resultaten onderzoeken Budak en medewerkers

Geluidsfrequentie	Effect mannelijke konijnen	Effect vrouwelijke konijnen
1,0 kHz	geen verschillen	na > controle
1,5 kHz	voor > controle voor > na voor+na > controle voor+na > na	na > controle
2,0 kHz	voor+na > na	na > controle en voor
3,0 kHz	voor+na > controle en na	
4,0 kHz	na < controle voor+na > controle en na	
6,0 kHz	na < controle; voor+na > na	na > controle, voor en voor+na
8,0 kHz	geen verschillen	na > voor en voor+na

voor: blootstelling voor geboorte; na: blootstelling na geboorte; voor+na: blootstelling voor en na geboorte; controle: geen blootstelling; >: effect groter dan; <: effect kleiner dan

Onderzoek kinderen

Effecten op het EEG

Door de groep van Krause uit Finland is de elektrische activiteit in de hersenen bij kinderen tijdens het uitvoeren van een geheugentest bestudeerd. Het doel was om te onderzoeken of patronen die daarin bij volwassenen gevonden worden ook al bij kinderen voorkomen. Dit geeft informatie over de functionele ontwikkeling van de hersenen en is van belang bij het interpreteren van gegevens waarbij blootstelling van kinderen aan elektromagnetische velden heeft plaatsgevonden – dat was in deze onderzoeken dus niet het geval.

In een eerste onderzoek vergeleken Krause en medewerkers (2001)[136] bij een gehoor-geheugentest het EEG van 12 kinderen met een gemiddelde leeftijd van circa 12 jaar met dat van 12 volwassenen. De activiteit in de theta- (4-8 Hz) en alfaband (8-13 Hz) van het EEG tijdens het verwerken van gehoorinformatie was bij de onderzochte kinderen al aanwezig, maar in vergelijking met de activiteit

bij volwassenen nog niet volledig ontwikkeld. Ook in een later onderzoek bij 15 iets oudere kinderen (gemiddelde leeftijd circa 13 jaar) vonden Krause en medewerkers (2007)[137] complexe patronen in de theta (4-8 Hz), alfa (8-13 Hz) en beta frequentiebanden (13-30 Hz) tijdens het verwerken van informatie tijdens een gehoor-geheugentest. De auteurs suggereren dat geheugensystemen die verantwoordelijk zijn voor het herinneren mogelijk als laatste tot ontwikkeling komen. Dat zijn dan mogelijke kandidaten voor beïnvloeding door radiofrequente velden van mobiele telefoons als die door jonge kinderen worden gebruikt.

In een derde onderzoek aan 15 kinderen onderzochten Krause en medewerkers (2006)[49] daarom het EEG tijdens een gehoor-geheugentest bij 10-14 jarigen terwijl ze blootgesteld werden aan een 902 MHz signaal van een mobiele telefoon. De SAR_{1g} was 1,40 W/kg, de piek-SAR was 1,98 W/kg. Er bleek een effect van die blootstelling te zijn dat verschilde tussen de verschillende fasen van het cognitieve proces: tijdens de inprentingsfase was er een effect op de alfaband (8-13 Hz) van het EEG, terwijl tijdens de herkenningsfase naast een effect op de alfaband ook een effect bij 15 Hz werd gevonden, een frequentie in de betaband. Dit zegt echter nog niets over een effect op de geheugenfunctie, een onderwerp dat hierna aan de orde komt.

Een vergelijkbaar onderzoek werd uitgevoerd door Kramarenko en Tan (2003).[50] Zij stelden 10 kinderen van 12 jaar bloot aan een signaal van een 900 MHz GSM-telefoon. Zo'n 10-20 sec na het begin van de blootstelling verschenen laagfrequente golven (1,0-2,5 Hz, delta band) in het EEG. Bij de 10 onderzochte volwassenen resulteerde blootstelling ook in een toename van de EEG-activiteit, maar bij hogere frequenties (2,5-6,0 Hz; delta en theta band) en pas na een wat langere tijd, 20-40 sec. In beide gevallen verdween de toegenomen EEG-activiteit weer na stopzetting van de blootstelling. De auteurs geven echter niet aan wat de intensiteit van de blootstelling of de SAR-waarde in het hoofd was. Het onderzoek is daardoor lastig te interpreteren.

Croft en medewerkers (2010)[52] onderzochten het waak-EEG in rust tijdens blootstelling aan een GSM- of UMTS-signaal bij drie groepen vrijwilligers: 13-15 jaar, 19-40 jaar en 55-70 jaar. De piek-$SAR_{10\,g}$ bij het GSM-signaal was 0,7 W/kg en bij het UMTS-signaal 1,7 W/kg. Bij het GSM-signaal werd alleen in de groep 19-40 jarigen een effect gevonden op de EEG-activiteit in de alfaband (8-13 Hz), dus niet bij de kinderen. Het UMTS-signaal resulteerde bij geen van de leeftijdsgroepen in enig effect.

Leung en medewerkers (2011)[51] rapporteerden over een ander onderdeel van dit onderzoek, waarbij het EEG werd onderzocht bij het uitvoeren van een geheugentaak die was afgestemd op de individuele capaciteiten. Onafhankelijk

van de leeftijd werd in alle drie groepen een vertraging gevonden van de respons in de alfaband bij zowel de GSM- als de UMTS-blootstelling.

De bevindingen bij jonge volwassenen komen overeen met eerdere gegevens. In het Jaarbericht 2008 heeft de commissie aandacht besteed aan effecten van elektromagnetische velden op het EEG bij volwassenen:

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat GSM-achtige signalen het spontane EEG kunnen beïnvloeden[50,70,138-147]; in andere onderzoeken zijn dergelijke effecten echter weer niet gevonden.[148-151] Een goed uitgevoerd groot onderzoek aan 120 proefpersonen heeft bevindingen uit een aantal kleinere onderzoeken bevestigd met betrekking tot een toename van de hersenactiviteit in de alfa band (in dit grote onderzoek gedefinieerd als 8-13 Hz).[152] Mogelijk zijn er ook effecten op de hersenactiviteit in andere frequentiebanden, maar deze zijn niet consistent gevonden.

Effecten op ERP's

Kwon en medewerkers (2009)[53] onderzochten met behulp van EEG-analyse bij 17 kinderen van 11-12 jaar de invloed van blootstelling aan het signaal van een 900 MHz GSM-telefoon op door geluid opgewekte ERP's. De blootstellingsduur was 6 min, de maximale SAR_{1g} = 1,14 W/kg, de SAR_{10g} = 0,82 W/kg, en de piek-SAR = 1,21 W/kg. De blootstelling had geen invloed op de verwerking van de geluidsignalen, maar het aantal proefpersonen was te laag om subtiele verschillen te kunnen waarnemen.

In het Jaarbericht 2008 concludeerde de commissie dat de onderzoeken naar de effecten op ERP's bij volwassenen geen ondersteuning vormen voor de EEG-onderzoeksresultaten. Voor zover er in sommige onderzoeken geringe effecten zijn gevonden, waren deze niet consistent.[139,142,153-161] In andere onderzoeken zijn in het geheel geen effecten gevonden.[49,81,155,162-167]

E.3 Gedrag / geheugenfunctie

In het Jaarbericht 2008 schreef de commissie dat de onderzoeken naar cognitieve effecten een gevarieerd beeld geven. Dit is onder meer het gevolg van het feit dat er weinig eenduidigheid bestaat in de gebruikte tests. Dat beeld is sindsdien niet veranderd.

Het meeste onderzoek bij mensen is verricht aan volwassenen. Bij de onderzoeken aan kinderen zijn verschillende leeftijdsgroepen beschouwd, met daardoor ook uiteenlopende mate van gebruik van een mobiele telefoon.

Takahashi en medewerkers (2010)[55] stelden ratten vanaf 7 dagen na de bevruchting en tot 21 dagen na de geboorte bloot aan een 2,14 GHz UMTS-achtig signaal gedurende 20 uur per dag. De totalelichaams-SAR varieerde van 0,068-0,146 W/kg (hoog blootstellingsniveau) of van 0,029-0,067 W/kg (laag blootstellingsniveau). Gedurende de postnatale blootstellingsperiode werden bij beide blootstellingsniveaus geen afwijkingen in het gedrag en geheugen gevonden ten opzichte van een controlegroep.

Priakhin en medewerkers (2007)[56] stelden ratten op een leeftijd van 2 en 3,5 maanden bloot aan een gepulst 925 MHz GSM-signaal met een vermogensdichtheid van 1,2 mW/cm^2 (= 67 V/m), 10 minuten per dag gedurende 12 dagen. Op de 8^e dag van de blootstelling werd het leer- en oriëntatievermogen getest; daarbij werd geen effect van de blootstelling waargenomen. (Dit onderzoek is in het Russisch gepubliceerd; de Engelstalige samenvatting geeft niet meer informatie dan hier gegeven.)

Kumlin en medewerkers (2007)[46] stelden 18 ratten vanaf een leeftijd van 24 dagen bloot aan een 900 MHz mobiele telefoon signaal gedurende 2 uur per dag, 5 dagen per week en 5 weken. Er waren twee niveaus van blootstelling, resulterend in totalelichaams-SAR's van 0,3 en 3,0 W/kg. Geen van beide blootstellingen leidde tot effecten in een open-veld test, een doolhof test en een schrikreactie test. In de water doolhof test vertoonden blootgestelde dieren een significant verbeterd leervermogen en geheugen, waarbij de hoogste blootstelling het sterkste effect veroorzaakte. Bij de SAR van 3,0 W/kg kunnen opwarmingseffecten echter niet worden uitgesloten.

Cobb en medewerkers (2000)[42] stelden ratten voor de geboorte en tot 10 dagen daarna bloot aan een gepulst ultra-breedband elektromagnetisch veld. De piek veldsterkte was 55 kV/m, bij een stijgtijd van 300 picoseconden en een pulsbreedte van 1,8 nanoseconde; de totalelichaams-SAR was 45 mW/kg. Hierboven is al aangegeven dat in dit onderzoek vrijwel geen effecten gevonden werden op hersenstructuren. Evenmin vonden de onderzoekers effecten op gedrag.

Galvin en medewerkers (1986)[54] stelden ratten bloot aan 2450 MHz radiofrequente velden van 100 W/m^2 (= 194 V/m), 3 uur per dag van de 5^e tot de 20^e dag van de zwangerschap en van de 2^e tot de 20^e dag na de geboorte. Groepen van 11-18 echt of gesimuleerd blootgestelde dieren werden vervolgens op gedrag getest. Op een leeftijd van 30 dagen hadden de echt blootgestelde dieren een lager zwem-uithoudingsvermogen dan gesimuleerd blootgestelde dieren, maar niet op een leeftijd van 100 dagen. Er werden geen andere effecten op gedrag waargenomen. In een vervolgexperiment vonden de onderzoekers ook op een

leeftijd van 30-36 dagen een geringer zwem-uithoudingsvermogen na blootstelling en geen effect op andere gedragsparameters.

Reiter (gerapporteerd in McRee en medewerkers, 1979)[34] stelde ratten bloot aan 425 MHz radiofrequente velden, 100 W/m^2 (= 194 V/m), vanaf de 12^e dag na bevruchting en aan 2450 MHz velden, 50 W/m^2 (= 137 V/m) vanaf de 6^e dag na bevruchting. In beide gevallen duurde de blootstelling na de geboorte voort tot de leeftijd van 92 dagen. De onderzoekers vonden geen verschil tussen de blootgestelde en controledieren in de ontwikkeling van reflexen gedurende de eerste drie levensweken. Evenmin was er een verschil tussen beide groepen in de spontane bewegingsactiviteit op volwassen leeftijd.

Onderzoek kinderen

Haarala en medewerkers (2005)[57] onderzochten verschillende cognitieve functies bij 32 kinderen van 10-14 jaar tijdens blootstelling aan het signaal van een GSM mobiele telefoon, bij een SAR_{10g} van 1 W/kg (piekwaarde = 2,07 W/kg), en aan gesimuleerde blootstelling. De onderzoekers vonden geen effecten van blootstelling op de reactietijd en op de nauwkeurigheid in de verschillende tests.

Preece en medewerkers (2005)[58] onderzochten eveneens cognitieve functies bij 18 kinderen tijdens blootstelling aan het signaal van een GSM mobiele telefoon en vergeleken die met gesimuleerde blootstelling, in dit geval bij een leeftijdsgroep van 10-12 jaar. Er werden twee verschillende niveaus van blootstelling toegepast: een uitgangsvermogen van 0,025 of 0,25 W (= vol vermogen). De maximale SAR was 0,28 W/kg. De onderzoekers vonden bij geen van beide niveaus een effect van blootstelling op de reactietijd; dit hadden zij in eerdere experimenten wel gevonden bij volwassenen, maar daarbij werd een ander type (analoge) telefoon gebruikt die een groter vermogen had. Bij gesimuleerde blootstelling – de controlesituatie – was de reactietijd van de kinderen langer dan zoals die bij volwassenen in de eerdere experimenten was gemeten.

Riddervold en medewerkers (2008)[59] onderzochten verscheidene cognitieve functies en het optreden van klachten bij veertig 15-16 jarigen bij blootstelling gedurende 45 min aan een 2140 MHz continu signaal, een 2140 MHz UMTS-gemoduleerd signaal, een volledig UMTS basisstationsignaal, of gesimuleerde blootstelling. De veldsterkte was 1 V/m. Geen van deze signaaltypes had een effect op de onderzochte cognitieve functies of op het optreden van klachten.

Abramson en medewerkers (2009)[60] onderzochten cognitieve functies in een groep van 317 kinderen van rond de 13 jaar oud. Geheugen, reactietijd, nauwkeurigheid en leervermogen werden gerelateerd aan het gerapporteerde aantal gevoerde gesprekken of verzonden sms berichten per week. Naarmate de kinde-

ren meer gesprekken per week voerden reageerden ze sneller en minder nauwkeurig bij hoog-niveau cognitieve taken. Datzelfde was echter ook het geval naarmate ze meer sms berichten verstuurden. De onderzoekers suggereren dan ook dat het effect vooral samenhangt met het veelvuldig gebruik van een mobiele telefoon.

Leung en medewerkers (2011)[51] onderzochten het effect op twee geheugentaken van blootstelling aan een GSM- of UMTS-signaal bij drie groepen vrijwilligers: 13-15 jaar, 19-40 jaar en 55-70 jaar. De piek-$SAR_{10\,g}$ bij het GSM-signaal was 0,7 W/kg en bij het UMTS-signaal 1,7 W/kg. De moeilijkheidsgraad van de geheugentests was afgestemd op de individuele capaciteit, om de vergelijkbaarheid van de mate van mentale inspanning te vergroten. Bij een geluid-geheugentest werd bij geen van de leeftijdsgroepen een effect gevonden van beide signalen. Bij een optische geheugentest werd alleen in de groep 13-15 jarigen een vermindering van de nauwkeurigheid gevonden bij blootstelling aan het UMTS-signaal. Het GSM-signaal resulteerde bij geen van de leeftijdsgroepen in enig effect.

De onderzoeken aan kinderen leveren dus in het algemeen geen, maar in een recent onderzoek beperkte aanwijzingen op voor effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden op cognitieve functies. Bij volwassenen zijn in sommige onderzoeken ook effecten gevonden, maar deze zijn altijd gering en omkeerbaar en de effecten wijzen doorgaans op een verbetering van de prestaties.[61-72] De onderzoeken met grotere aantallen proefpersonen laten over het algemeen geen effecten zien.[59,73-83]

E.4 Bloed-hersenbarrière

Proefdieronderzoek

Kumlin en medewerkers (2007)[46] stelden groepen van 6 ratten vanaf een leeftijd van 24 dagen 5 weken lang gedurende 2 uur per dag en 5 dagen per week bloot aan een 900 MHz mobiele telefoon signaal. Er waren twee niveaus van blootstelling, resulterend in een totalelichaams-SAR van 0,3 of 3,0 W/kg. Bij geen van beide SAR-waarden werden effecten op de bloed-hersenbarrière waargenomen.

Kuribayashi en medewerkers (2005)[84] stelden 4 en 10 weken oude ratten op de kop bloot aan een 1439 MHz radiofrequente veld, gedurende 90 minuten per dag en 1 of 2 weken. De lokale SAR was 2 of 6 W/kg. Ten opzichte van gesimuleerde blootstelling was er geen effect op de permeabiliteit van bloedvaten in de hersenen en de op expressie van aan de bloed-hersenbarrière gerelateerde genen.

Finnie en medewerkers (2006)[85] stelden muizen direct na de geboorte gedurende 7 dagen en 1 uur per dag bloot aan een 900 MHz mobiel telefoon signaal. De totalelichaams-SAR was 4 W/kg. Controle groepen ontvingen een gesimuleerde blootstelling of geen behandeling en er was een positieve controle. Die laatste gaf een effect op de albumine lekkage in de hersenen te zien, een aanduiding voor permeabiliteit van de bloed-hersenbarrière, maar na blootstelling aan het GSM-signaal werd dit niet waargenomen.

Ondanks de soms hoge SAR-waarden, waarbij opwarmingseffecten niet kunnen worden uitgesloten, zijn er dus geen effecten op de bloed-hersenbarrière gevonden.

E.5 Fysiologie

Proefdieronderzoek

De schildklier scheidt de hormonen thyroxine (T4) en triiodothyronine (T3) af die een belangrijke regulerende functie hebben bij de stofwisseling. De werking van de schildklier wordt onder meer geregeld door het hormoon THS (thyroid stimulerend hormoon) dat in de hypofyse wordt gemaakt en dat weer wordt gereguleerd door TSH (thyrotropine stimulerend hormoon) dat in de hypothalamus wordt gemaakt.

Saddiki-Traki (1986)[88] stelden ratten gedurende de eerste 15 dagen na geboorte bloot aan radar microgolven met een vermogensdichtheid van 5 ± 2 mW/cm^2 (= 137 V/m). De duur van de blootstelling is niet gegeven, maar was waarschijnlijk continu. Op een leeftijd van 75 dagen was het niveau van TSH in het plasma toegenomen, maar niet het TSH-niveau in de hypothalamus. Ook was er een toename van T4 in het plasma. Histologisch onderzoek van de schildklier liet een afname van de diameter van de follikels zien, evenals een toename van de hoogte van het follikelepitheel.

Het is mogelijk dat deze effecten het gevolg zijn van een stijging van de lichaamstemperatuur. Lu en medewerkers (1987) concludeerden uit onderzoek aan drie verschillende rattenstammen dat bij volwassen dieren de grenswaarde voor stimulering van de schildklier bij een omgevingstemperatuur van 24 °C een minimum temperatuurstijging van 0,24 °C was, overeenkomend met een SAR van 2 W/kg.[168]

Onderzoek aan volwassen dieren laat overigens geen eenduidige resultaten zien. Michaelson en medewerkers (1967)[169] (geciteerd in Michaelson 1982[170])

stelden honden bloot aan een gepulst 2880 MHz veld bij een SAR van 3,7-6,1 W/kg en vonden stimulatie van de schildklier.

Blootstelling van ratten gedurende 4 uur aan een 1 mW/cm^2 (= 61 V/m) 2450 MHz veld resulteerde in een toename van T4 in serum (Lu en medewerkers 1977)[171], maar niet in een toename van TSH (Lu en medewerkers 1985).[172] TSH neemt pas af bij blootstellingen boven 10 mW/cm^2, overeenkomend met een SAR van 2 W/kg.[172]

Parker (1973)[173] stelde ratten 60 uur lang bloot aan een 2450 MHz veld bij 15 mW/cm^2 (= 237 V/m) en vond een afname van T4 in serum en dus remming van de schildklier. Koyu en medewerkers (2005)[174] stelden ratten bloot aan een 900 MHz veld (1 ± 0,4 mW/cm^2, SAR = 2 W/kg) gedurende 30 min per dag, 5 dagen per week en 4 weken en vonden verlaagde serumgehaltes van TSH, T3 en T4.

Diverse biochemische parameters in de hersenen zijn onderzocht door Paulraj en medewerkers[92-94] aan 35 dagen oude ratten. De dieren werden gedurende 35 dagen 5 dagen per week en 2 uur per dag blootgesteld. Een elektromagnetisch veld van 112 MHz, 16 Hz amplitude gemoduleerd, met een vermogensdichtheid van 1 mW/cm^2 (= 61 V/m) resulteerde in een toename van de activiteit van het enzym ornithine decarboxylase (ODC), een tumor marker, en van een toename van de uitscheiding van calcium uit hersenweefsel, maar deze gegevens waren inconsistent.[92] Een 2540 MHz veld van 0,344 mW/cm^2 (= 36 V/m), resulterend in een totalelichaams-SAR van 0,11 W/kg, zorgde voor een verlaging van de activiteit van het enzym protein kinase C (PKC) in de hippocampus. PKC speelt een belangrijke rol in diverse cellulaire functies en wordt verondersteld van belang te zijn bij het ontstaan van kanker.[93,94]

Paulraj en medewerkers (2006)[90] onderzochten ook DNA-breuken na blootstelling aan 2,54 GHz (SAR = 1,0 W/kg) of 16,5 GHz (SAR = 2.0 W/kg), ook weer gedurende 35 dagen, 5 dagen per week en 2 uur per dag. Bij beide frequenties werd een toename gevonden van het aantal enkelstrengs DNA-breuken van respectievelijk 70% (2,54 GHz) en 51% (16,5 GHz). In een vervolgexperiment werd eenzelfde behandeling gegeven bij een SAR van 0,11 W/kg.[91] Ten opzichte van gesimuleerd blootgestelde dieren was er een toename van het aantal DNA dubbelstrengsbreuken en werden veranderingen in diverse enzymen gemeten die een rol spelen bij het wegvangen van vrije radicalen.

Onderzoek kinderen

Nam en medewerkers (2006)[97] stelden 21 tieners (15.9 ± 2.3 jaar) gedurende 30 minuten bloot aan een 824-848 MHz mobiele telefoon signaal. Er werd geen effect gevonden op de bloeddruk en hart- en ademhalingssnelheid. Wel verminderde de elektrische weerstand van de huid, wat de auteurs toeschreven aan een effect op het autonome zenuwstelsel. Het effect werd alleen gevonden bij jongens, niet bij meisjes en ook niet bij volwassenen.

E.6 Pijn

Proefdieronderzoek

Takahashi en medewerkers (2010)[55] stelden ratten vanaf 7 dagen na de bevruchting tot 21 dagen na de geboorte bloot aan een 2,14 GHz UMTS-achtig signaal gedurende 20 uur per dag. De totalelichaams-SAR varieerde van 0,068-0,146 W/kg (hoog blootstellingsniveau) of van 0,029-0,067 W/kg (laag blootstellingsniveau). Gedurende de postnatale blootstellingsperiode werden bij beide blootstellingsniveaus geen afwijkingen in pijnperceptie gevonden ten opzichte van een controlegroep.

Mathur (2008)[95] stelde groepen van 4 ratten vanaf de 28e dag na geboorte bloot aan een 16 Hz gemoduleerd 73,5 MHz veld, gedurende 45 dagen en 2 uur per dag. De totalelichaams-SAR was 0,4 W/kg. Blootstelling had een complexe invloed op de pijnbeleving: er trad een versterking op van de eerste reactie op een pijnprikkel, en een vermindering van latere reacties.

E.7 Populatie onderzoek

Thomas en medewerkers (2010)[10,98] bepaalden in een onderzoek aan 1498 kinderen van 8-12 jaar en 1524 kinderen van 13-17 jaar door middel van individuele metingen de 24-uurs blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden. Met behulp van een vragenlijst werden gedragsafwijkingen bepaald.[98] Zij vonden voor de hoogste categorie van blootstelling in beide leeftijdsgroepen een gering, maar significant verhoogd percentage gedragsproblemen, maar geen verband met emotionele problemen, hyperactiviteit en problemen met de relatie met leeftijdsgenoten. Daarnaast was in beide groepen het bezit en gebruik van een mobiele telefoon groter bij een lagere sociaaleconomische status (SES).[10] Bij de jongste leeftijdsgroep was het bezit en gebruik van een DECT telefoon juist lager bij lagere SES, bij de hoogste leeftijdsgroep was er geen verband. Heinrich en

medewerkers (2010)[99,175] rapporteerden over enkele andere aspecten van dit onderzoek. Zij vonden geen verband tussen de gemeten blootstelling en het voorkomen van chronische klachten zoals hoofdpijn.[99] Wel werden relaties gevonden tussen hoofdpijn in de middag en blootstelling in de ochtend, en tussen irritatie in de avond en blootstelling in de middag bij 13-17 jarigen, en tussen concentratieproblemen en blootstelling in de middag bij 8-12 jarigen.[175] Omdat deze bevindingen niet consistent zijn tussen de groepen en er veel relaties zijn onderzocht suggereren de auteurs dat zij door toeval verklaard kunnen worden. Het onderzoek wees ook uit dat in beide groepen de neiging bestaat om het gebruik van een mobiele telefoon hoger in te schatten dan op grond van de blootstellingsmetingen realistisch is.

Söderqvist en medewerkers (2007)[11] onderzochten in Zweden het bezit en gebruik van een mobiele telefoon in een groep van 1423 kinderen van 7-14 jaar oud. Van deze groep bezit 57,7% zelf een mobiele telefoon en 79,1% gebruikt er regelmatig een. 26,7% voert langer dan 2 minuten per dag een gesprek door een mobiele telefoon. Bij de 7-jarigen bezit 7,3% zelf een mobiele telefoon, oplopend tot 95% bij de 14-jarigen. Van de gehele groep heeft 83,8% een draadloze telefoon en 38,5% gebruikt die meer dan 5 minuten per dag. Meisjes gebruiken een mobiele of draadloze telefoon vaker en langer dan jongens.

Mezei en medewerkers (2007)[12] onderzochten het bezit en gebruik van een mobiele telefoon onder 1301 schoolkinderen van 9-12 jaar in drie steden in Hongarije. 76% van deze groep bezit een mobiele telefoon; 24% maakt er dagelijks gebruik van en daarnaast nog 33% meerdere malen per week. Bezit en gebruik kwam vaker voor bij meisjes, kinderen zonder broers of zussen, leden van sportclubs en kinderen die dagelijks computerspelletjes spelen.

In een onderzoek in Melbourne onder 317 schoolkinderen in de leeftijd van 10-14 jaar vonden Inyang en medewerkers (2010)[13] dat 77% een mobiele telefoon bezit en 94% wel eens van een mobiele telefoon gebruik maakt. Jongens en kinderen zonder broers of zussen begonnen op jongere leeftijd gebruik te maken van een mobiele telefoon dan andere groepen. Regelmatig gebruik van een mobiele telefoon was in geringe mate geassocieerd met hogere scores voor psychotische trekken. Gebruik van een mobiele telefoon kwam vaker voor bij kinderen van ouders met een gemiddelde SES dan bij kinderen van ouders met een lage of hoge SES. Ouders die zorgen hadden over mogelijke effecten van mobiele telefoons op de gezondheid hadden vaker kinderen met een mobiele telefoon.

Een onderzoek onder 800 tieners in de leeftijd van 12-17 jaar in de Verenigde Staten laat zien dat 75% een mobiele telefoon bezit.[14] Het is het meest gebruikte communicatiemiddel in die leeftijdsgroep, waarbij overigens het sturen van sms-

berichten veel vaker voorkomt dan het voeren van een gesprek. Eén op de drie tieners verstuurt meer dan 100 sms'jes per dag. Zorgen over mogelijke gezondheidseffecten van gebruik van een mobiele telefoon door kinderen zijn in dit onderzoek niet onderzocht.

E.8 Dosimetrie

Aanvankelijk richtten de onderzoeken op het gebied van de dosimetrie zich op het hoofd, omdat dit het belangrijkste blootgestelde lichaamsdeel is bij gebruik van een mobiele telefoon. Later, onder meer omdat de rekencapaciteit steeds groter werd, werd het mogelijk om berekeningen te doen aan modellen van het gehele lichaam. De eerste onderzoeken gebruikten lineair verkleinde modellen van een volwassene als modellen voor kinderen. Daarmee waren de proporties van deze kindmodellen niet correct. Later zijn er modellen ontwikkeld door modellen van volwassenen te verkleinen en te transformeren aan de hand van gegevens over de groei van lichaamsdelen. Daarnaast zijn er anatomisch correcte modellen ontwikkeld op basis van MRI-scans van kinderen.

Hoofd

Gandhi en medewerkers (1996)[176] vonden een hogere piek-SAR bij kinderen in vergelijking met volwassenen. De gebruikte modellen voor kinderen waren lineair verkleinde modellen van een volwassene.

Schönborn en medewerkers (1998)[177] herhaalden dit onderzoek met zowel anatomisch correcte als lineair getransformeerde modellen, en vonden geen verschillen in de grootte van de piek-SAR tussen kinderen en volwassenen.

Martínez-Búrdalo en medewerkers (2004)[178] berekenden de piek-SAR_{1g} en SAR_{10g} in de hersenen. Bij de gebruikte lineair verkleinde modellen waren de piek-SARs bij kinderen lager dan bij volwassenen, maar het percentage van de uitgezonden energie dat opgenomen wordt in de hersenen was groter. De auteurs suggereren dat dit duidt op een grotere totalehersen-SAR bij kinderen.

Keshvari en Lang (2005)[179] voerden SAR-berekeningen uit aan anatomisch correcte modellen van twee volwassen en twee kinderen, van 3 en 7 jaar. Er waren geen consistente verschillen in de piek-SAR tussen kinderen en volwassenen. Zij concludeerden dat de verschillen tussen alle vier de modellen belangrijker waren dan de verschillen tussen kind en volwassene. Wel was duidelijk dat het al of niet meenemen van de oorschelp in de modellen een grote invloed heeft, omdat dit veranderingen oplevert in de afstand van de antenne tot het hersenweefsel.

Bit-Babik en medewerkers (2005)[117] onderzochten modellen van zowel lineair verkleinde als verkleinde en getransformeerde hoofden van kinderen van 5 en 10 jaar. Zij vonden geen verschillen met volwassenen in piek-SAR.

De Salles en medewerkers (2006)[180] berekenden dat de SAR_{1g} bij kinderen hoger is dan bij volwassenen. Met een model voor een 10-jarig kind waren de SAR-waarden tot 60% hoger dan bij volwassenen, afhankelijk van de gebruikte elektromagnetische weefselparameters.

Wiart en medewerkers (2005)[120] geven in een review aan dat de piek-SAR in een lineair verkleind model twee maal zo hoog kan zijn als in een getransformeerd model. Dat kan een verklaring zijn voor de conclusies uit eerder onderzoek dat de piek-SAR waarden bij kinderen hoger zijn dan bij volwassenen. In de anatomisch correcte modellen zijn de verschillen tussen volwassenen en kinderen vergelijkbaar met de verschillen tussen diverse beschikbare modellen voor volwassenen onderling. Tevens geven de auteurs aan dat het goed modelleren van de oorschelp van belang is, in verband met de correcte afstand van de antenne tot de hersenen.

In een uitgebreid onderzoek uit 2008 vergelijken Wiart en medewerkers[103] 7 modellen van kinderen en 6 van volwassenen. De verschillen in piek-SAR_{10g} in de anatomisch correcte hoofden tussen kinderen en volwassenen waren klein ten opzichte van de variatie tussen de volwassenen, een conclusie die overeenkomt met die uit de eerdere review.[120] In de modellen van kinderen van 5-8 jaar waren de piek-SAR_{1g} waarden 2x zo hoog als bij de volwassenen; de auteurs schrijven dit toe aan een dunnere oorschelp, schedel en huid.

Christ en medewerkers (2010)[121] onderzochten bij diverse modellen van volwassenen en kinderen het effect van samendrukken van de oorschelp, zoals plaatsvindt wanneer de telefoon tegen het oor wordt gehouden. In de meeste onderzoeken is daar geen rekening mee gehouden. Zowel bij volwassenen als bij kinderen resulteerde een realistisch samengedrukte oorschelp in een ~50% toename van de SAR_{10g} als het maximum bij oorschelp ligt.

In een tweede artikel geven Christ en medewerkers (2010)[118] aan dat in bepaalde onderdelen van de hersenen de piek-SAR_{10g} bij kinderen groter kan zijn dan bij volwassenen. Dit wordt vooral veroorzaakt door de kleinere afstand tussen telefoon en hersenweefsel. Er werd geen verschil gevonden in de SAR gemiddeld over het hoofd en evenmin was er een effect van variaties in de elektromagnetische eigenschappen van de weefsels. Wel was de conclusie dat gemiddeld de hersenen van kinderen hoger blootgesteld zijn dan die van volwassenen. Dat is vooral het gevolg van verschillen in anatomische proporties. Ook wijzen de auteurs erop dat bij de blootstelling van de buitenste lagen van de hersenen, de

verdeling van de stroomdichtheid en het nabijheidsveld van de telefoon onderzocht moet worden.

Joó en medewerkers (2006)[123] voerden berekeningen uit aan lineair verkleinde kindmodellen (2-3 jaar en 9-10 jaar) bij gebruik van mobiele telefoons. Wanneer er een metalen plaat in het hoofd aanwezig is, kan de piek-SAR bij kinderen tot 100% hoger zijn dan bij volwassenen. De blootstellingslimieten worden onder bepaalde omstandigheden zowel bij volwassenen als bij kinderen met implantaten soms overschreden; dat geldt voor de SAR_{10g} (ICNIRP: 2 W/kg) en voor de SAR_{1g} ('oude' IEEE limiet: 1,6 W/kg).

Lichaam

Dimbylow berekende voor een volwassen man en voor lineair geschaalde modellen van kinderen van 10, 5 en 1 jaar de totalelichaams-SAR. Bij frequenties boven 0,8 GHz leidt blootstelling op het niveau van de ICNIRP referentiewaarden tot blootstelling boven de basisbeperking.[104] In een uitgebreider onderzoek (Dimbylow, 2002[115]) werden deze conclusies bevestigd. Bij vrouwelijke modellen werden vergelijkbare resultaten gevonden bij frequenties boven 1,2 GHz.[105] In meer anatomisch correcte modellen vonden Dimbylow en Bolch (2007)[106] dat bij frequenties hoger dan 1 GHz de overschrijding van de ICNIRP basisbeperkingen bij blootstelling aan de referentiewaarde zich voordeed bij de kleinere modellen van kinderen van 9 maanden en 4 jaar, maar niet bij de modellen van 8, 11 en 14-jarigen.

Nagaoka en medewerkers (2008)[102] berekenden de SAR in getransformeerd verkleinde modellen van een 3, 5 en 7 jarige en vergeleken die met lineair geschaalde modellen. De totalelichaams-SAR's waren niet significant verschillend tussen beide typen modellen, maar de lokale SAR's wel. Blootstelling aan een elektrisch veld op de referentiewaarden zoals gegeven door ICNIRP resulteerde rond 2 GHz in een overschrijding van de ICNIRP basisbeperking bij alle drie de leeftijden.

In een vervolgonderzoek onderzochten Nagaoka en medewerkers (2009)[181] de variatie in totalelichaams-SAR bij 30 kinderen van 3-4 jaar. Er werden hierbij homogene modellen gebruikt, omdat de verschillen tussen een heterogeen (op basis van een MRI-scan) en een homogeen model (op basis van een veel eenvoudiger en sneller te verkrijgen oppervlakte scan) gering bleken te zijn: maximaal 14% bij de resonantiefrequenties. De variatie in totalelichaams-SAR in de groep van 30 kinderen was gemiddeld circa 13%, maar bij de resonantiefrequentie kleiner: circa 6,5%.

In een geschaald en getransformeerd model van een 7-jarig kind vonden Wang en medewerkers (2006) bij blootstelling aan de referentiewaarde van ICNIRP een overschrijding van circa 30% van de basisbeperkingen bij zowel de resonantiefrequentie als rond 2 GHz.[124]

Ook Conil en medewerkers (2008)[107] vonden bij kinderen bij een frequentie van 2 GHz en bij resonantiefrequenties een overschrijding van de basisbeperkingen bij blootstelling aan de ICNIRP referentiewaarden. Bij 2 GHz was ook voor volwassenen een kleine overschrijding mogelijk. De auteurs bestudeerden 6 modellen van volwassenen en geschaalde en getransformeerde van kinderen van 5, 8 en ouder dan 12 jaar. Bij de modellen voor volwassenen werd een frequentieafhankelijke variatie gevonden in de totalelichaams-SAR tot zo'n 30%. Bij de modellen voor kinderen was de totalelichaams-SAR tot 48% hoger dan bij volwassenen.

De variatie in totalelichaams-SAR in afhankelijkheid van de polarisatie van het elektromagnetisch veld is onderzocht door Kühn en medewerkers (2009)[119] in anatomisch correcte modellen van twee volwassenen en kinderen van 6 en 11 jaar. De maximale SAR in het model van het kleinste kind (6 jaar) was een factor 2-3 hoger dan die van de grootste volwassene. Bij het 6-jarig kind model was de maximale totalelichaams-SAR bij 100 MHz en boven 1450 MHz hoger dan de ICNIRP limiet. Er was bij frequenties hoger dan 450 MHz een variatie met een factor 5 in de piek-SAR voor de verschillende blootstellingrichtingen en polarisaties en daarnaast nog een variatie met een factor 3 tussen de verschillende modellen.

Hirata en medewerkers (2009)[182] vonden in modellen van kinderen van 9 maanden tot 7 jaar dat de totalelichaams-SAR hoger is bij horizontale polarisatie van het elektromagnetische veld dan bij verticale polarisatie, voor frequenties hoger dan 2 GHz. De gebruikte modellen waren anatomisch correct, met uitzondering van het model van 9 maanden, dat lineair verkleind was op basis van een 3-jarig model.

Bakker en medewerkers (2010)[122] berekenden de totalelichaams-SAR en de SAR_{10g} in zes anatomisch correcte modellen van kinderen in de leeftijd van 5-14 jaar. Zij vonden een overschrijding van de ICNIRP basisbeperkingen tot 45% bij frequenties rond 2 GHz. Een onzekerheidsanalyse liet een uitgebreide onzekerheid zien van 53% in de totalelichaams-SAR en van 58% in de SAR_{10g}.

Findlay en medewerkers (2009)[113] onderzochten in een anatomisch correct en in een lineair verkleind model de invloed van de houding op de SAR. Beide modellen werden in staande positie met de armen langs het lichaam (de 'standaardhouding'), staande met de armen omhoog gestrekt, en zittend met de armen gebogen zoals op een stoelleuning voor de berekeningen gebruikt. Bij de staande

modellen is de maximale totalelichaams-SAR circa 25% hoger wanneer de armen omhoog zijn. Voor de zittende houding is de maximale totalelichaams-SAR circa 40% lager. Bij de resonantiefrequenties rond 100 MHz en bij frequenties boven circa 2 GHz resulteert blootstelling aan de referentiewaardes in overschrijding van de ICNIRP basisbeperkingen.

Findlay en Dimbylow (2010) berekenden in een lineair verkleind model van een 10-jaar oud kind de totalelichaams-SAR bij blootstelling aan 2,4 en 5 GHz signalen van een WiFi toegangspunt. De maximum SAR was 19,1 µW/kg bij een veldsterkte van 1 V/m. Onder realistische omstandigheden is de veldsterkte op 1 m afstand van een WiFi toegangspunt volgens de auteurs niet meer dan 2 V/m, zodat de totalelichaams-SAR ruim onder de SAR limiet (0,08 W/kg) van ICNIRP blijft. De maximale lokale SAR bij blootstelling door de antenne in een laptop is onder de meest ongunstige omstandigheden 5,7 mW/kg, dus ook ruimschoots onder de SAR limiet (2 W/kg) van ICNIRP.

Tabel E2 Overzicht van de onderzoeken met postnatale blootstelling.

Referentie	Bron	Blootstelling	Leeftijd blootstelling	Eindpunt	Aantal proefpersonen / proefdieren	Resultaat
In vitro neuronen						
Wang en medew. (2004)[29]	900 MHz	2 uur/d, 4-5 d 12 uur SAR=3,2 W/kg	Uit pasgeboren rat	Activiteit cytochroom oxidase	--	Beide behandelingen: afname activiteit cytochroom oxidase
Wang en medew. (2005)[30]	900 MHz	2 uur/d, 4 of 6 d SAR=1,1-3,2 W/kg 12 uur SAR= 3,2 W/kg	Uit pasgeboren rat	Activiteit receptoreiwit GluR2 en intracellulair calcium	--	Beide behandelingen: dosisafhankelijke afname GluR2 en toename intracellulair calcium
Wang en medew. (2005)[134]	900 MHz	2 uur/d, 6 d SAR=1,1-3,2 W/kg 12 uur SAR= 1,1-3,2 W/kg	Uit pasgeboren rat	Expressie GABA-receptoren	--	Venstereffect
Xu en medew. (2006)[28]	1.800 MHz GSM	15 min/d, 8 d SAR=2,4 W/kg	Uit 1-d oude rat	Synaptische activiteit	--	Afname signalen AMPA, niet NMDA-receptoren
Ning en medew. (2007)[27]	1.800 MHz GSM	15 min/d, 6 d SAR=0,8 of 2,4 W/kg	Uit pasgeboren rat	Vorming dendrieten	--	Geen effect bij SAR=0,8 W/kg

In vitro steuncellen						
Thorlin en medew. (2006)[33]	900 MHz continu of GSM-gemoduleerd	Cont: 24 uur SAR=27 W/kg GSM: 4, 8, 24 uur SAR=3 W/kg	Uit pasgeboren rat	Gfap in astrocyten, ED1 in microglia; morfologie, IL6, TNFα, eiwit in beide	--	Geen effecten
Höytö en medew. (2007)[32]	872 MHz continu of GSM-gemoduleerd	2, 8, 24 uur SAR=1,5, 2,5, 6,0 W/kg	Uit 2-d oude rat	Activiteit ornithine decarboxylase (ODC) in astrocyten	--	Afname ODC bij pooling blootstellingstijden; niet bij apart.
Genexpressie						
Zhao en medew. (2006)[31]	1.800 MHz GSM	24 uur, 5 min aan, 10 min uit SAR=2 W/kg	Uit pasgeboren rat	1.200 genen in neuronen	--	Effect op 34/1.200 genen; toename expressie Map2
Histologie proefdieren						
Albert en medew. (1981)[40]	2.450 MHz	5 d, 7 uur/d SAR=2 W/kg	6 d	Purkinjecellen in cerebellum rat	3 6-9 doorsneden per dier, 4-6 coupes per doorsnede	Direct na blootstelling significant lager aantal Purkinjecellen; op 40 dagen niet meer
Albert en medew. (1981)[44]	2.450 MHz	3 uur/d SAR=3,4 W/kg	Tijdens zwangerschap + 9,5 maand na geboorte	Purkinjecellen in cerebellum doodshoofdaap	7 7-8 doorsneden per dier	Geen effect
Albert en medew. (1988)[41]	2.450 MHz	5 d, 7 uur/d SAR=2 W/kg	1 of 6 d	Pyknotische cellen in cerebellum rat	4 (1-d oud); 8 (6-d oud) 5 vlakken / hersenhelft / dier; 3 secties / vlak	2x zoveel pyknotische cellen als in gesimuleerd blootgestelde dieren
Inouye en medew. (1983)[45]	2.450 MHz	3 uur/d SAR=1,16 > 0,79 W/kg	Vanaf 4e dag zwangerschap tot 40 dagen na geboorte	Diverse histologische parameters rat	6 dieren / groep / tijdpunt; 10 secties / dier	Geen effect
Cobb en medew. (2000)[42]	Ultra wide band	Piek 55 kV/m, stijgtijd 300 psec, pulsbreedte 1,8 nsec SAR=45 mW/kg	Voor tot 10 d na geboorte	Diverse histologische parameters rat	6 dieren / groep; 6 regio's / hippocampus	Toename verhouding mediale-laterale lengte hippocampus
Hoffman en medew. (2001)[43]	35,53 kHz, modulatie 1, 8, 12, 29 of 50 Hz	Niet bekend	'jong volwassen'	Celproliferatie in hersenweefsel gerbil	8-12 dieren / groep; 38 secties / dier	Afname celproliferatie bij 1, 20 of 50 Hz modulatie, niet bij 8 en 12 Hz
Kumlin en medew. (2007)[46]	900 MHz GSM signaal	2 uur/d, 5 d/wk, 5 wk SAR=0,3 of 3,0 W/kg	24 d	Morfologie hersenweefsel rat	6 dieren; 2 secties / dier	Geen degeneratieve veranderingen of afstervende neuronen
Ragbetli en medew. (2009)[47]	GSM telefoon	12 uur/d, 1 uur 14 min stand-by, 15 min gesprek	Tijdens zwangerschap + 12 d	Pyramidale cellen hippocampus muis	5 dieren / groep; 15-20 secties / dier	Geen effect

EEG proefdier						
Rosenstein (in McRee en medew., 1979)[34]	425 of 2.450 MHz	425 MHz: 200 V/m; 2.450 MHz: 100 V/m,	425 MHz: vanaf d 12 na bevruchting; 2450 MHz: vanaf d 6 na bevruchting beide tot 92 d na geboorte	spontaan EEG en door lichtstimulus opgewekte potentialen rat	onbekend aantal nakomelingen van 6 (425 MHz) resp. 12 moeders (2.450 MHz)	Geen effect op 140 d
EEG mens						
Kramarenko & Tan (2003)[50]	900 MHz GSM telefoon	Niet bekend	12 jr	EEG spectrum	10	Inductie langzame EEG golven, duidelijker dan bij volwassenen
Krause en medew. (2006)[49]	902 MHz GSM signaal	60 min SAR_{1g}=1,4 W/kg	10-14 jr	EEG spectrum	15	EEG veranderingen tijdens cognitieve verwerking
Croft en medew. (2010)[52]	894,6 MHz GSM signaal 1.900 MHz W-CDMA signaal	45 min piek SAR_{10g}=0,7 W/kg (GSM) en 1,7 W/kg (UMTS)	13-15 jr	Rust EEG alfagolven	41	Geen effect van beide signaaltypen
Leung en medew. (2011)[51]	894,6 MHz GSM signaal 1.900 MHz W-CDMA signaal	45 min piek SAR_{10g}=0,7 W/kg (GSM) en 1,7 W/kg (UMTS)	13-15 jr	EEG tijdens cognitieve taak	41	Vertraging respons alfaband bij GSM en UMTS
ERP mens						
Kwon en medew. (2009)[53]	902 MHz GSM signaal	6 min SAR_{10g}=0,82 W/kg	11-12 jr	Door geluid opgewekte potentiaal	17	Geen effect
Gehoor proefdier						
Kizilay en medew. (2003)[35]	Mobiele telefoon	30 d, 1 uur/d	30 d	Distortion product otoacoustic emission (DPOAE) rat	Volwassen: blootgesteld: 7, gesimuleerd: 7 Pasgeboren: 4	Geen effect
Budak en medew. (2009)[37]	1.800 MHz GSM-achtig signaal	7 d, 15 min/d	1 maand	DPOAE konijn	9 / groep	Sterkere DPOAE
Budak en medew. (2009)[38]	1.800 MHz GSM-achtig signaal	14 d, 15 min/d ± tussen d 15 en 22 van zwangerschap, 15 min/d	1 maand	DPOAE mannelijk konijn	9 / groep	Frequentie- en blootstelling afhankelijk effect
Budak en medew. (2009)[39]	1.800 MHz GSM-achtig signaal	14 d, 15 min/d ± tussen d 15 en 22 van zwangerschap, 15 min/d	1 maand	DPOAE vrouwelijk konijn	9 / groep	Frequentie- en blootstelling afhankelijk effect; verschillend van mannelijke dieren
Kayabasoglu en medew. (2011)[36]	Mobiele telefoon	30 d, 6 uur/d	30 d	DPOAE rat	10 / groep	Geen effect

Cognitie / gedrag proefdier						
Takahashi en medew. (2010)[55]	2,14 GHz UMTS	20 uur/d SAR=29-67 of 68-146 mW/kg	Voor tot 21 d na geboorte	Batterij leer- en gedragstests	24 / groep 3 exp.	Geen effect
Priakhin en medew. (2007)[56]	925 MHz GSM	10 min/d, 12 d 1,2 mW/cm^2	2 en 3,5 maand	Leer- en oriën-tatie-vermogen rat	Niet bekend	Geen effect
Kumlin en medew. (2007)[46]	900 MHz GSM sig-naal	2 uur/d, 5 d/wk, 5 wk SAR=0,3 of 3,0 W/kg	24 d	Open-veld test, doolhof test schrikreactie test rat	18	Water doolhof test: verbeterd leervermo-gen en geheugen
Cobb en medew. (2000)[42]	Ultra wide band	Piek 55 kV/m, stijgtijd 300 psec, pulsbreedte 1,8 nsec SAR=45 mW/kg	Voor tot 10 d na geboorte	Gedrag rat	6 / groep	Geen effect
Galvin en medew. (1986)[54]	2.450 MHz	3 uur/d 200 V/m	d 5-20 van zwan-gerschap en d 2-20 na geboorte	Gedrag rat	11-18 / groep	Lager zwem-uithou-dingsvermogen op 30-36 d
Reiter (in McRee en medew.,1979)[34]	425 of 2.450 MHz	425 MHz: 200 V/m; 2.450 MHz: 100 V/m,	425 MHz: vanaf d 12 na bevruch-ting; 2.450 MHz: vanaf d 6 na bevruchting beide tot 92 d na geboorte	Ontwikkeling reflexen eerste drie levensswe-ken, bewegings-activiteit op volwassen leef-tijd	Niet bekend	Geen effecten
Cognitie mens						
Haarala en medew. (2005)[57]	902 MHz GSM sig-naal	SAR=1 W/kg	10-14 jr	Cognitie: reac-tietijd, nauw-keurigheid	32	Geen effect
Preece en medew. (2005)[58]	902 MHz GSM sig-naal	Vermogen=0,025 of 0,25 W maximale SAR=0,28 W/kg	10-12 jr	Cognitie: reac-tietijd	18	Geen effect
Riddervold en medew. (2008)[59]	2.140 MHz continu, UMTS of UMTS basisstation signaal	45 min 1 V/m	15-16 jr	Cognitie	40	Geen effect
Abramson en medew. (2009)[60]	Mobiele telefoon	# gesprekken / wk of # SMS / wk	Mediaan 13 jr	Cognitie: geheugen, reac-tietijd, nauw-keurigheid, leervermogen	317	Meer gesprekken: snellere en nauwkeuri-ger respons bij hoog-niveau cognitieve taken; idem bij meer SMS

Leung en medew. (2011)[51]	894,6 MHz GSM signaal 1.900 MHz UMTS signaal	45 min piek SAR_{10g}=0,7 W/kg (GSM) en 1,7 W/kg (UMTS)	13-15 jr	Cognitie: geheugen, reactietijd, nauwkeurigheid, leervermogen	41	Optische geheugentest: vermindering nauwkeurigheid bij UMTS; verder geen effect
Bloed-hersenbarrière proefdieren						
Finnie en medew. (2006)[85]	900 MHz GSM signaal	1 uur/d, 7 d SAR=4 W/kg	0 d	Bloed-hersenbarrière rat	10 dieren / groep	Geen effect op albumine permeabiliteit bloedvaten in hersenen
Kuribayashi en medew. (2005)[84]	1.439 MHz	90 min/d, 1 of 2 wk SAR=2 of 6 W/kg	4 of 10 wk	Bloed-hersenbarrière rat	5 dieren / groep; 10 locaties / dier	Geen effect op permeabiliteit bloedvaten in hersenen en op expressie BHB-gerelateerde genen
Kumlin en medew. (2007)[46]	900 MHz GSM signaal	2 uur/d, 5 d/wk, 5 wk SAR=0,3 of 3,0 W/kg	24 d	Bloed-hersenbarrière rat	6 dieren / groep; 2 secties / dier	Geen effect
Fysiologie proefdier						
Michaelson en medew. (1967)[169] (in Michaelson, 1982)[170]	2.880 MHz gepulst	SAR=3,7-6,1 W/kg	Volwassen	Schildklierfunctie hond	Niet bekend	Stimulatie schildklier
Parker en medew. (1973)[173]	2.450 MHz	15 mW/cm^2	Volwassen	Schildklierfunctie	Niet bekend	Afname T4 in serum
Lu en medew. (1977)[171]	2.450 MHz 120 Hz modulatie	4 uur 1 mW/cm^2	Volwassen	Schildklierfunctie rat	Niet bekend	Toename T4 in serum
Lu en medew. (1985)[172]	2.450 MHz 120 Hz modulatie	4 uur 1-40 mW/cm^2	Volwassen	Schildklierfunctie rat	4-8 / groep	Afname TSH > 10 mW/cm^2
Guessab en medew. (1983)[89]	Radar MW	15 d	0 d	Noradrenaline in hypothalamus volwassen dieren	Niet bekend	Toename noradrenaline in hypothalamus
Saddiki-Traki en medew. (1986)[88]	Radar MW	15 d 5 ± 2 mW/cm^2	0 d	TSH + histologie schildklier op 75 d	8-10 / groep histologie: 50 waarnemingen	Toename TSH in plasma, niet in schildklier; toename plasma T4; afname diameter follikels + toename hoogte follikel epitheel
Paulraj en medew. (1999)[92]	112 MHz, 16 Hz modulatie	2 uur/d, 5 d/wk, 35 d 1 mW/cm^2 (=60 V/m)	35 d	Calcium efflux en ornithine decarboxylase (ODC) in hersenen	4 / groep	Toename ODC activiteit en calcium efflux (Ca gegevens niet consistent)
Koyu en medew. (2005)[174]	900 MHz	30 min/d, 5 d/wk, 4 wk SAR = 2 W/kg	Volwassen	Schildklierfunctie	10 / groep	Verlaagde serumgehaltes TSH, T3 en T4

Paulraj en medew. (2006)[93,94]	2,54 GHz	2 uur/d, 5 d/wk, 35 d 0,344 mW/cm^2 (=20 V/m) SAR=0,11 W/kg (random polarisatie)	35 d	Protein kinase C (PKC) activiteit in hersenen	6 / groep	PKC activiteit verlaagd in hippocampus
Paulraj en medew. (2006)[90]	2,54 of 16,5 GHz	2 uur/d, 5 d/wk, 35 d 2,54 GHz: 0,344 mW/cm^2 (=20 V/m) SAR=1,0 W/kg (E-polarisatie) 16,5 GHz: 1,0 mW/cm^2 (=60 V/m) SAR=2,01 W/kg	35 d	DNA enkelstrengs breuken	6 / groep, 100 cellen / dier	Toename enkelstrengs breuken bij beide frequenties (resp 70% en 51%)
Kesari en medew. (2010)[91]	2,54 GHz	2 uur/d, 5 d/wk, 35 d 0,344 mW/cm^2 (=20 V/m) SAR=0,11 W/kg (random polarisatie)	35 d	DNA dubbelstrengs breuken in hersencellen; activiteit enzymen van belang voor wegvangen vrije radicalen	6 / groep, 40 cellen / dier	Toename dubbelstrengs breuken; verandering diverse enzymen
Fysiologie mens						
Nam en medew. (2006)[97]	824-848 MHz CDMA mobiele telefoon	30 min	15.9 ± 2.3	Bloeddruk, hartslag, ademhalingssnelheid, elektrische weerstand huid	21	Afname weerstand huid bij mannen
Pijn proefdier						
Takahashi en medew. (2010)[55]	2,14 GHz UMTS	20 uur/d SAR=29-67 of 68-146 mW/kg	Voor tot 21 d na geboorte	Pijnperceptie	24 / groep 3 exp.	Geen effect
Mathur (2008)[95]	73.5 MHz, 16 Hz gemoduleerd	2 uur/d, 45 d SAR=0,4 W/kg	28 d	Reactie op pijnprikkels	4 / groep	Versterking van eerste reactie op pijnprikkel, vermindering van latere reacties
Populatie onderzoek						
Söderqvist en medew. (2007)[11]	Mobiele of draadloze telefoon	Zelfgerapporteerd bezit en gebruik	7-14 jr	Bezit en gebruik telefoons in Zweden	1.423	79,1% gebruikt mobiele telefoon, 26,7% spreekt > 2 min/d. 83,8% gebruikt draadloze telefoon; 38,5% spreekt > 5 min/d. Meisjes: vaker gebruik dan jongens.

Mezei en medew. (2007)[12]	Mobiele telefoon	Zelfgerapporteerd bezit en gebruik	9-12 jr	Bezit en gebruik telefoons in Hongarije	1.301	76% bezit mobiele telefoon; 24% gebruikt dagelijks; 33% meerdere malen / wk
Thomas en medew. (2010)[10]	Mobiele / draadloze telefoon	Gemeten 24 h radiofrequente-blootstelling Zelfgerapporteerd bezit en gebruik	8-12 jr 13-17 jr	radiofrequente blootstelling en sociaal-economische status (SES)	8-12 jr: 1.498 13-17 jr: 1.524	Geen verband blootstelling – SES. In beide groepen bezit en gebruik van mobiele telefoon groter bij lagere SES 8-12 jr: bezit en gebruik van DECT telefoon lager bij lagere SES; 13-17 jr: geen verschil
Thomas en medew. (2010)[98]	Mobiele / draadloze telefoon	Gemeten 24 h radiofrequente-blootstelling Zelfgerapporteerd bezit en gebruik	8-12 jr 13-17 jr	Gedragsafwijkingen	8-12 jr: 1.498 13-17 jr: 1.524	Hoogste blootstelling: verhoging gedragsproblemen, geen verband emotionele problemen, hyperactiviteit, problemen met relatie met leeftijdsgenoten
Heinrich en medew. (2010)[99]	Mobiele / draadloze telefoon	Gemeten 24 h radiofrequente-blootstelling Zelfgerapporteerd bezit en gebruik	8-12 jr 13-17 jr	Chronische klachten	8-12 jr: 1.498 13-17 jr: 1.524	Geen verband met blootstelling
Heinrich en medew. (2010)[175]	Mobiele / draadloze telefoon	Gemeten 24 h radiofrequente-blootstelling Zelfgerapporteerd bezit en gebruik	8-12 jr 13-17 jr	Acute klachten	8-12 jr: 1.498 13-17 jr: 1.524	3/120 relaties positief – toeval?
Inyang en medew. (2010)[13]	Mobiele telefoon	Zelfgerapporteerd	7-14jr	Bezit en gebruik telefoons in Australië	317	75% bezit mobiele telefoon; sms belangrijker dan gesprekken:1/3 stuurt >100 sms/d
Dosimetrie hoofd						
Gandhi en medew. (1996)[176]	Monopool antenne 835, 1.900 MHz	Uitgezonden vermogen 125, 600 mW	5, 10 jr, lineair verkleind	Piek-SAR_{1g}	--	Hogere piek-SAR bij kinderen dan bij volwassenen, vooral bij 835 MHz
Schönborn en medew. (1998)[177]	Dipool antenne 900, 1.800 MHz	Antenne stroom 100 mArms	3, 7 jr anatomisch correct, 3, 5, 7 jr lineair geschaald	Piek-SAR gem over 1 of 10 cm3	--	Geen verschil in SAR kind / volwassene
Martínez-Búrdalo en medew. (2004)[178]	Dipool antenne 900, 1.800 MHz	Uitgezonden vermogen 0,25 W (900 MHz), 0,125 W (1.800 MHz)	2-3, 9-10 jr, lineair verkleind	Piek-SAR_{1g}, piek-SAR_{10g}	--	Piek-SARs bij kinderen lager dan bij volwassenen, maar suggestie grotere totale-hersen-SAR bij kinderen

Keshvari & Lang (2005)[179]	Dipool antenne 900, 1800, 2.450 MHZ	Uitgezonden vermogen 1 W	3, 7 jr anatomisch correct	Piek-SAR_{1g}, piek-SAR_{10g}	--	Verschillen tussen modellen belangrijker dan tussen kind en volwassene; oorschelp grote invloed
Bit-Babik en medew. (2005)[117]	Mobiele telefoon 835, 900 MHz	Uitgezonden vermogen 250 mW	5, 10 jr, lineair verkleind, verkleind & getransformeerd	Piek-SAR_{1g}, piek-SAR_{10g}	--	Geen verschil in SAR kind / volwassene
de Salles en medew. (2006)[180]	Patch en monopool antenne 850, 1.850 MHz	Uitgezonden vermogen 600 mW (850 MHz), 125 mW (1850 MHz)	10 jr	Piek-SAR_{1g}	--	SAR kind tot 60% hoger dan bij volwassene
Joó en medew. (2006)[123]	Mobiele telefoon 900, 1800, 2.100 MHz	Uitgezonden vermogen 0,25 W (900 MHz), 0,125 W (1800, 2100 MHz)	2-3, 9-10 jr, lineair verkleind	Piek-SAR_{1g}, piek-SAR_{10g}	--	Bij aanwezigheid metalen implantaat piek-SAR bij kind tot 100% hoger dan bij volwassene; blootstellingslimieten soms overschreden
Wiart en medew. (2008)[103]	Mobiele telefoon, dipool antenne 900, 800 MHz	Genormaliseerd op piek-SAR_{10g}= 1 W/kg	5, 6, 8, 9, 12, 15 jr, anatomisch correct	Piek-SAR_{1g}, piek-SAR_{10g}	--	5-8 jaar : piek-SAR_{1g} 2x zo hoog als bij volwassenen
Christ en medew. (2010)[121]	Mobiele telefoons (2 typen) 1.800 MHz	Uitgezonden vermogen 1 W	6, 11 jr, anatomisch correct	Piek-SAR_{10g}, effect oorschelp	--	~50% hogere SAR_{10g} bij samengedrukte oorschelp
Christ en medew. (2010)[118]	Mobiele telefoons (3 typen) 900, 1.800 MHz	Genormaliseerd op piek-SAR_{10g} in SAM fantoom	3, 6, 7, 11 jr, anatomisch correct	Piek-SAR_{10g}	--	In onderdelen hersenen piek-SAR_{10g} bij kinderen groter dan bij volwassenen; geen verschil totale-hersen-SAR
Dosimetrie lichaam						
Dimbylow (1997)[104]	Vlakke golf, 10 MHz-1 GHz	1 V/m_{rms}	1, 5, 10 jr, lineair geschaald	Totale-lichaams-SAR	--	Boven 0,8 GHz blootstelling aan ICNIRP referentiewaarde: overschrijding basisbeperking
Dimbylow (2002)[115]	Vlakke golf, 10 MHz-3 GHz	1 V/m_{rms}	1, 5, 10 jr, lineair geschaald	Totale-lichaams-SAR	--	Boven 0,8 GHz blootstelling aan ICNIRP referentiewaarde: overschrijding basisbeperking

Wang en medew. (2006)[124]	Vlakke golf, 30 MHz-3 GHz	ICNIRP referentie-waarde	7 jr, verkleind, getransformeerd	Totale-lichaams-SAR	--	Bij resonantiefreq en rond 2 GHz blootstelling aan ICNIRP referentiewaarde: ~30% overschrijding basisbeperking
Dimbylow en Bolch (2007)[106]	Vlakke golf, 50 MHz-4 GHz	1 V/m_{rms}	9 maand, 4, 8, 9, 11 jr, anatomisch correct	Totale-lichaams-SAR	--	Boven 1 GHz blootstelling aan ICNIRP referentiewaarde: overschrijding basisbeperking bij 9 maand, 4 jr modellen
Nagaoka en medew. (2008)[102]	Vlakke golf, 30 MHz-3 GHz	Opvallend vermogen 1 W/m^2	3, 5, 7 jr, verkleind, getransformeerd & lineair geschaald	Totale-lichaams-SAR, piek-SAR	--	Geen verschil totale-lichaams-SAR, wel voor piek-SAR. Rond 2 GHz blootstelling aan ICNIRP referentiewaarde: overschrijding basisbeperking
Conil en medew. (2008)[107]	Vlakke golf, 20 MHz-2,4 GHz	Opvallend vermogen 1 W/m^2	5, 6, 12 jr, geschaald, getransformeerd	Totale-lichaams-SAR	--	Totale-lichaams-SAR bij kinderen tot 48% hoger dan bij volwassenen; bij resonantiefreq en rond 2 GHz blootstelling aan ICNIRP referentiewaardeoverschrijding basisbeperking
Kühn en medew. (2009)[119]	Vlakke golf, 50 MHz-2,45 GHz	ICNIRP referentiewaarden; 6 richtingen, 2 polarisaties	6, 11 jr, anatomisch correct	Totale-lichaams-SAR, piek-SAR_{10g}	--	Max SAR 6 jr 2-3x hoger dan bij grootste volwassene. Max totale-lichaams-SAR bij 6 jr bij 100 MHz en >1.450 MHz hoger dan ICNIRP limiet. Blootstellingsrichtingen en polarisaties: >450 MHz factor 5 variatie in piek SAR + factor 3 variatie tussen modellen
Findlay en medew. (2009)[113]	Vlakke golf, 10 MHz-3 GHz	1 V/m_{rms}	7 jr, lineair geschaald en anatomisch correct	Totale-lichaams-SAR; verschillende houdingen	--	Staand: max totale-lichaams-SAR tot 25% hoger met armen hoog; zittend: tot 40% lager; blootstelling ICNIRP referentiewaardes: overschrijding basisbeperkingen rond 100 MHz en >2 GHz

Nagaoka en medew. (2009)[181]	Vlakke golf, 30-300 MHz	Opvallend vermogen 10 W/m^2	3-4 jr, anatomisch correct, op basis van oppervlakte scan (homogeen model)	Totale-lichaams-SAR	--	SAR in homogeen model bij resonantie-freq ~14% hoger dan in heterogeen model; variatie in 30 homogene modellen bij resonatiefreq lager (6,5%) dan bij andere freq (~13%)
Hirata en medew. (2009)[182]	Vlakke golf, 1-6 GHz	Opvallend vermogen 10 W/m^2	3, 5, 7 jr, anatomisch correct; 9 maand lineair geschaald van 3-jr	Totale-lichaams-SAR	--	>2 GHz totale-lichaams-SAR hoger bij horizontale i.v.m. verticale polarisatie
Bakker en medew. (2010)[122]	Vlakke golf, 10 MHz-5,6 GHz	ICNIRP referentie-waarden	5, 6, 8, 11, 14 jr, anatomisch correct	Totale-lichaams-SAR, piek-SAR$_{10g}$	--	Rond 2 GHz blootstelling aan ICNIRP referentiewaarde tot 45% overschrijding basisbeperking
Findlay & Dimbylow (2010)[128]	Vlakke golf en antenne, 2,4 en 5 GHz (WiFi)	1 V/m	10 jr, lineair geschaald	Totale-lichaams-SAR, piek-SAR$_{10g}$	--	Bij realistische omstandigheden SAR ver beneden ICNIRP limiet

Bijlage **F**

ICNIRP en IEEE limieten algemene bevolking

F.1 Basisbeperkingen 100 kHz – 300 GHz

Table F1

Frequentie-gebied	ICNIRP					IEEE				
	Gemiddelde totale-lichaams-SAR (W/kg)	Lokale SAR (hoofd en romp) (W/kg)	Lokale SAR (ledematen) (W/kg)	Vermogensdichtheid, S (W/m^2)	Middelingstijd (min)	Gemiddelde totale-lichaams-SAR (W/kg)	Lokale SAR (W/kg)	Lokale SAR (ledematen en oorschelp (W/kg)	Vermogensdichtheid, S (W/m^2)	Middelingstijd (min)
100 kHz-10 GHz	0,08	2	4			0,08	2	4		
10-30 GHz				10	$68/f^{1,05}$				10	150/f
30-100 GHz				10	$68/f^{1,05}$				10	$25,24/f^{0,476}$
100-300 GHz				10	$68/f^{1,05}$				(90×f-7000)/200	$5048/[(9\times f-700)\times f^{0,476}]$
	ICNIRP: - SAR gemiddeld over 6 min - lokale SAR gemiddeld over 10 g aaneensluitend weefsel - S gemiddeld over 20 cm^2 - f zoals aangegeven in de kolom Frequentiegebied					IEEE: - SAR gemiddeld over 6 min - lokale SAR gemiddeld over 10 g weefsel in de vorm van een kubus - ledematen zijn armen vanaf de elleboog en benen vanaf de knie - f zoals aangegeven in de kolom Frequentiegebied				

F.2 Referentiewaarden elektrisch veld en vermogensdichtheid

Tabel F2

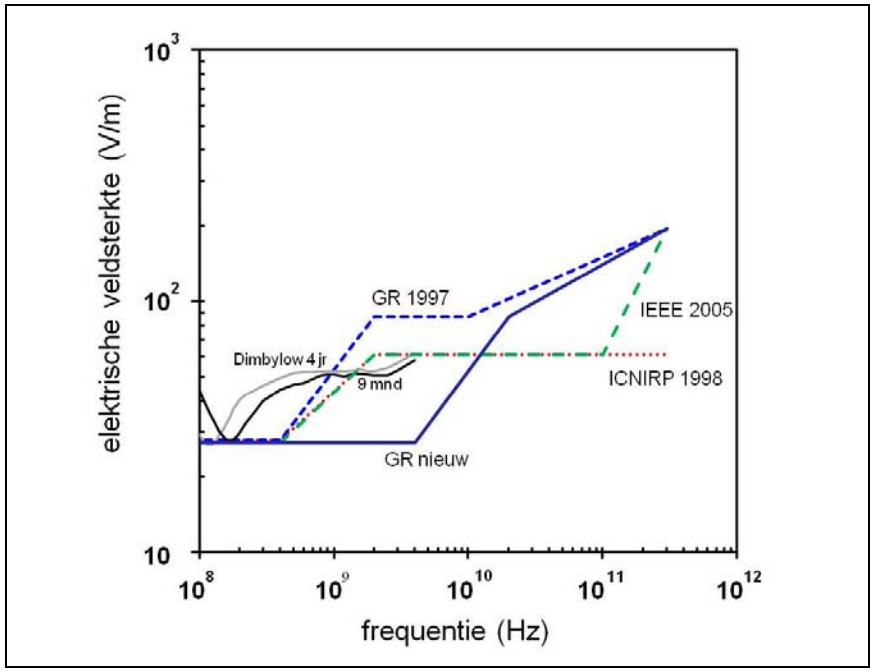
Frequentie-gebied	ICNIRP			IEEE		
	Elektrische veldsterkte, E (V/m)	Equivalente vermogens-dichtheid, S_{eq} (W/m^2)	Middelingstijd (min)	Elektrische veldsterkte, E (V/m)	Vermogens-dichtheid, S (W/m^2)	Middelingstijd (min)
0,1-1 MHz	87		6	614	$1.000/f^2$	6
1-1,34 MHz	$87/f^{0,5}$		6	614	$1.000/f^2$	6
1,34-3 MHz	$87/f^{0,5}$		6	823,8/f	$1.800/f^2$	$f^2/0,3$
3-10 MHz	$87/f^{0,5}$		6	823,8/f	$1.800/f^2$	30
10-30 MHz	28	2	6	823,8/f	$1.800/f^2$	30
30-100 MHz	28	2	6	27,5	$2/f^{3,336}$	30
100-400 MHz	28	2	6	27,5	2	30
400-2000 MHz	$1,375 \times f^{0,5}$	f/200	6		f/200	30
2-5 GHz	61	10	6		10	30
5-10 GHz	61	10	6		10	150/f
10-30 GHz	61	10	$68/f^{1,05}$		10	150/f
30-100 GHz	61	10	$68/f^{1,05}$		10	$25,24/ f^{0,476}$
100-300 GHz	61	10	$68/f^{1,05}$		(90×f-7000)/200	$5048/ [(9 \times f-700) \times f^{0,476}]$
	- f zoals aangegeven in de kolom Frequentiegebied - middelingstijd voor E^2					

F.3 Voorstel voor aanpassing referentiewaarden elektrisch veld

Omdat gebleken is dat de referentiewaarden zoals gegeven door ICNIRP[17] en de Gezondheidsraad[129] in het frequentiegebied rond 2 GHz voor kleine personen overeenkomen met hogere waarden dan de basisbeperkingen, moeten de referentiewaarden naar beneden worden bijgesteld. Voorgesteld wordt om vanaf de frequentie 400 MHz de waarden zoals gegeven in tabel F3 over te nemen. Deze liggen onder de berekende waarden voor kleine personen (zie figuur F1).

Tabel F3 Referentiewaarden voor de elektrische veldsterkte: waarden voorgesteld door de Gezondheidsraad in 1997, en nieuwe voorstellen.

frequentie	Gezondheidsraad 1997[129]	GR nieuw
10 – 400 MHz	28	28
400 MHz – 2 GHz	$53 \times f^{0,72}$ (f in GHz)	28
2-4 GHz	87	28
4-10 GHz	87	$10,53 \times f^{0,705}$ (f in GHz)
10-20 GHz	$78 \times f^{0,16}$ (f in GHz)	$10,53 \times f^{0,705}$ (f in GHz)
20-300 GHz	$78 \times f^{0,16}$ (f in GHz)	$35,85 \times f^{0,296}$ (f in GHz)



Figuur F1 Blootstellingslimieten voorgesteld door de Gezondheidsraad[129], ICNIRP[17] en IEEE[18], en berekeningen van Dimbylow van de elektrische veldsterkte bij blootstelling van kinderen aan de maximale SAR van 0,08 W/kg.[106]