
**Voorstellen voor onderzoek naar effecten
van elektromagnetische velden
(0 Hz - 300 GHz) op de gezondheid**





Aan de staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Onderwerp : Aanbieding advies 'Voorstellen voor onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden (0 Hz - 300 GHz) op de gezondheid'

Uw kenmerk : SAS/2005180309

Ons kenmerk : U531/EvR/IV/673-A11

Bijlagen : 1

Datum : 30 mei 2006

Mijnheer de staatssecretaris,

In uw brief van 9 september 2005 gaf u aan op korte termijn een onderzoeksprogramma elektromagnetische velden te willen starten en verzocht u de Gezondheidsraad aan te geven op welke terreinen in Nederland onderzoek verricht zou kunnen worden.

De Commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad doet in dit advies, rekening houdend met de door de Wereldgezondheidsorganisatie opgestelde onderzoeksagenda's, voorstellen voor onderwerpen van onderzoek. Deze liggen op het gebied van zowel statische, laagfrequente als hoogfrequente velden, en hebben betrekking op verschillende onderzoeksterreinen: epidemiologie, sociale wetenschappen, experimenteel onderzoek, metingen en modelberekeningen. Bij elk voorstel geeft de commissie aan welke wetenschappelijke en maatschappelijke argumenten voor prioritering van belang zijn.

De commissie vindt dat de huidige wetenschappelijke stand van kennis het niet toelaat aan te geven welk soort onderzoek het meeste uitzicht biedt op gezondheidswinst. Wel verwacht de commissie dat het beschikbaar komen van de beoogde kennis zal bijdragen aan een evenwichtige meningsvorming en vermindering van ongerustheid in de samenleving.

Ik bied u dit advies, dat is getoetst door de Beraadsgroep Stralingshygiëne van de Gezondheidsraad, hierbij aan. Tevens heb ik deze publicatie vandaag aangeboden aan de minister van Economische Zaken, de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport en de staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.

Hoogachtend,

Prof. dr M de Visser,
Vice-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

Voorstellen voor onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden (0 Hz - 300 GHz) op de gezondheid

aan:

de staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
de minister van Economische Zaken
de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
de staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid

Nr 2006/11, Den Haag, 30 mei 2006

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

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

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



De Gezondheidsraad is lid van het International Network of Agencies for Health Technology Assessment (INAHTA). INAHTA bevordert de uitwisseling en samenwerking tussen de leden van het netwerk.

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

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

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

Preferred citation:

Health Council of the Netherlands. Proposals for research into health effects of electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz). The Hague: Health Council of the Netherlands, 2006; publication no. 2006/11.

auteursrecht voorbehouden

all rights reserved

ISBN-10: 90-5549-603-0

ISBN-13: 978-90-5549-603-7

Inhoud

Samenvatting 9

Summary 13

1 Inleiding 17

1.1 Aanleiding voor dit advies 17

1.2 Uitgangspunten 17

1.3 Indeling 19

1.4 Prioritering 20

2 Epidemiologisch onderzoek 23

2.1 Radiofrequenties 23

2.2 Extreem lage frequenties 26

2.3 Statische magnetische velden 28

3 Sociaal-wetenschappelijk onderzoek 29

3.1 Risicoperceptie 29

3.2 Voorzorg 30

4 Experimenteel onderzoek met mensen 31

4.1 Radiofrequenties 32

4.2 Extreem lage frequenties 34

4.3	Statische magnetische velden	35
5	Dierexperimenteel onderzoek	37
5.1	Frequentie-onafhankelijk onderzoek	37
5.2	Extreem lage frequenties	40
6	Onderzoek met gekweekte cellen	43
7	Onderzoek naar karakterisering van blootstelling	45
7.1	Onderzoek op microniveau	45
7.2	Onderzoek op macroniveau	46
8	Beantwoording adviesvragen	49
	Literatuur	51
	Bijlagen	55
A	Adviesaanvraag	57
B	De commissie	59
C	Onderzoeksvoorstellen van de WHO	61
D	Toelichting epidemiologisch onderzoek	83

8	Voorstellen voor onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden (0 Hz-300 GHz) op de gezondheid
---	--

Samenvatting

Op verzoek van de regering wordt momenteel in Nederland een onderzoeksprogramma elektromagnetische velden en gezondheid opgezet. De staatssecretaris van VROM heeft de Gezondheidsraad gevraagd aan te geven welke onderwerpen daarin aan bod zouden kunnen komen, mede in het licht van de onderzoeksinspanningen in andere landen.

De Commissie Elektromagnetische Velden doet in dit advies voorstellen voor onderzoeksonderwerpen. Zij heeft daarbij rekening gehouden met de in Nederland aanwezige expertise en met de aanbevelingen voor onderzoek op dit terrein die gedaan zijn door de Wereldgezondheidsorganisatie WHO (deze zijn opgenomen in bijlage C). De voorstellen van de commissie zijn samengevat in onderstaande tabel.

Voorstellen voor onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden op de gezondheid

Epidemiologisch onderzoek

Radiofrequenties (RF)

- Prospectief cohortonderzoek bij volwassen gebruikers van mobiele telefoons
 - Grootschalig internationaal patiënt-controle onderzoek naar de relatie tussen het gebruik van mobiele telefoons en het optreden van hersentumoren bij kinderen
 - Prospectief cohortonderzoek bij kinderen naar de relatie tussen gebruik van een mobiele telefoon en andere gezondheidseffecten dan hersentumoren
 - Grootschalige onderzoeken naar gezondheidseffecten bij beroepsmatig sterk blootgestelden
-

Extreem lage frequenties (ELF)

- Nader onderzoek naar het mogelijk verband tussen miskramen en blootstelling aan ELF magnetische velden
- Nader onderzoek naar het risico op amyotrofe lateraal sclerose in 'elektrische' beroepen en naar de ziekte van Alzheimer in relatie tot blootstelling aan ELF magnetische velden

Statische magnetische velden

- Onderzoeken naar langetermijneffecten van statische magnetische velden

Sociaal-wetenschappelijk onderzoek

- Onderzoek naar determinanten van de perceptie van risico's van elektromagnetische velden
- Invloed van voorzorgsmaatregelen op de perceptie van risico's

Experimenteel onderzoek met mensen

Radiofrequenties

- Laboratoriumonderzoek naar de relatie tussen RF-blootstelling en gezondheidsklachten en effecten op cognitie
- Gezondheidsklachten bij omwonenden van basisstations: onderzoek in de woonomgeving
- Laboratoriumonderzoek naar acute effecten op cognitie en hersenactiviteit bij kinderen

Extreem lage frequenties

- Onderzoek naar cognitieve effecten, slaap and hersenfuncties bij volwassenen (onder wie beroepsmatig blootgestelden) en kinderen met uiteenlopende ELF-frequenties en hoge veldsterktes

Statische magnetische velden

- Effecten van sterke statische magnetische velden op cognitie en gedrag
- Effecten van sterke statische magnetische velden op hartfunctie

Dierexperimenteel onderzoek

Uiteenlopende frequenties

- Effecten op de ontwikkeling en het functioneren van het afweersysteem en van de bloedvorming
- Effecten op de ontwikkeling van het centraal zenuwstelsel
- Effecten op de ontwikkeling van cognitieve functies
- Effecten op moleculair niveau in hersenweefsel
- Effecten op carcinogenese

Extreem lage frequenties

- Ontwikkeling van een adequaat proefdiermodel voor kinderleukemie

Onderzoek met gekweekte cellen

- Effecten van bestaande en nieuwe signaalvormen
- Mogelijke interactie van elektromagnetische velden en chemische en fysische agentia

Karakterisering van blootstelling

Onderzoek op microniveau

- Onderzoek naar effecten op cellulaire en subcellulaire structuren, waaronder effecten op vorming van radicaal paren, en naar effecten die cellulaire communicatie kunnen beïnvloeden

Onderzoek op macroniveau

- Karakterisering van blootstelling bij epidemiologisch onderzoek: kenmerken van blootstelling en verdeling over de onderzochte populaties; ontwikkeling van methoden voor het valide schatten van blootstelling door bijvoorbeeld het gebruik van een mobiele telefoon; meten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de werkplek en in de leefomgeving
- Vertalen van basisbeperkingen naar referentiewaarden voor blootstelling in het nabije veld
- Berekeningen voor reële blootstellingssituaties met behulp van moderne modellen: blootstelling aan meerdere bronnen tegelijk en blootstellingen in het nabije veld; ontwikkeling van modellen voor (zwangere) vrouwen en kinderen

De commissie doet geen concrete voorstellen voor prioritering. In plaats daarvan geeft zij een lijst met maatschappelijke en wetenschappelijke argumenten die bij prioritering een rol zouden kunnen spelen. Die argumenten zijn geplaatst in een door de commissie gevoelde volgorde van belangrijkheid. Bij elk van de onderzoeksvoorstellen is aangegeven welke argumenten relevant zijn. Deze informatie kan door bijvoorbeeld de programmacommissie van het onderzoeksprogramma gebruikt worden bij het prioriteren van onderzoek.

De commissie herhaalt de aanbeveling uit een eerder advies dat er in Nederland een groep van deskundigen wordt gevormd die op zijn minst een belangrijke adviserende rol zou moeten hebben met betrekking tot de karakterisering en het meten van de blootstelling van de verschillende onderzoeken uit het programma, maar die daarin ook een uitvoerende rol zou kunnen hebben.

Zorgvuldigheid bij het meten van de sterkte van elektromagnetische velden in woon- en werksituaties is van groot belang. Het op onjuiste wijze meten en interpreteren van metingen kan tot versterking van de maatschappelijke ongerustheid leiden.

De staatssecretaris vraagt de Gezondheidsraad ook om aan te geven welke onderzoeksgebieden het meeste uitzicht op gezondheidswinst bieden. De commissie geeft aan dat de aanwijzingen voor korte en/of lange termijn gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden met sterktes zoals in de woon- en werkomgeving gebruikelijk, beperkt en deels tegenstrijdig zijn en dat oorzakelijke verbanden tot nu toe niet gevonden zijn. De commissie vindt daarom dat het met de huidige inzichten niet mogelijk is de vraag van de staatssecretaris te beantwoorden. Wel meent de commissie dat mogelijk winst te behalen valt uit het verminderen van de ongerustheid onder de bevolking, maar de commissie kan ook hierover geen stellige uitspraken doen.

Summary

At the request of the government, a research programme on electromagnetic fields and health is currently being set up in the Netherlands. The State Secretary for Housing, Spatial Planning and the Environment has asked the Health Council of the Netherlands to indicate what topics could be included in the programme, partly in light of research being conducted in other countries.

In this advisory report, the Electromagnetic Fields Committee proposes topics for inclusion in the research programme. In drawing up the proposals, the Committee has taken account of the expertise present in the Netherlands and the World Health Organization's recommendations for research in this area (these can be found in appendix C). The Committee's proposals are summarized in the table below.

Proposals for research into the effects of electromagnetic fields on health

Epidemiological research

Radio frequencies (RF)

- Prospective cohort study of adult mobile phone users
- Large-scale international patient-control study of the relationship between the use of mobile phones and the occurrence of brain tumours in children
- Prospective cohort study among children examining the relationship between the use of mobile phones and health effects other than brain tumours
- Large-scale studies of health effects in individuals subjected to high occupational exposure

Extremely low frequencies (ELF)

- Further research into the possible link between miscarriage and exposure to ELF magnetic fields
-

• Further research into the risk of amyotrophic lateral sclerosis in ‘electrical’ professions and into Alzheimer’s disease in relation to exposure to ELF magnetic fields
<i>Static magnetic fields</i>
• Studies of the long-term effects of static magnetic fields
<i>Social science research</i>
• Research into determinants of perception of risks from electromagnetic fields • Impact of precautionary measures on risk perception
<i>Experimental research involving humans</i>
<i>Radio frequencies</i>
• Laboratory studies of the relationship between RF exposure and health problems, and effects on cognition • Health problems among people living in the vicinity of base stations: research in the human environment • Laboratory studies into acute effects on cognition and brain activity in children
<i>Extremely low frequencies</i>
• Study of cognitive effects, sleep and brain function in adults (including those with occupational exposure) and children using a range of ELF frequencies and high field strengths
<i>Static magnetic fields</i>
• Effects of strong static magnetic fields on cognition and behaviour • Effects of strong static magnetic fields on heart function
<i>Experimental research on animals</i>
<i>Various frequencies</i>
• Effects on the development and functioning of the immune and haematological systems • Effects on the development of the central nervous system • Effects on the development of cognitive functions • Effects at molecular level in brain tissue • Effects on carcinogenesis
<i>Extremely low frequencies</i>
• Development of an adequate animal model for childhood leukaemia
<i>In vitro research</i>
• Effects of existing and new signal types • Possible interaction between electromagnetic fields and chemical and physical agents
<i>Characterization of exposure</i>
<i>Research at micro-level</i>
• Research into effects on cellular and subcellular structures, including effects on formation of radical pairs and into effects that can influence cellular communication
<i>Research at macro-level</i>
• Characterization of exposure in epidemiological studies: characteristics of exposure and distribution among populations studied; development of methods for valid estimation of exposure resulting, for example, from mobile phone use; measuring exposure to electromagnetic fields in the workplace and the living environment • Translation of basic restrictions into reference values for near-field exposure • Calculations for actual exposure situations using recent models: exposure to several sources simultaneously and near-field exposures; development of models for women (and expectant mothers) and children

The Committee has not made any specific proposals for prioritization. It does, however, present a list of social and scientific arguments that might play a role in prioritization. The arguments are presented in order of importance, according to the views of the Committee. Relevant arguments are indicated for each of the research proposals. This information can be used by the committee that oversees the research programme, for example, to set priorities for research.

The Committee would reiterate its recommendation made in an earlier advisory report that a group of experts be established in the Netherlands who should at least have an important advisory role in the characterization and measuring of exposure in the various studies. They might also play a role in the implementation of the research.

Great care must be taken in measuring the strength of electromagnetic fields in home and work situations. Inaccurate measurements and interpretation of data could exacerbate public concern about this issue.

The State Secretary has also asked the Health Council to indicate which research areas offer the best prospects for health benefits. The Committee would point out that the indications for short- and/or long-term exposure to electromagnetic fields with strengths commonly found in home and work situations are limited and, to some extent, contradictory, and that causal connections have yet to be found. The Committee therefore believes it is not possible to respond to the State Secretary's question at this time. It does, however, believe that benefit could be derived from reducing public concern, although it is unable to draw any firm conclusions in this matter.

Inleiding

1.1 Aanleiding voor dit advies

Op 4 februari 2003 heeft de Gezondheidsraad op verzoek van de minister van VWS een advies uitgebracht met voorstellen voor onderzoek naar effecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden.¹⁸ Dat advies heeft niet geleid tot het opzetten van een onderzoeksprogramma of tot het financieren van individuele onderzoeken. Eind 2004 heeft de Tweede Kamer er bij de regering op aangedrongen om toch onderzoek naar gezondheidseffecten van elektromagnetische velden mogelijk te maken. De staatssecretaris van VROM heeft vervolgens de Gezondheidsraad gevraagd het advies uit 2003 te actualiseren en uit te breiden naar het volledige frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz. De adviesaanvraag staat in bijlage A.

De voorzitter van de Gezondheidsraad heeft de commissie Elektromagnetische velden gevraagd dit advies op te stellen. De samenstelling van de commissie staat in bijlage B.

1.2 Uitgangspunten

De staatssecretaris vraagt in zijn adviesaanvraag om zoveel mogelijk aan te sluiten bij internationale ontwikkelingen en inzichten. De commissie heeft daartoe onder meer goede nota genomen van de aanbevelingen voor onderzoek die de

Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) heeft gedaan in het kader van het *International EMF Project* (zie <http://www.who.int/peh-emf/en>). Deze aanbevelingen, opgenomen in bijlage C, vormen de basis voor de voorstellen in het huidige advies, maar ze zijn niet zonder meer allemaal overgenomen.

De commissie heeft bij het opstellen van haar voorstellen de volgende uitgangspunten gehanteerd, die mede zijn gebaseerd op het verzoek van de staatssecretaris van VROM.

Allereerst is een belangrijke overweging dat met het toenemend aantal draadloze toepassingen het blootstellingspatroon verandert. Zo'n 20 jaar geleden waren radio- en tv-zenders en de elektriciteitsvoorziening de belangrijkste bronnen van elektromagnetische velden. Tegenwoordig zijn er vooral in het radiofrequente deel van het spectrum vele nieuwe toepassingen en er komen er nog steeds meer bij. Dat gaat gepaard met blootstelling aan allerlei nieuwe signaaltvormen. Of daarmee de totale blootstellingsintensiteit toeneemt is de vraag, maar dat het blootstellingspatroon verandert is zeker. Het is de vraag of die nieuwe signaaltvormen een invloed kunnen hebben op het optreden van gezondheidseffecten. Er zijn daar thans geen wetenschappelijke bewijzen voor, maar er is hierover wel veel maatschappelijk onrust, vooral op grond van bevindingen uit enkele onderzoeken, die vooralsnog niet bevestigd zijn in ander onderzoek, maar ook door toedoen van rapportages over soms ernstige gezondheidsklachten door individuen. Die wetenschappelijk onzekerheid in combinatie met de maatschappelijke ongerustheid is een belangrijke reden voor een aantal van de voorstellen in dit advies.

De commissie gaat er van uit dat het onderzoek:

- geen exacte herhaling moet zijn van eerder onderzoek, tenzij daar goede wetenschappelijke redenen voor zijn, er een verbeterde hypothese is geformuleerd en/of er verbeteringen of verfijningen in de onderzoeksopzet zijn aangebracht
- onderzoek dat in andere landen wordt gedaan, moet aanvullen
- uit te voeren moet zijn met in Nederland aanwezige expertise, eventueel in samenwerking met buitenlandse onderzoeksgroepen
- technisch en wetenschappelijk uitvoerbaar moet zijn
- een onderzoeksopzet moet hebben die valide resultaten oplevert
 - de blootstelling moet goed vastgesteld worden; een goede dosimetrie is een absolute en fundamentele eis voor elk onderzoek
 - er moet binnen het onderzoek voldoende contrast in blootstelling zijn
 - er moeten objectief meetbare eindpunten worden gebruikt; bij onderzoek naar subjectieve eindpunten zoals gezondheidsklachten dient een experi-

mentele opzet toegepast te worden waarin een objectieve bepaling mogelijk is

- een bijdrage moet leveren tot een beter inzicht in biologische effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden
- maatschappelijk relevant moet zijn, dat wil zeggen gericht zijn op het vinden van antwoorden op relevante vragen die vanuit de maatschappij gesteld worden over de veiligheid van bepaalde technische infrastructuur, zoals apparatuur voor mobiele telecommunicatie en hoogspanningslijnen.

Daarnaast dienen de onderzoeken:

- van hoge wetenschappelijk kwaliteit te zijn en de resultaten gepubliceerd te worden in internationaal gerefereerde wetenschappelijke tijdschriften
- onafhankelijk te zijn, dat wil zeggen, er mag geen inhoudelijke beïnvloeding plaatsvinden op de uitvoering en rapportage ervan door belanghebbende partijen.

De voorstellen uit het advies van 2003 zijn grotendeels overgenomen in dit advies. Sommige voorstellen zijn echter vervallen omdat zij vanwege nieuwe wetenschappelijke inzichten niet meer relevant zijn.

De commissie herhaalt de aanbeveling uit het advies van 2003 om een universitair kennis- en onderzoekscentrum op te zetten rond de effecten van elektromagnetische velden op de gezondheid. Dat zou de kennis op zowel het gebied van biologie als dosimetrie van elektromagnetisme in Nederland moeten bundelen en uitbreiden en een rol moeten vervullen in het universitaire onderwijs over dit onderwerp.

1.3 Indeling

Er is vooral op grond van praktische overwegingen een onderverdeling gemaakt in verschillende categorieën onderzoek:

- epidemiologisch onderzoek (hoofdstuk 2)
- sociaal-wetenschappelijk onderzoek (hoofdstuk 3)
- experimenteel onderzoek met mensen (hoofdstuk 4)
- dierexperimenteel onderzoek (hoofdstuk 5)
- onderzoek met gekweekte cellen (hoofdstuk 6)
- dosimetrisch en modelmatig onderzoek (hoofdstuk 7).

In risicoanalyses van blootstelling aan elektromagnetische velden zoals die worden uitgevoerd door de Gezondheidsraad, de WHO en andere organisaties, wordt

het grootste gewicht toegekend aan gegevens verkregen uit onderzoek aan mensen (epidemiologisch en experimenteel). Onderbouwing van dergelijke bevindingen met meer fundamenteel en mechanistisch onderzoek is echter ook van groot belang.

In enkele hoofdstukken geeft de commissie aparte aanbevelingen voor onderzoek naar blootstelling aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden en extreem laagfrequente (ELF) of statische magnetische velden. Er zijn geen redenen om aanbevelingen te doen voor onderzoek naar effecten van extreem laagfrequente of statische elektrische velden.

Het meeste onderzoek naar mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden is tot nu toe gedaan voor de meest gebruikte frequenties: die in het ELF en RF gebied. Gegevens uit het tussenliggende frequentiegebied ontbreken veelal. Het frequentiegebied tussen 300 Hz en 10 MHz wordt door de WHO het gebied van de intermediaire frequenties genoemd.¹

Omdat in toenemende mate toepassingen in dit frequentiegebied worden ontwikkeld — b.v. diefstaldetectiepoortjes, *electronic article surveillance* (EAS), metaaldetectoren, radiofrequente identificatielabels (RFID), inductieverwarming — worden mensen ook steeds vaker blootgesteld aan dit soort frequenties. De blootstellingslimieten in dit frequentiegebied zijn verkregen door extrapolatie vanuit hogere en lagere frequentiegebieden. De onzekerheden die daarmee gepaard gaan kunnen alleen verminderd worden door meer en gerichtere gegevens te verzamelen.

De commissie geeft daarom hier de algemene aanbeveling om ook onderzoek te doen naar de effecten van blootstelling aan de intermediaire frequenties.

1.4 Prioritering

De staatssecretaris verzoekt de commissie aan te geven welke voorstellen prioriteit hebben. De commissie doet dit door per onderwerp aan te geven welke van de onderstaande maatschappelijke en wetenschappelijke argumenten van toepassing zijn. De rangschikking in deze tabel is op volgorde van het belang dat de commissie aan de argumenten hecht.

Argumenten voor prioritering van onderzoek	
<i>Maatschappelijke argumenten</i>	
M1	Er is een grote mate van maatschappelijke onrust; de risicoperceptie is hoog
M2	De omvang van de blootgestelde populatie is groot
M3	Er zijn mogelijk risicogroepen in de blootgestelde populatie
M4	Blootstelling is onvrijwillig
M5	De blootstelling is van lange duur of continu
M6	Het onderzoeksvoorstel is gericht op het vaststellen van blootstelling in woon- of werkomstandigheden
M7	De blootstellingsintensiteit is relatief hoog ten opzichte van de gemiddelde blootstelling in de maatschappij
<i>Wetenschappelijke argumenten</i>	
W1	Het onderzoeksvoorstel is gericht op het verkrijgen van fundamenteel inzicht in mechanismen
W2	Er is discrepantie tussen de resultaten van <i>in vitro</i> , <i>in vivo</i> en epidemiologisch onderzoek
W3	Er zijn aanwijzingen voor een effect uit eerder onderzoek, of, bij voorstellen voor epidemiologisch onderzoek, uit <i>in vitro</i> of <i>in vivo</i> onderzoek
W4	Resultaten van valide (<i>in vitro</i> , <i>in vivo</i> of epidemiologische) onderzoeken zijn niet consistent of zelfs tegenstrijdig
W5	Het onderzoeksvoorstel is gericht op het vaststellen van blootstelling
W6	Relevant onderzoek ontbreekt

Epidemiologisch onderzoek

2.1 Radiofrequenties

2.1.1 *Prospectief cohortonderzoek* bij volwassen gebruikers van mobiele telefoons*

• M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	• W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Patiënt-controle onderzoeken uit het INTERPHONE onderzoek hebben zwakke aanwijzingen opgeleverd voor een mogelijke relatie tussen langdurig regelmatig gebruik van een mobiele telefoon en het optreden van bepaalde (goedaardige) tumoren (zie *Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2005*²⁰). Zwakke punten waren echter het mogelijk optreden van selectiebias en de wijze van vaststellen van de blootstelling, omdat die gebaseerd was op de herinnering van de onderzochte personen.

* Zie bijlage D.

In een prospectief onderzoek kan de blootstelling nauwkeuriger worden bepaald. In zo'n onderzoek kan een verscheidenheid aan gezondheidseffecten, waaronder het voorkomen van kanker, worden onderzocht. Enkele belangrijke vereisten voor zo'n onderzoek zijn, dat de blootstelling kwantificeerbaar is en dat er voldoende verschillen in blootstelling zijn binnen de onderzochte groep ('blootstellingscontrast'), dat het onderzoek zich over voldoende lange tijd uitstrekt (het gaat immers om langetermijneffecten) en dat gegevens over gebruik van mobiele telefoons van de telefoonmaatschappijen verkregen kunnen worden.

Voor dit onderzoek zou aansluiting gezocht kunnen worden bij in Nederland lopend cohortonderzoek (dat gericht is op andere oorzaak-gevolgrelaties). Daarnaast of daarbij kan ook deelgenomen worden aan cohortonderzoek naar effecten van elektromagnetische velden dat in het buitenland wordt opgezet.

2.1.2 *Grootschalig internationaal patiënt-controle onderzoek* naar de relatie tussen het gebruik van mobiele telefoons en het optreden van hersentumoren bij kinderen*

• M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In het INTERPHONE-onderzoek zijn geen kinderen opgenomen, omdat het aantal kinderen dat gedurende een lange periode een mobiele telefoon gebruikte destijds te laag was. Dat is intussen veranderd. Veel kinderen maken tegenwoordig vaak en langdurig gebruik van een mobiele telefoon. Omdat hersentumoren bij kinderen zeldzaam zijn, is een cohortonderzoek echter niet zinvol. Een patiënt-controle onderzoek kan in Nederland goed worden uitgevoerd omdat de organisatie van de kankerzorg voor jongeren goed geregeld is. Om voldoende patiënten bijeen te krijgen zal echter internationaal moeten worden samengewerkt. Speciale aandacht dient gegeven te worden aan het verkrijgen van een goede controle-groep met een voldoende hoog deelnemingspercentage.

* Zie bijlage D.

2.1.3 *Prospectief cohortonderzoek bij kinderen naar de relatie tussen gebruik van een mobiele telefoon en andere gezondheidseffecten dan hersentumoren*

• M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Er zijn enkele rapportages over effecten op cognitieve functies en andere gezondheidseffecten bij jeugdige gebruikers van mobiele telefoons.^{24,39} De ontwikkeling van cognitieve functies en het vermogen om te leren zijn uiteraard van groot belang voor de ontwikkeling van kinderen.

Een prospectief cohortonderzoek is de meest aangewezen vorm van onderzoek naar deze effecten. Omdat de te onderzoeken parameters verschillen van die bij volwassenen, kan dit onderzoek niet worden gecombineerd met het onder 2.1.1 genoemde cohortonderzoek onder volwassen telefoongebruikers.

In onderzoek bij kinderen naar andere gezondheidseffecten dan kanker is het extra van belang om rekening te houden met versturende factoren. Met name sociaal-economische factoren zijn zowel van invloed op het gebruik van een mobiele telefoon als ook op andere gezondheidsfactoren, waaronder de ontwikkeling van cognitieve functies.^{6,33,35}

2.1.4 *Grootschalige onderzoeken naar gezondheidseffecten bij beroepsmatig sterk blootgestelden*

M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
• M6	Vaststellen blootstelling	W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In sommige beroepen worden werknemers aan hoge veldsterktes blootgesteld, vaak over grote delen van het lichaam. Soms komt zelfs blootstelling voor aan

veldsterktes die hoger zijn dan de ICNIRP richtlijnen*. Dat zijn dan vanzelfsprekend situaties die niet zouden moeten voortduren. De betreffende werknemers vormen echter wel bij uitstek een geschikte populatie om te onderzoeken of er, als gevolg van zulke blootstellingen, gezondheidseffecten optreden. Dit vanuit de vooronderstelling dat de kans op effect toeneemt bij toenemende blootstelling.

De commissie stelt voor om enerzijds zo mogelijk (internationale) cohortonderzoeken op te zetten en anderzijds bestaande gegevens over beroepsmatige blootstelling uit grootschalige patiënt-controle onderzoeken nader te analyseren.

2.2 Extreem lage frequenties

2.2.1 Nader onderzoek naar het mogelijke verband tussen miskramen en blootstelling aan ELF magnetische velden

M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepancies
• M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
• M6	Vaststellen blootstelling	W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In *Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2003*¹⁹ heeft de commissie enkele onderzoeken besproken waarin aanwijzingen gevonden zijn voor een mogelijk verband tussen het optreden van miskramen en blootstelling aan ELF magnetische velden. In die onderzoeken ging het om blootstelling door het gebruik van elektrische apparatuur in huis en het wonen nabij bovengrondse elektriciteitslijnen.

De commissie herhaalt de conclusie uit het Jaarbericht 2003 dat meer prospectief epidemiologisch onderzoek, met veel aandacht voor meting van de blootstelling, nodig is om uitsluitel te geven of er sprake is van een consistent verband. Daarnaast is ook onderzoek gewenst naar een mogelijk werkingsmechanisme van de invloed van ELF magnetische velden op de zwangerschap.

* De *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* heeft in 1998 richtlijnen gepubliceerd voor blootstellingslimieten in het frequentiegebied van > 0 Hz – 300 GHz.²⁹ Deze richtlijnen zijn door de Europese Unie overgenomen in (niet-bindende) aanbevelingen voor blootstellingslimieten voor de algemene bevolking⁴¹ en (bindende) richtlijnen voor blootstelling van werknemers.¹² Er zijn in Nederland geen wettelijk vastgelegde blootstellingslimieten. De Europese richtlijn voor blootstelling van werknemers moet echter uiterlijk april 2008 in de Nederlandse wetgeving zijn geïmplementeerd.

2.2.2 *Nader onderzoek naar het risico op amyotrofe lateraal sclerose in ‘elektrische’ beroepen en naar de ziekte van Alzheimer in relatie tot blootstelling aan ELF magnetische velden*

M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
• M6	Vaststellen blootstelling	W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In enkele onderzoeken is een verhoogd risico gevonden op amyotrofe lateraal sclerose (ALS) in beroepen met blootstelling aan relatief sterke magnetische velden^{31,43}, terwijl in andere onderzoeken dat verband niet werd gevonden.^{13,25} Nader onderzoek is gewenst naar een mogelijk oorzakelijk verband tussen blootstelling aan ELF magnetische velden en deze zeldzame neurodegeneratieve ziekte. Dit vereist grote onderzoeken waarin de blootstelling aan ELF-velden wordt bepaald, als ook het optreden van elektrische schokken en andere mogelijke risicofactoren.

Blootstelling aan ELF magnetische velden kan mogelijk ook bijdragen aan het ontstaan van de ziekte van Alzheimer.^{13,25,40} De beschikbare gegevens hierover zijn echter niet eenduidig en onvoldoende. Er is behoefte aan goed opgezette onderzoeken waarin met name de morbiditeit in plaats van de mortaliteit wordt onderzocht.

Voorgesteld wordt om een groot internationaal prospectief cohortonderzoek op te zetten waarin een aantal neurologische ziektebeelden wordt onderzocht, waaronder ALS en Alzheimer. Mogelijk kan dit gecombineerd worden met een cohortonderzoek zoals genoemd onder 2.1.4.

2.3 Statische magnetische velden

2.3.1 Onderzoeken naar langetermijneffecten statische magnetische velden

M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In diverse beroepen vindt blootstelling aan relatief hoge statische magnetische velden plaats, bijvoorbeeld bij degenen die met of aan MRI-apparatuur werken, werknemers in aluminiumsmelterijen en chloorelektrolysebedrijven en in het openbaar vervoer (metro, tram, *light rail*). Onderzoek kan uitwijzen of er in internationaal verband voldoende deelnemers te vinden zijn voor epidemiologisch onderzoek naar chronische ziektes zoals kanker, ALS, Alzheimer, en voor onderzoek naar effecten op de zwangerschap. Ook kan in deze studies worden onderzocht welke andere blootstellingen er bij deze beroepen plaatsvinden.

Sociaal-wetenschappelijk onderzoek

De maatschappelijke onrust over bronnen die straling uitzenden, neemt voortdurend toe. De perceptie van risico is daarbij een belangrijke factor. De commissie geeft daarom aanbevelingen voor sociaal-wetenschappelijk onderzoek in samenhang met blootstelling aan elektromagnetische velden.

3.1 Risicoperceptie

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

De wijze waarop mensen aankijken tegen de mogelijke risico's van bronnen van elektromagnetische velden is zeer divers. De meeste mensen lijken er geen problemen mee te hebben, maar sommige groepen — bijvoorbeeld omwonenden van GSM- en UMTS-antennes en hoogspanningslijnen — ervaren de elektromagnetische velden als een soms grote bedreiging voor de gezondheid.^{14,15,45}

De commissie acht het van belang dat er onderzoek wordt gedaan naar determinanten van risicoperceptie van individuen: welke factoren zijn van belang

voor het vertrouwen van belanghebbende partijen en het algemene publiek in (nieuwe) technologieën die gepaard gaan met emissie van elektromagnetische velden; wat is de invloed van verschillende strategieën voor informatievoorziening, risicocommunicatie en risicomanagement op de vorming van een onderbouwde mening over elektromagnetische velden en gezondheid; wat is de rol van wetenschappelijke en andere informatie en de daaraan gekoppelde onzekerheden bij deze processen? Het verdient aanbeveling om experimenteel en veldonderzoek hiernaar uit te voeren.

3.2 Voorzorg

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Een recent onderzoek in Duitsland heeft aanwijzingen gegeven dat de invloed van voorzorgsmaatregelen op de perceptie van risico's van elektromagnetische velden tegengesteld kan zijn dan wat algemeen wordt verwacht. In dat onderzoek zorgden voorzorgsmaatregelen juist voor versterking van de risicoperceptie en vermindering van het vertrouwen in de autoriteiten.⁵⁰ Opgemerkt moet worden dat het onderzoek beperkt van opzet was en dat de conclusies zeker niet veralgemeniseerd kunnen worden. Ervaringen uit de nasleep van de Bijlmerramp leren dat ook het doen van uitvoerig medisch onderzoek niet hoeft te leiden tot geruststelling, zeker in een situatie waarin het vertrouwen in de autoriteiten erg laag is.⁴⁶

Een belangrijke te onderzoeken vraag is, of een negatieve invloed van voorzorgsmaatregelen op de perceptie van risico's en op het vertrouwen in de overheid ook voor Nederland geldt en zo ja, hoe dat te vermijden is.

Experimenteel onderzoek met mensen

Experimenteel onderzoek met mensen is zinvol om meer inzicht te krijgen in acute effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden: sommige vragen zijn alleen met dergelijk onderzoek te beantwoorden.

De commissie doet in dit hoofdstuk onder meer voorstellen voor onderzoek naar effecten op cognitie. Mogelijk kan daarvoor aansluiting gezocht worden bij het recent bij NWO opgestarte onderzoeksprogramma over cognitie.*

* Een van de onderdelen van dit programma is *Application Oriented Research Projects*.² Het doel daarvan wordt in de *Call for proposals* als volgt omschreven: ‘This specific call focuses on one of the main aims of the NWO Special Programme for the Cognitive Sciences: stimulating the embedding of results from cognitive science in society, by applying the insights gained and achieving a significant improvement of methods, techniques and tools for the acquisition, management and use of knowledge in society, both with respect to natural and artificial intelligence. Utilization of cognitive science in education, pharmaceutical industry, robotics or ICT, for the development of neuroprotheses, or in men-machine interfaces are examples of potential research themes, but these examples are by no means exhaustive. In accordance with STW regulations, proposals with a strong technological component are especially invited.’

4.1 Radiofrequenties

4.1.1 Gezondheidsklachten en cognitie: laboratoriumonderzoek

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	• W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Een toenemend aantal mensen schrijft allerlei (a-specifieke) gezondheidsklachten — zoals hoofdpijn, slapeloosheid en concentratieproblemen — toe aan blootstelling aan elektromagnetische velden. Volgens de betreffende personen zijn er grote individuele verschillen in gevoeligheid voor elektromagnetische velden. Op basis van signalen uit de groep mensen met deze a-specifieke gezondheidsklachten valt op te merken dat in de loop van de tijd steeds meer verschillende soorten klachten aan blootstelling aan elektromagnetische velden worden toegeschreven. Daarnaast worden ook associaties gemeld met andere aandoeningen zoals allergie.

Onderzoek heeft zich tot nu toe beperkt tot effecten van voornamelijk ELF-velden bij beeldschermen en RF-velden van mobiele telefoons.⁴² Uit geen van de tot nu toe gepubliceerde onderzoeken komt een duidelijk verband naar voren.^{20,42} Gerichter onderzoek onder goed gecontroleerde omstandigheden is nodig om een beter beeld te krijgen. Daarbij is het met name van belang om zulk onderzoek uit te voeren juist bij mensen die klachten hebben en die toeschrijven aan blootstelling aan elektromagnetische velden.

In het advies uit 2003¹⁸ stelde de commissie voor om vooral op onderzoek naar gezondheidsklachten in te zetten, onder de voorwaarde dat de effecten objectiveerbaar zijn. Een geschikte methode daarvoor is om onderzoek uit te voeren in een experimentele opzet onder gecontroleerde omstandigheden in een laboratorium, waarbij de proefpersonen niet weten of ze al of niet zijn blootgesteld (dubbelblind onderzoek). Een punt van aandacht is wel dat in de tot nu toe uitgevoerde onderzoeken alleen acute effecten van kortdurende blootstellingen zijn bestudeerd, terwijl de klachten juist vaak toegeschreven worden aan langdurige blootstelling en volgens de betreffende personen ook vaak pas enige tijd na

het begin van de blootstelling beginnen op te treden. Een andere dan de toe nu gebruikte onderzoeksopzet lijkt daarom nodig.

Naast de eerder genoemde groep mensen met klachten kan dit soort onderzoek ook gedaan worden bij andere — mogelijk gevoelige — groepen, zoals kinderen en mensen met slaap- of andere stoornissen (bijvoorbeeld concentratieproblemen).

Verder acht de commissie het van belang dat niet alleen naar hersenfuncties zoals cognitie wordt gekeken, maar dat ook andere factoren, bijvoorbeeld fysiologische parameters, in de onderzoeken worden betrokken.

Voor het verkrijgen van een goed inzicht in eventuele oorzaak-gevolg relaties is het essentieel dat de effecten van verschillende blootstellingskarakteristieken zoals veldsterkte, frequentie en pulsvorm worden onderzocht. Daarbij moeten niet alleen signalen van antennes voor mobiele telecommunicatie worden gesimuleerd, maar ook die van andere bronnen, zoals DECT-telefoons, WiFi-voorzieningen en digitale radio en televisie.

Tevens wordt aanbevolen om associaties en correlaties tussen de deze specifieke gezondheidsklachten onderling te onderzoeken. Elektromagnetische velden zijn bij deze klachten niet de enig denkbare stimulus.

4.1.2 *Gezondheidsklachten bij omwonenden van basisstations: onderzoek in de woonomgeving*

• M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
• M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In het hierboven voorgestelde laboratoriumonderzoek is het praktisch onmogelijk om effecten te onderzoeken die op wat langere termijn optreden. Dat kan wel met veldonderzoek, waarbij in de woonomgeving wordt onderzocht of omwonenden van basisstations klachten rapporteren. Door middel van vragenlijstonderzoek kunnen klachten worden geïnventariseerd in relatie tot het al of niet aanstaan van een zender, zonder dat dit laatste bij de omwonenden bekend is. Het is bij dit veldonderzoek van groot belang dat er geen aanwijzingen gegeven worden over het doel van het onderzoek. Als vooraf bekend is dat het gaat om onder-

zoek naar de effecten van de aanwezigheid van antennes, zal dat met zekerheid de resultaten beïnvloeden.

Er is ook uitbreiding denkbaar van dergelijk onderzoek met onderzoek naar risicoperceptie. In hoofdstuk 3 over sociaal-wetenschappelijk onderzoek is de commissie daar nader op ingegaan.

4.1.3 *Acute effecten op cognitie en hersenactiviteit bij kinderen*

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Omdat kinderen op steeds jongere leeftijd gebruik maken van mobiele telecom-municatieapparatuur worden zij in toenemende mate blootgesteld aan de van die apparatuur afkomstige elektromagnetische velden. Als dit directe effecten op cognitieve vermogens of op de hersenactiviteit heeft, zou dat schadelijke gevolgen kunnen hebben voor de ontwikkeling. Er zijn enkele onderzoeken bij tieners uitgevoerd. Die wijzen niet op het optreden van effecten op cognitie.^{24,39} Meer gegevens zijn echter gewenst, ook van jongere kinderen dan tot nu toe onderzocht. Ook dit onderzoek moet in het laboratorium, onder gecontroleerde dosi-metrische omstandigheden, worden uitgevoerd.

4.2 **Extreem lage frequenties**

4.2.1 *Onderzoek naar cognitieve effecten, slaap and hersenfuncties bij volwassenen (onder wie beroepsmatig blootgestelden) en kinderen met uiteenlopende ELF-frequenties en hoge veldsterktes*

M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In eerdere onderzoeken zijn uiteenlopende methodes gebruikt om cognitieve functies te onderzoeken. Daardoor is het moeilijk om de resultaten van deze onderzoeken onderling te vergelijken. Het is daarom van belang om in toekomstig onderzoek de onderzoeksmethodes zoveel mogelijk te harmoniseren en standaardiseren.

Onderzoek bij vrijwilligers en proefdieren heeft aanwijzingen gegeven dat cognitieve functies beïnvloed kunnen worden door kortdurende blootstelling aan hoge veldsterktes.^{9,30} Meer onderzoek is nodig om de aard en omvang van deze effecten te kunnen bepalen en om vast te stellen of ze implicaties moeten hebben voor de blootstellingslimieten. Met name is het van belang om onderzoek bij kinderen uit te voeren, bij beroepsmatig blootgestelden (vanwege een mogelijk effect van langdurige blootstelling op de gevoeligheid) en met andere frequenties dan 50 of 60 Hz.

4.3 Statische magnetische velden

4.3.1 Effecten van sterke statische magnetische velden op cognitie en gedrag

M1	Maatschappelijke onrust	W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Uit enkele experimentele onderzoeken is gebleken dat mogelijk beïnvloeding van cognitieve functies en zelfgerapporteerde klachten (zoals duizeligheid en metaalsmaak) kan plaatsvinden bij blootstelling aan sterke statische magnetische gradiëntvelden, zoals aanwezig nabij MRI-apparatuur.^{10,11} Er zijn aanwijzingen dat met name de oog-hand coördinatie en het gezichtsvermogen kunnen worden beïnvloed bij beweging in sterke gradiëntvelden. Onderzoek bij proefpersonen die in MRI-apparatuur werden blootgesteld aan homogene magneetvelden liet klinisch niet-significante effecten op het kortetermijngeheugen zien.⁷

Omdat medisch personeel in toenemende mate in de directe nabijheid van MRI-apparatuur verblijft, bijvoorbeeld bij interventionele MRI-procedures, is het gewenst onderzoek te doen naar mogelijke cognitieve effecten van blootstelling aan magnetische gradiëntvelden.

Er is MRI-apparatuur voorhanden met statische magneetvelden variërend van minder dan 1 tesla (T) tot meer dan 8 T, en een overeenkomstige variatie in sterkte van het magnetische gradiëntveld. Met deze apparatuur kunnen bij de voorgestelde onderzoeken ook dosis-effect relaties bestudeerd worden.

4.3.2 *Effecten van sterke statische magnetische velden op hartfunctie*

M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepancies
M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Modelberekeningen geven aanwijzingen voor effecten op hartfuncties bij hoge magnetische veldsterktes.²⁶ Het is daarom gewenst dat er onderzoek wordt gedaan naar het functioneren van het cardiovasculaire systeem bij fluxdichtheden > 3 T. Dat zijn veldsterktes die hoger zijn dan wat thans routinematig in de kliniek wordt gebruikt. Gedreven door verbeteringen in de beeldkwaliteit gaan de technische ontwikkelingen steeds meer in de richting van hogere veldsterktes. Zo zullen er in Nederland op korte termijn drie 7-T MRI-apparaten in gebruik genomen worden.

Dierexperimenteel onderzoek

5.1 Frequentie-onafhankelijk onderzoek

Voor een aantal biologische en gezondheidseffecten is er geen overwegende reden om alleen blootstelling in een bepaald frequentiegebied te onderzoeken. Over het gehele frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz is er onbekendheid met het optreden van deze effecten. De commissie doet hier daarom algemene aanbevelingen voor onderzoek, maar geeft wel aan waarom zij vindt dat in sommige gevallen aan onderzoek in een bepaald frequentiegebied prioriteit gegeven zou moeten worden.

5.1.1 *Effecten op de ontwikkeling en het functioneren van het afweersysteem en de bloedvorming*

M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepancies
• M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
• M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Er zijn aanwijzingen gevonden voor effecten van ELF magnetische velden op de afweer- en bloedvormende systemen bij volwassen mensen en proefdieren.^{4,28,30,47,48} De gegevens zijn echter niet consistent en conclusies over nadelige effecten kunnen niet worden getrokken. Van groter belang is echter de vraag of er wellicht effecten zijn op deze systemen in organismen die nog in ontwikkeling zijn. Daarom wordt aanbevolen om te onderzoeken of blootstelling aan elektromagnetische velden met uiteenlopende frequenties bij jonge proefdieren effecten heeft op de ontwikkeling en het functioneren van het afweersysteem en van de bloedvorming.

5.1.2 Effecten op de ontwikkeling van het centraal zenuwstelsel

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepancies
• M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In verschillende landen zijn op grond van voorzorgsoverwegingen aanbevelingen gedaan om het gebruik van mobiele telefoons door kinderen zoveel mogelijk te beperken.^{38,44} Het belangrijkste argument dat daarbij naar voren worden gebracht is, dat de blootstelling aan de RF elektromagnetische velden van de telefoon bij kinderen een grotere invloed zou kunnen hebben op de hersenen dan bij volwassenen, omdat het hoofd en de hersenen bij kinderen nog in ontwikkeling zijn.

Er zijn op ontwikkelingsbiologische gronden geen redenen om aan te nemen dat vanaf een leeftijd van circa 2 à 3 jaar de gevoeligheid van de hersenen voor elektromagnetische velden anders is dan bij volwassenen. De commissie heeft in twee eerdere adviezen argumenten daarover naar voren gebracht.^{16,17} Recente publicaties die zijn voortgekomen uit een door de WHO georganiseerde internationale bijeenkomst over kinderen en blootstelling aan elektromagnetische velden, ondersteunen deze opvattingen.^{8,32,36} Er is echter geen gericht onderzoek gedaan naar effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de ontwikkeling van het centraal zenuwstelsel. De commissie beveelt daarom aan dit in jonge proefdieren te onderzoeken.

In alle gevallen geldt dat zowel langdurige blootstelling aan lage veldsterktes als kortdurende blootstelling aan hoge veldsterktes zouden moeten worden

onderzocht. Het belangrijkste doel van dit type onderzoek is vast te stellen waarin de schade het duidelijkst tot uitdrukking komt, zodat eventuele effecten bij mensen gekwantificeerd kunnen worden.

5.1.3 Effecten op de ontwikkeling van cognitieve functies

M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In het voorgaande hoofdstuk heeft de commissie aanbevelingen gedaan voor onderzoek naar cognitieve functies, zowel bij volwassenen als bij kinderen. De commissie acht het ook van belang dat mogelijke effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de *ontwikkeling* van cognitieve functies worden onderzocht. Dit onderzoek kan alleen met proefdieren worden uitgevoerd.

5.1.4 Effecten op moleculair niveau in hersenweefsel

M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Er zijn zowel bij blootstelling in het ELF- als in het RF-gebied in een aantal onderzoeken, bij veldsterktes die onder de huidige blootstellingslimieten liggen, maar die hoger zijn dan de veldsterktes in de woon- en werkomgeving^{30,34,37}, aanwijzingen gevonden voor effecten op eiwitten in zenuwcellen. Dergelijke effecten kunnen een invloed hebben op het functioneren of op de gezondheid, maar daarvoor zijn tot nu toe geen aanwijzingen gevonden.

Vanwege deze mogelijke gezondheids- of welzijnseffecten beveelt de commissie nader onderzoek aan naar de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op membraan- en moleculair niveau in de hersenen. Hierbij is het van belang om de invloed van blootstellingsparameters als intensiteit, duur en

bijvoorbeeld specifieke stimuluspatronen vast te stellen en het onderzoek te concentreren op onderliggende biologische mechanismen.

5.1.5 *Effecten op carcinogenese*

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
• M2	Grote blootgestelde populatie	• W2	Discrepanties
M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Uit de talloze onderzoeken die zijn verricht is geen direct effect gebleken van blootstelling aan elektromagnetische velden op het ontstaan en de ontwikkeling van kanker.^{19,27,30} Wel zijn er schaarse aanwijzingen voor bevordering van de carcinogene werking van bepaalde chemische stoffen, maar dit is alleen gevonden bij blootstelling aan ELF magnetische velden.³⁰ Aanbevolen wordt daarom nader onderzoek te doen naar de effecten van blootstelling aan met name ELF en statische magnetische velden op de gevolgen van blootstelling aan bekende carcinogenen.

5.2 **Extreem lage frequenties**

5.2.1 *Ontwikkeling van een adequaat proefdiermodel voor kinderleukemie*

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	• W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

Uit epidemiologisch onderzoek is een associatie naar voren gekomen tussen blootstelling aan ELF magnetische velden en een verhoogd risico op kinderleukemie.^{3,23} De vele gegevens uit experimenteel onderzoek wijzen echter niet op een oorzakelijk verband. De commissie acht het noodzakelijk een beter inzicht in deze relatie te krijgen voordat verdergaande conclusies getrokken kunnen worden.

den. Het is daarom van belang dat er een proefdiermodel voor kinderleukemie wordt ontwikkeld waarmee onderzoek gedaan kan worden naar een mogelijk oorzakelijk verband tussen blootstelling aan ELF magnetische velden en deze ziekte. In een recente publicatie wordt een dergelijk model beschreven ⁵, maar de wetenschappelijke waarde daarvan is nog niet duidelijk.

Onderzoek met gekweekte cellen

De commissie acht het in algemene zin van belang dat er met behulp van *in vitro* technieken onderzoek wordt verricht naar effecten van bestaande en nieuwe signaalvormen.

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
M3	Mogelijke risicogroepen	• W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In principe is het mogelijk dat bepaalde signaalvormen en/of sequenties biologische effecten veroorzaken, zoals beïnvloeding van de werking van membraan-eiwitten (die een functie hebben in de interactie van cellen met hun omgeving) of effecten op celdifferentiatie. Onderzoek naar deze effecten, in relatie met frequentie en intensiteit van de elektromagnetische velden, zal informatie over mechanismen kunnen opleveren.

De resultaten van het REFLEX onderzoeksprogramma wijzen in enkele gevallen op mogelijke effecten op het ontstaan van DNA-schade of het herstel daarvan.²⁰ Alhoewel verscheidene replicatie-onderzoeken gaande zijn of al zijn uitgevoerd, is er nog steeds behoefte aan meer en betere informatie. Met name de

vragen waarom het effect het sterkst is bij een bepaalde aan/uit sequentie en waarom het alleen in bepaalde cellijnen gevonden is, vereisen meer onderzoek.

De commissie herhaalt de aanbeveling uit het advies uit 2003¹⁸, om in Nederland *in vitro* onderzoek uit te voeren naar de mogelijke interactie van elektromagnetische velden en chemische en fysische agentia. Met name in beroepsmatige situaties komt gecombineerde blootstelling vaak voor. Betere kennis van interacties op moleculair niveau is zinvol voor een beter inzicht in de biologische consequenties.

Als er uit *in vitro* onderzoek aanwijzingen komen voor meer dan additieve effecten van bepaalde combinaties van elektromagnetische velden en agentia, dient met *in vivo* onderzoek nader bestudeerd te worden of een dergelijke blootstelling leidt tot voor de gezondheid schadelijke effecten.

De commissie doet geen specifieke voorstellen voor het onderzoeken van bepaalde combinaties. Zij laat het over aan andere partijen om aannemelijke hypothesen te formuleren en potentieel schadelijke blootstellingen te identificeren.

Onderzoek naar karakterisering van blootstelling

De commissie heeft in het advies uit 2003¹⁸ aangegeven dat er in Nederland een gespecialiseerde groep van deskundigen zou moeten worden opgezet die in ieder geval een belangrijke adviserende rol zou moeten hebben met betrekking tot de karakterisering en het meten van de blootstelling van de verschillende onderzoeken uit het programma, maar die daarin ook een uitvoerende rol zou kunnen hebben. De commissie acht het nog steeds van groot belang dat deze aspecten door goed ingevoerde deskundigen worden verzorgd.

Het is van groot belang dat het meten van de sterkte van elektromagnetische velden in woon- en werksituaties op deskundige wijze wordt uitgevoerd. Uit de praktijk blijkt dat het op onjuiste wijze meten en interpreteren van metingen tot maatschappelijke ongerustheid kan leiden.

7.1 Onderzoek op microniveau

M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
M4	Onvrijwillige blootstelling	• W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
M5	Langdurige blootstelling	W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

In de meeste gevallen is het onduidelijk welke biologische mechanismen een rol spelen bij reacties van cellen of organismen op blootstelling aan elektromagnetische velden. Een betere theoretische onderbouwing kan mogelijk gevonden worden in een betere modelmatige beschrijving van celweefsel en celprocessen. Samenwerking tussen deskundigen uit verschillende disciplines is hierbij noodzakelijk. De resultaten van deze activiteiten zullen hypothesegenererend zijn voor de verificatie door middel van *in vitro* en *in vivo* experimenten.

De commissie beveelt aan om op microniveau onderzoek te doen naar effecten op cellulaire en subcellulaire structuren, waaronder effecten op de vorming van radicaal paren en naar effecten die cellulaire communicatie kunnen beïnvloeden.

7.2

Onderzoek op macroniveau

7.2.1

Karakterisering van blootstelling

• M1 Maatschappelijke onrust - M2 Grote blootgestelde populatie • M3 Mogelijke risicogroepen • M4 Onvrijwillige blootstelling • M5 Langdurige blootstelling - M6 Vaststellen blootstelling - M7 Hoge blootstellingsintensiteit	• W1 Fundamenteel inzicht - W2 Discrepancies - W3 Aanwijzingen voor effect - W4 Gegevens inconsistent of tegenstrijdig • W5 Vaststellen blootstelling • W6 Ontbrekend onderzoek
--	--

De karakterisering van de blootstelling bij epidemiologisch onderzoek is vaak onduidelijk, onvolledig of onnauwkeurig. Er is onderzoek nodig om een beter inzicht te krijgen in welke kenmerken van de blootstelling van belang zijn, en hoe hun verdeling is over de onderzochte populaties.

De commissie acht onderzoek naar blootstelling in de woon- en werkomgeving van belang. Er dienen betere methoden ontwikkeld te worden voor het valide schatten van bijvoorbeeld de blootstelling door het gebruik van een mobiele telefoon. Daarnaast zou ook de blootstelling aan elektromagnetische velden op de werkplek en in de leefomgeving in het algemeen als gevolg van bijvoorbeeld de aanwezigheid van basisstations en andere bronnen door metingen en/of berekeningen bepaald moeten worden.

7.2.2 Nabije veld: vertaling referentiewaarden

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
• M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

De huidige blootstellingslimieten hebben betrekking op blootstelling in het verre veld, op enige afstand van de bron. In de praktijk vindt echter in toenemende mate blootstelling in het nabije veld plaats, bijvoorbeeld bij het gebruik van een mobiele telefoon of het werken aan een apparaat dat elektromagnetische velden opwekt. De commissie herhaalt daarom de aanbeveling uit 2003¹⁸ om de basisbeperkingen* te vertalen naar referentiewaarden voor blootstelling in het nabije veld.

7.2.3 Berekening realistische blootstellingen

• M1	Maatschappelijke onrust	• W1	Fundamenteel inzicht
M2	Grote blootgestelde populatie	W2	Discrepanties
• M3	Mogelijke risicogroepen	W3	Aanwijzingen voor effect
• M4	Onvrijwillige blootstelling	W4	Gegevens inconsistent of tegenstrijdig
• M5	Langdurige blootstelling	• W5	Vaststellen blootstelling
M6	Vaststellen blootstelling	• W6	Ontbrekend onderzoek
M7	Hoge blootstellingsintensiteit		

* In de blootstellingslimieten die zijn voorgesteld door de Gezondheidsraad^{21,22} en de Raad van de Europese Unie⁴¹ worden twee typen limieten onderscheiden. De basisbeperkingen zijn de eigenlijke blootstellingslimieten. Dit zijn waarden voor grootheden die direct betrekking hebben op processen die in een organisme tot gezondheidsschade kunnen leiden. Voor het gebied van de extreem lage frequenties is de in het lichaam geïnduceerde stroomdichtheid de basisbeperking. Voor het radiofrequente gebied zijn dat de *Specific Absorption Rate* (SAR) voor frequenties tot 10 GHz en de vermogensdichtheid van het elektromagnetische veld voor frequenties van 10 tot 300 GHz. Het relevante biologische effect daarbij is opwarming van het organisme. De SAR is een maat voor de snelheid van opname van elektromagnetische energie in het lichaam, en is daarmee een maat voor de omzetting van deze energie in warmte en daarmee voor de opwarming. De stroomdichtheid en de SAR zijn in de praktijk lastig direct te bepalen. Daarom zijn van de basisbeperkingen de zogenoemde referentiewaarden afgeleid. Dat zijn waarden voor het elektrische en magnetische veld dat aanwezig is op de plaats van de blootstelling in afwezigheid van het blootgestelde object. Deze veldsterkten zijn relatief eenvoudig te meten. De referentiewaarden zijn een hulpmiddel om te bepalen of aan de eigenlijke blootstellingslimieten, de basisbeperkingen, wordt voldaan.

In de huidige blootstellingslimieten is de omrekening van basisbeperkingen naar referentiewaarden uitgevoerd met behulp van uiterst eenvoudige modellen van het menselijk lichaam (ellipsoïden met homogene elektromagnetische eigenschappen) en voor blootstelling aan enkelvoudige bronnen. Er hebben sedertdien belangrijke ontwikkelingen plaatsgevonden in de ontwikkeling van betere en nauwkeurige modellen. Op basis van MRI-scans zijn realistische modellen ontwikkeld waarin de verschillende weefsels met hun specifieke elektromagnetische eigenschappen zijn aangegeven. De commissie acht het van belang om de omrekeningen van basisbeperkingen naar referentiewaarden uit te voeren met deze gedetailleerdere modellen. Daarnaast kunnen deze modellen gebruikt worden voor het berekenen van de effecten van externe elektromagnetische velden voor reële blootstellingssituaties, zoals voor blootstelling aan meerdere bronnen tegelijk en voor blootstellingen in het nabije veld.

De thans beschikbare modellen zijn vrijwel uitsluitend modellen van volwassen mannen. Het is echter van belang om genoemde berekeningen ook uit te voeren met elektromagnetische modellen van vrouwen, met name van vrouwen in verschillende stadia van de zwangerschap, waarbij modellering van de foetus een belangrijk punt is, en met modellen van kinderen van verschillende leeftijd. Dergelijke modellen zijn op beperkte schaal in ontwikkeling.

Beantwoording adviesvragen

In dit hoofdstuk geeft de commissie antwoord op de vragen in de adviesaanvraag.

Hoe ziet op hoofdlijnen de internationale EMV-onderzoeksagenda mbt gezondheidseffecten er uit voor de komende jaren? Wat zijn de belangrijkste vragen die op antwoord wachten?

Het antwoord op het eerste deel van deze vraag is te vinden in de huidige onderzoeksagenda's van de WHO die zijn opgenomen in bijlage C. Het antwoord op het tweede deel geeft de commissie in de vorm van de onderzoeksaanbevelingen in dit advies.

Welke nuttige bijdrage zou daar vanuit Nederland, mede gezien de hier beschikbare expertise, kunnen worden geleverd? Waar is het wenselijk aansluiting en samenwerking te zoeken met onderzoeksgroepen in andere landen? Welke onderzoeksactiviteiten dragen bij aan versterking van de onderzoeksinfrastructuur op dit studieveld in Nederland?

De aanbevelingen die de commissie in dit advies geeft, kunnen alle een nuttige bijdrage leveren aan het onderzoeksveld en kunnen worden uitgevoerd met de in ons land aanwezige wetenschappelijk expertise. Alleen voor wat betreft de epidemiologische onderzoeken acht de commissie het noodzakelijk samenwerking met onderzoekers in het buitenland te zoeken. Voor de andere voorgestelde

onderzoeken is dat ter beoordeling van de onderzoekers zelf, mede omdat de in ons land aanwezige wetenschappelijke expertise maar in beperkte mate direct betrekking heeft op onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden. Een neveneffect van het onderzoeksprogramma zal zijn dat in ons land nieuwe expertise wordt opgebouwd over biologische en gezondheidseffecten van elektromagnetische velden. Daarnaast zal elk onderdeel van het programma de in ons land aanwezige kennisinfrastructuur versterken.

Welk onderzoek verdient prioriteit? Hierbij dienen zowel wetenschappelijke als maatschappelijke aspecten te worden beschouwd alsook optimalisatie van de inzet van de beschikbare middelen en tijdsfasering.

De commissie heeft bij alle voorstellen in dit advies aangegeven welke maatschappelijke en wetenschappelijk aspecten van belang zijn. Deze aspecten zijn daarbij in volgorde van belangrijkheid genoteerd. De vragen over prioriteit, optimalisatie van de inzet van beschikbare middelen en de tijdsfasering zijn aan de door ZonMw in te stellen programmacommissie ter beantwoording.

Tevens zie ik graag in uw advies één of enkele onderzoeksgebieden aangewezen die, wanneer Nederland zich specifiek hierop zou richten, naar uw inzicht binnen afzienbare termijn de meeste ‘gezondheidswinst’ opleveren. Indien echter door dit aspect te beschouwen, het opstellen van de rest van het advies vertraging zou oplopen, verzoek ik u in een later advies hier aandacht aan te schenken.

Aanwijzingen voor korte en/of lange termijn gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden met sterktes zoals in de woon- en werkomgeving gebruikelijk, zijn beperkt en deels tegenstrijdig. Oorzakelijke verbanden zijn tot nu toe niet gevonden. Het is met de huidige wetenschappelijke inzichten niet mogelijk een zinvolle inschatting te maken van het kwalitatieve of kwantitatieve effect van het vergroten van de wetenschappelijke kennis op de volksgezondheid. Wel meent de commissie dat mogelijk winst te behalen valt uit het verminderen van de ongerustheid onder de bevolking, maar zij kan ook hierover geen stellige uitspraken doen.

Literatuur

-
- 1 Health effects of electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. Proceedings of the International Seminar on Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz, Maastricht, The Netherlands, June 7 and 8, 1999, Matthes, R, van Rongen, E, and Repacholi, MH, Eds. Oberschleissheim: International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 1999.
 - 2 NWO - Onderzoeksprogramma Cognitie: Subsidiemogelijkheden. Internet: http://www.nwo.nl/nwohome.nsf/pages/NWOP_5WSJKY. Geraadpleegd 9 Maart 2006.
 - 3 Ahlbom, A, Day, N, Feychting, M, e.a. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer, 2000; 83: 692-698.
 - 4 Arafa, HM, Abd-Allah, AR, El Mahdy, MA, e.a. Immunomodulatory effects of L-carnitine and q10 in mouse spleen exposed to low-frequency high-intensity magnetic field. Toxicology, 2003; 187: 171-181.
 - 5 Bernard, N, Devevey, L, Jacquemont, C, e.a. A new model of pre-B acute lymphoblastic leukemiachemically induced in rats. Exp. Hematol, 2005; 33: 1130-1139.
 - 6 Bohler, E and Schuz, J. Cellular telephone use among primary school children in Germany. Eur J Epidemiol, 2004; 19: 1043-1050.
 - 7 Chakeres, DW and de Vocht, F. Static magnetic field effects on human subjects related to magnetic resonance imaging systems. Prog Biophys Mol Biol, 2005; 87: 255-265.
 - 8 Christ, A and Kuster, N. Differences in RF energy absorption in the heads of adults and children. Bioelectromagnetics, 2005; Suppl 7: S31-S44.
 - 9 Crasson, M. 50-60 Hz electric and magnetic field effects on cognitive function in humans: a review. Radiat Prot Dosimetry, 2003; 106: 333-340.
-

- 10 de Vocht, F, van Drooge, H, Engels, H, e.a. Exposure, health complaints and cognitive performance among employees of an MRI scanners manufacturing department. *J Magn Reson Imaging*, 2006; 23: 197-204.
- 11 de Vocht, F, Wendel de Joode, B, Engels, H, e.a. Neurobehavioral effects among subjects exposed to high static and gradient magnetic fields from a 1.5 Tesla magnetic resonance imaging system--a case-crossover pilot study. *Magn Reson Med*, 2003; 50: 670-674.
- 12 Europees Parlement and Raad van de Europese Unie. Richtlijn 2004/40/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (elektromagnetische velden) (achttiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG). *Publicatiebl Eur Gemeensch*, 2004; L184: 1-9.
- 13 Feychting, M, Jonsson, F, Pedersen, NL, e.a. Occupational magnetic field exposure and neurodegenerative disease. *Epidemiology*, 2003; 14: 413-419.
- 14 Frick, U, Rehm, J, and Eichhammer, P. Risk perception, somatization, and self report of complaints related to electromagnetic fields--a randomized survey study. *Int J Hyg Environ Health*, 2002; 205: 353-360.
- 15 Garcia, M, Fernandez, E, Borrás, JM, e.a. Cancer risk perceptions in an urban Mediterranean population. *Int.J.Cancer*, 2005; 117: 132-136.
- 16 Gezondheidsraad. Brief van prof dr M de Visser dd 14 januari 2005 inzake Mobiele telefoons en gezondheid aan de Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- 17 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Mobiele telefoons. Een gezondheidskundige analyse. Den Haag: Gezondheidsraad, 2002; publicatie nr 2002/01.
- 18 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden. Aanbevelingen voor onderzoek. Den Haag: Gezondheidsraad, 2003; publicatie nr 2003/03.
- 19 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2003. Den Haag: Gezondheidsraad, 2004; publicatie nr 2004/1.
- 20 Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2005. Den Haag: Gezondheidsraad, 2005; publicatie nr 2005/14.
- 21 Gezondheidsraad: Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/06.
- 22 Gezondheidsraad: Commissie Radiofrequente elektromagnetische velden. Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz). Rijswijk: Gezondheidsraad, 1997; publicatie nr 1997/01.
- 23 Greenland, S, Sheppard, AR, Kaune, WT, e.a. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology*, 2000; 11: 624-634.
- 24 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.
-

52 Voorstellen voor onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden (0 Hz-300 GHz) op de gezondheid

- 25 Hakansson, N, Gustavsson, P, Johansen, C, e.a. Neurodegenerative diseases in welders and other workers exposed to high levels of magnetic fields. *Epidemiology*, 2003; 14: 420-426.
- 26 Holden, AV. The sensitivity of the heart to static magnetic fields. *Prog Biophys Mol Biol*, 2005; 87: 289-320.
- 27 IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*, 2002; 80: 1-395.
- 28 Ichinose, TY, Burch, JB, Noonan, CW, e.a. Immune markers and ornithine decarboxylase activity among electric utility workers. *J Occup Environ Med*, 2004; 46: 104-112.
- 29 ICNIRP - International Commission on Non-ionising Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (1 Hz - 300 GHz). *Health Phys*, 1998; 74: 494-522.
- 30 ICNIRP - International Commission on Non-ionizing Radiation Protection. Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0 - 100 kHz). publication ICNIRP 13/2003, Oberschleissheim: International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 2003.
- 31 Johansen, C and Olsen, JH. Mortality from amyotrophic lateral sclerosis, other chronic disorders, and electric shocks among utility workers. *Am J Epidemiol*, 1998; 148: 362-368.
- 32 Juutilainen, J. Developmental effects of electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 2005; Suppl 7: S107-S115.
- 33 Kamibeppu, K and Sugiura, H. Impact of the mobile phone on junior high-school students' friendships in the Tokyo metropolitan area. *Cyberpsychol Behav*, 2005; 8: 121-130.
- 34 Lai, H. Research on the neurological effects of nonionizing radiation at the University of Washington. *Bioelectromagnetics*, 1992; 13: 513-526.
- 35 Madell, D and Muncer, S. Back from the beach but hanging on the telephone? English adolescents' attitudes and experiences of mobile phones and the internet. *Cyberpsychol Behav*, 2004; 7: 359-367.
- 36 Martens, L. Electromagnetic safety of children using wireless phones: a literature review. *Bioelectromagnetics*, 2005; Suppl 7: S133-S137.
- 37 Mausset, AL, de Seze, R, Montpeyroux, F, e.a. Effects of radiofrequency exposure on the GABAergic system in the rat cerebellum: clues from semi-quantitative immunohistochemistry. *Brain Res*, 2001; 912: 33-46.
- 38 National Radiological Protection Board. Mobile phones and health 2004. Report by the Board of NRPB. Chilton: National Radiological Protection Board, 2004; Doc NRPB 15 (5).
- 39 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.
- 40 Qiu, C, Fratiglioni, L, Karp, A, e.a. Occupational exposure to electromagnetic fields and risk of Alzheimer's disease. *Epidemiology*, 2004; 15: 687-694.
-

- 41 Raad van de Europese Unie. Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van de blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz - 300 GHz. Publicatiebl Eur Gemeensch, 1999; L199: 59-70.
- 42 Rubin, GJ, Munshi, JD, and Wessely, S. Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies. *Psychosom Med*, 2005; 67: 224-232.
- 43 Savitz, DA, Checkoway, H, and Loomis, DP. Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers. *Epidemiology*, 1998; 9: 398-404.
- 44 Schütz, J. Mobile phone use and exposures in children. *Bioelectromagnetics*, 2005; Suppl 7: S45-S50.
- 45 Siegrist, M, Earle, TC, Gutscher, H, e.a. Perception of mobile phone and base station risks. *Risk Anal*, 2005; 25: 1253-1264.
- 46 Spinhoven, P, Smid, T, Verschuur, MJ, e.a. [The cares and anxiety of those involved in the Bijlmermeer aviation disaster did not diminish following the medical investigations]. *Ned Tijdschr Geneeskd*, 2005; 149: 1363-1364.
- 47 Tremblay, L, Houde, M, Mercier, G, e.a. Differential modulation of natural and adaptive immunity in Fischer rats exposed for 6 weeks to 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave magnetic-fields. *Bioelectromagnetics*, 1996; 17: 373-383.
- 48 Tuschl, H, Neubauer, G, Schmid, G, e.a. Occupational exposure to static, ELF, VF and VLF magnetic fields and immune parameters. *Int J Occup Med Environ Health*, 2000; 13: 39-50.
- 49 WHO - World Health Organization. Static fields. *Environmental Health Criteria 232*, Geneva: World Health Organization, 2006.
- 50 Wiedemann, PM and Schutz, H. The precautionary principle and risk perception: experimental studies in the EMF area. *Environ Health Perspect*, 2005; 113: 402-405.

-
- 54 Voorstellen voor onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden (0 Hz-300 GHz) op de gezondheid

-
- A De adviesaanvraag
 - B De commissie
 - C Onderzoeksvoorstellen van de WHO
 - D Toelichting epidemiologisch onderzoek

Bijlagen

Adviesaanvraag

In een brief met kenmerk SAS/2005180309 van 9 september 2005 schreef de staatssecretaris van VROM aan de voorzitter van de Gezondheidsraad:

Geachte heer Knottnerus,

In het Algemeen Overleg over het nationaal antennebeleid met de gezamenlijke vaste commissies voor Economische Zaken en voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer op 7 december 2004 werd verzocht om aanvullend onderzoek te doen naar de gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische velden. De Minister van Economische Zaken en ik hebben toegezegd te zoeken naar mogelijkheden om uitbreiding van de onderzoeksinspanning te realiseren, waarbij ook gestreefd wordt naar een bijdrage vanuit het bedrijfsleven. Het ligt in de bedoeling om op korte termijn een onderzoeksprogramma te starten om het uit te voeren onderzoek te coördineren en te financieren. Dit onderzoeksprogramma zal het gehele spectrum van elektromagnetische velden (EMV), van 0 Hz tot 300 GHz, omvatten.

Om een dergelijke inspanning efficiënt en doelmatig te realiseren, is het noodzakelijk inzicht te hebben in de reeds lopende internationale onderzoeken en in de mogelijkheden om deze op een nuttige manier in Nederland aan te vullen. In februari 2003 heeft de Gezondheidsraad het advies "Gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden – aanbevelingen voor onderzoek" uitgebracht. Gezien de intussen verstreken tijd en de vele ontwikkelingen op dit terrein in de laatste jaren, is aanpassing en revisie van dit advies wenselijk. Daarnaast is aanvulling van dit advies voor het gehele frequentiespectrum nodig.

Naar aanleiding van het bovenstaande verzoek ik u advies uit te brengen over de volgende vragen:

- 1 Hoe ziet op hoofdlijnen de internationale EMV-onderzoeksagenda mbt gezondheidseffecten er uit voor de komende jaren? Wat zijn de belangrijkste vragen die op antwoord wachten?
- 2 Welke nuttige bijdrage zou daar vanuit Nederland, mede gezien de hier beschikbare expertise, kunnen worden geleverd? Waar is het wenselijk aansluiting en samenwerking te zoeken met onderzoeksgroepen in andere landen? Welke onderzoeksactiviteiten dragen bij aan versterking van de onderzoeksinfrastructuur op dit studieveld in Nederland?
- 3 Welk onderzoek verdient prioriteit? Hierbij dienen zowel wetenschappelijke als maatschappelijke aspecten te worden beschouwd alsook optimalisatie van de inzet van de beschikbare middelen en tijdsfasering.

Met nadruk verzoek ik u om in uw advies niet alleen biologische en technische onderzoeksvelden te betrekken, maar ook sociologisch en psychologisch onderzoek waarmee inzicht in en begrip van de bij dit onderwerp relevante maatschappelijke aspecten wordt vergroot.

Tevens zie ik graag in uw advies één of enkele onderzoeksgebieden aangewezen die, wanneer Nederland zich specifiek hierop zou richten, naar uw inzicht binnen afzienbare termijn de meeste ‘gezondheidswinst’ opleveren. Indien echter door dit aspect te beschouwen, het opstellen van de rest van het advies vertraging zou oplopen, verzoek ik u in een later advies hier aandacht aan te schenken.

Hoogachtend,
de Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,
w.g.
Drs PLBA van Geel

De commissie

De commissie Elektromagnetische velden is door de voorzitter van de Gezondheidsraad ingesteld op 6 maart 2000, voor de duur van vier jaar. De instelling is per 1 januari 2004 en per 1 januari 2006 verlengd voor een periode van telkens twee jaar.

De commissie heeft tot taak om regelmatig te rapporteren over de wetenschappelijke ontwikkelingen in haar aandachtsgebied en adviesaanvragen ter zake in behandeling te nemen. Ook zal zij tussentijds, wanneer daar aanleiding voor is, belangrijke wetenschappelijke ontwikkelingen belichten.

Bij het opstellen van dit advies had de commissie de volgende samenstelling:

- dr GC van Rhoon, *voorzitter*
fysicus; Erasmus universitair Medisch Centrum Rotterdam
 - dr LM van Aernsbergen, *adviseur*
fysicus; Ministerie van VROM, Den Haag
 - prof. dr ir G Brussaard
emeritus hoogleraar radiocommunicatie; Technische Universiteit Eindhoven
 - dr J Havenaar
psychiater; GGZ Buitenamstel, Amsterdam
 - dr H Kromhout
arbeidshygiënist/epidemioloog; Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht
-

- prof. dr ir FE van Leeuwen
hoogleraar epidemiologie van kanker; Vrije Universiteit Amsterdam,
epidemioloog; Nederlands Kanker Instituut, Amsterdam
- dr HK Leonhard, *adviseur*
fysicus; Ministerie van Economische Zaken, Groningen
- dr MM Sitskoorn
neuropsycholoog/cognitiewetenschapper; Universitair Medisch Centrum
Utrecht
- prof. dr WJ Wadman
hoogleraar neurobiologie; Universiteit van Amsterdam
- DHJ van de Weerd, arts
medisch milieukundige; Hulpverlening Gelderland Midden / GGD Arnhem
- prof. dr ir APM Zwamborn
hoogleraar elektromagnetische effecten; Technische Universiteit Eindhoven,
fysicus; TNO, Den Haag
- dr E van Rongen, *secretaris*
radiobioloog; Gezondheidsraad, Den Haag

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 bekleeden, 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.

Onderzoeksvoorstellen van de WHO

Statische velden

Onderstaande voorstellen zijn overgenomen uit *Environmental Health Criteria 232: Static Fields*.⁴⁹

1.2 Recommendations for further study

Identifying gaps in our knowledge of the possible health effects of static field exposure is an essential part of this health risk assessment. The following recommendations for further research have been made.

1.2.1 Static electric fields

There appears to be little benefit in continuing research into the effects static electric fields have on health. None of the studies conducted to date suggest any untoward health effects, except for possible stress resulting from prolonged exposure to microshocks. Thus, there are no recommendations for further research concerning biological effects from exposure to static electric fields. In addition, there is only limited opportunity for significant exposure to these fields in the workplace or living environment and this therefore does not warrant any epidemiological studies.

1.2.2 Static magnetic fields

In general terms, research carried out to date has not been systematic and has often been performed without appropriate methodology and exposure information. Coordinated research programs are recommended as an aid to a more systematic approach. There is also a need to investigate the importance of physical parameters such as intensity, duration and gradient on biological outcome.

Following a discussion of the limitations of existing studies, further research is recommended covering epidemiology, volunteer studies, animal and in vitro biology, studies into mechanisms of interaction, and theoretical and computational investigations.

1.2.2.1 Theoretical and computational studies

Computational dosimetry provides the link between an external static magnetic field and the internal electric fields and induced currents caused by movement of living tissues in the field. Such theoretical techniques allow the fields to be characterised in specific tissues and organs. There are 4 fine resolution, anatomically realistic, voxel phantoms of adult men available, and these have been widely used in studies with time-varying electromagnetic fields. However, very little work has been done with static fields, and further work is considered necessary using these models. In particular, the use of different sized phantoms, and the use of female phantoms, is considered important, as is the use of pregnant phantoms with fetuses of differing ages. Similar studies could be performed with phantoms of pregnant animals to aid interpretation of the results of developmental studies with these models. (*Medium priority*)

A very fine resolution head-and-shoulder phantom should be developed and used to investigate the electric fields and currents associated with visual phosphenes and vertigo. This model could also be used to investigate the fields and currents generated by head and eye movements in a static magnetic field. The latter is considered of particular relevance to interventional MRI procedures where reduced head movements of surgeons and other clinical staff may necessitate increased movement of the eyes. Gross body movement by staff around the interventional system should also be simulated. (*High priority*)

Computations using a detailed model of the heart and modelling of common cardiac pathologies are considered important. This model should include the micro-architecture of the heart as well as the smaller blood vessels within the heart that might produce fields and currents that could have some influence on pacemaker rhythm generation and the propagation of depolarisation. In addition, calculations are necessary to estimate the magnitude and spatial distribution of currents that are induced in the heart as a consequence of field and field gradient exposure. Multiple orientations to the field should be studied. These would allow comparison with the currents that have been calculated to

induce cardiac effects. Supportive experimental and laboratory studies are recommended. (*High priority*)

Although there is a reluctance to use high field MRI on pregnant women at the moment, it is acknowledged that this situation may change. It would therefore be advisable to carry out modelling studies investigating the currents induced in a fetus by maternal or intrinsic fetal movement in a high field. These calculations (and similar studies with gradient and radiofrequency fields) would allow an estimate to be made of the likelihood of possible effects on the fetus. (*High priority*)

1.2.2.2 In vitro studies

Static magnetic fields may interact with biological systems in a number of ways, although the most likely means of causing health effects are via field-induced effects on charged molecules and alterations in the rate of biochemical reactions.

Further studies are needed on possible mechanisms and targets for biological effects of static magnetic fields. It is recommended to investigate the effects of static magnetic fields of 0.01 - 10 T on interaction of ions (e.g. Ca^{2+} or Mg^{2+}) with enzymes and radical pair formation. Although it is considered difficult to do, there is merit in searching for more enzymatic reactions that proceed through radical pair mechanisms in model systems that are relevant for human health. Another suggestion is to concentrate on toxic radical species, such as the superoxide, which are known to be damaging and are produced by free radical mechanisms. (*Medium priority*)

Reports of a co-mutagenic effect in various cells are of particular interest concerning the carcinogenic potential of static magnetic fields. This type of study should be performed using human primary cells and extended to include transformation and genetically-modified systems. (*High priority*)

Static magnetic fields might affect gene expression and relevant functions in human and mammalian cells under specific conditions of exposure, but there is only little information available on this. Studies with techniques such as proteomics and genomics should be performed with primary human cells to search for possible molecular markers for effects of static magnetic fields relevant to human health issues. (*Low priority*)

1.2.2.3 Animal experimental studies

The effects of long-term exposure to static magnetic fields can be addressed using animal models. In the absence of specific information regarding the carcinogenic potential of static magnetic fields, long-term (including life-time) studies are recommended. Both normal and genetically-modified animals could be used. For example, if an amplification of free radicals was considered a possible route

whereby cancer risk may be increased, a mouse model with deletion of the superoxide dismutase gene could be used. The susceptibility to tumours and other free radical related diseases is greatly enhanced in this model. The use of microarray techniques allows the effects of many different exposure parameters to be readily assessed and quantified on the genome and proteome. (*High priority*)

The possibility of increased risk of developmental abnormalities and teratological effects needs to be addressed in a systematic fashion. The developing brain may be particularly susceptible to the effects of movement-induced currents since orientation effects are very important for guiding the normal growth of neuronal dendrites. It is also possible that longlasting changes could be induced by relatively short exposures. The study of neurobehavioural parameters can provide a rapid and sensitive assay to explore the effects of exposure on developing brain function, and such studies are recommended. Studies to chart the subtle morphological changes that occur during development of specific regions of the brain, such as the cortex or hippocampus, are also of value. The use of appropriate transgenic models should be considered. (*High priority*)

Although there are data indicating that exposure of animals (and human) to fields of around 2 T does not cause electrophysiological effects, it would be useful to know the effects of higher fields. Thus the effects of exposure up to and above 10 T could usefully be explored in animals. (*Medium priority*)

A variety of other endpoints have been investigated in animals that have so far provided only limited information. While a series of single studies for each of those endpoints might not be cost-effective, a broad animal study to cover different endpoints might be worthwhile. (*Low priority*)

1.2.2.4 Human experimental studies

The cognitive and behavioural effects of static magnetic fields should be investigated further. However, the available data do not suggest particular risks to specific aspects of cognition nor do they suggest which parameters should be tested in the laboratory. In the absence of a clear direction, a possible approach would be to investigate the effects of exposure on the performance of a battery of cognitive tasks that encompass standard tests of attention, reaction time and memory, if only to act as an initial screen pending more focused work. The initial work could be done with volunteers as part of experimental studies. (*Medium priority*)

With a wider utilization of MRI studies where support staff are in close proximity to patients within a magnet, such as in MRI interventional procedures, additional studies are needed of head and eye coordination, cognitive performance and behaviour in a gradient field. Further investigation of mechanisms and intensity of field-induced vestibular dysfunction including vertigo is considered of special interest because of the increasing likelihood that medical staff will be performing complicated tasks for extended periods of time within a magnetic field. (*High priority*)

Similarly, additional studies on cardiac function would be useful and could investigate effects on the cardiovascular system. These studies may also need to be performed at higher than 3 T to evaluate potential risks beyond those in the routine clinical environment. (*Low priority*)

1.2.2.5 Epidemiological studies

There are a number of categories of workers with elevated exposures to static magnetic fields, including MRI technicians, workers at aluminium smelting plants, and certain transportation workers (those on subways, MagLev trains, commuter trains, and light rail). For rare chronic diseases such as cancer, feasibility studies are needed to identify the highly exposed occupational groups that could be assessed for participation in epidemiological studies. Feasibility studies also need to determine which other exposures are present in these occupations. If sufficient numbers of workers can be identified, then a nested case-control approach is probably the most appropriate, since detailed information about the exposure and important confounding variables, such as ionizing radiation, needs to be obtained. International collaborative studies will probably be necessary to obtain sufficient numbers of exposed subjects. (*High priority*)

For other more common health outcomes with short latency periods, specific highly exposed occupational groups (for example, workers in industries where MRI systems are manufactured) can be identified and followed over time. Information about different health outcomes may already be available from routinely performed health examinations of these workers, but this can only be used if similar information is also available for a comparable unexposed group. A health survey of surgeons, nurses and other workers using interventional MRI would provide useful information as to levels, durations and frequency of exposures of workers to static fields in these systems. Similarly, patient records may exist in some hospitals from which it might be possible to obtain data on people who were exposed, but whose condition was subsequently found to be benign. (*High priority*)

There is also merit in performing a prospective study of pregnancy risks associated with occupational static magnetic field exposure, as well as follow-up studies of pregnancy outcomes of pregnant women who had to undergo MRI examinations. (*High priority*)

Experience with other frequencies has shown that obtaining reliable estimates of exposure to electromagnetic fields for use in epidemiological studies can be very difficult, and surrogate measures of exposure, such as job title or distance from a particular source, may not always provide sufficiently accurate assessments. The use of specific instruments is thus required to measure exposure. Relatively small personal dosimeters have proved very useful in research on ELF fields. Personal dosimeters would therefore greatly improve exposure assessment in epidemiological studies. Numerical and experimental validation of the dosimeters should be performed. Magnetic field strength, magnetic

field gradients, exposure durations and, ideally, the rate of change of the magnetic due to motion should be recorded. (*High priority*)

Laagfrequente velden

Onderstaande voorstellen zijn overgenomen uit een conceptversie dd 24 maart 2006 van het WHO *Environmental Health Criteria* document over laagfrequente velden.

1.2 Recommendations for research

Identifying gaps in knowledge of the possible health effects of ELF exposure is an essential part of this health risk assessment. This results in the following recommendations for further research.

1.2.1 Sources, measurements and exposures

Further characterisation of homes with high ELF exposure in different countries to identify relative contributions of internal and external sources, the influence of wiring/grounding practices and other characteristics of the home could give insights into identifying a relevant exposure metric for epidemiological assessment. An important component of this is a better understanding of foetal and childhood exposure to EMFs, especially from residential exposure to under-floor electrical heating and from transformers in apartment buildings.

It is suspected that in some cases of occupational exposure the present ELF guideline limits are exceeded. More information is needed on exposures (including to non-power frequencies) related to work on, for example, live-line maintenance, work within or near the bore of MRI magnets (and hence to gradient switching ELF fields) and work on transportation systems. Similarly, knowledge should be increased about general public exposures which could come close to guideline limits: examples are sources such as mobile phone handset pulsed power supplies, security systems, library degaussing systems, induction cooking and water heating appliances.

Exposure to contact current has been proposed as a possible explanation for the association of magnetic fields with childhood leukaemia. Research is needed in countries other than the USA to assess the capability of residential electrical grounding and plumbing practices to give rise to contact currents in the home. Such studies would have priority in countries with important epidemiological results with respect to ELF and childhood leukaemia.

1.2.2 Dosimetry

In the past, most laboratory research was based on induced electric currents in the body as a basic metric and thus dosimetry was focused on this quantity. Only recent work started to explore the relationship between external exposure and induced electric fields. For a better understanding of biological effects and for the development of exposure guidelines, more data on internal electric fields for different exposure conditions are needed.

Computation should be made of internal electric fields due to the combined influence of external electric and magnetic fields in different configurations: vectorial addition of out-of phase and spatially varying contributions of electric and magnetic fields is necessary to assess basic restriction compliance issues.

Very little computation has been carried out on advanced models of the pregnant woman and the foetus with appropriate anatomical modelling. It is important to assess possible enhanced induction of electric fields during foetal life in relation to the childhood leukaemia issue. Both maternal occupational and residential exposures are relevant here.

There is a need to further refine micro-dosimetric models to take into account the cellular architecture of neural networks and other complex sub-organ systems identified as being more sensitive to induced electric field effects. This modelling needs to take into account influences in cell membrane electrical potentials and on the release of neurotransmitters.

1.2.3 Biophysical mechanisms

There are three main areas where there are obvious limits to current understanding of mechanisms: the radical pair mechanism, magnetic particles in the body and signal-to-noise ratios in multi-cell systems such as neuronal networks.

The radical pair mechanism is one of the more plausible low level interaction mechanisms, but it has yet to be shown that it is able to mediate significant effects in cell metabolism. It is particularly important to understand the lower limit of exposure at which it acts, so as to judge whether this could or could not be a relevant mechanism for carcinogenesis. It is recommended that cells of the immune system that generate reactive oxygen species as part of their immune response be used as cellular models for investigating the potential of the radical pair mechanism, given recent studies in which reactive oxygen species were increased in immune cells exposed to ELF.

Although the presence of magnetic particles (magnetite crystals) in the human brain does not, on present evidence, appear to confer a sensitivity to environmental ELF magnetic fields, further theoretical

and experimental approaches should explore whether such sensitivity could exist under certain conditions. Moreover, any modification the presence of magnetite might have on the radical pair mechanism discussed above should be pursued.

The extent to which multi-cell mechanisms operate in the body, especially in the brain, so as to improve signal-to-noise ratios should be further investigated in order to develop a theoretical framework for quantifying this or for determining any limits on it. Further investigation of the threshold and frequency response of the neuronal networks in the hippocampus and other parts of the brain should be examined using *in vitro* approaches.

In addition, there are two other mechanisms, contact currents and effects on airborne pollutants, that are potentially relevant to cancer and should be further investigated.

1.2.4 Neurobehavior

It is recommended that laboratory-based volunteer studies on possible effects on sleep and mentally-demanding task performance be carried out using harmonised methodological procedures. There is a need to identify dose-response relationships at higher magnetic flux densities than used previously and a wide range of frequencies (i.e. in the kilohertz range).

Studies of adult volunteers and animals suggest that acute cognitive effects may occur with short-term exposures to intense fields. The characterisation of such effects is very important for the development of exposure guidance but there is a lack of specific data concerning field-dependent effects in children. It is recommended to perform laboratory-based studies of cognition and changes in electroencephalograms (EEGs) in people exposed to ELF fields in the laboratory, including children and adults that are regularly subjected to occupational exposures.

Some recent data suggest that further research of the relationship between EMF exposure and depressive symptoms or suicide is warranted.

Behavioural studies with immature animals provide a useful model for studying possible cognitive effects in children. Possible effects of pre- and post-natal exposure to ELF magnetic fields on the development of the nervous system and cognitive function should be studied. These studies could be usefully supplemented by investigations of the effects of exposure to ELF magnetic fields and induced electric fields on nerve cell growth using brain slices or cultured neurons.

There is a need to further investigate potential health consequences suggested by the considerable body of experimental data showing opioid and cholinergic responses in animals. Studies examining

the modulation of opioid and cholinergic responses in animals should be extended: the exposure parameters and the mechanistic biological basis for these behavioural responses should be defined.

1.2.5 Neuroendocrine system

The existing database on neuroendocrine response does not indicate that ELF exposure would have adverse impacts on human health. Therefore no recommendations for additional research are given.

1.2.6 Neurodegenerative disorders

Several studies have observed an increased risk of amyotrophic lateral sclerosis in 'electric occupations'. It is considered important to investigate this association further in order to find whether ELF magnetic fields are involved in the causation of this rare neurodegenerative disease. This research requires large prospective cohort studies with information on ELF magnetic field exposure, electric shock exposure as well as exposure to other potential risk factors.

It remains questionable whether ELF magnetic fields constitute a risk factor for Alzheimer's disease. The currently available data are not sufficient, and this association should be further investigated. Of particular importance is the use of morbidity rather than mortality data.

1.2.7 Cardiovascular disorders

Further research of the association between ELF magnetic fields and risk for cardiovascular disease is not considered a priority.

1.2.8 Immunology and haematology

Changes observed in immune and haematological parameters in adults exposed to ELF magnetic fields showed inconsistencies, and there are essentially no research data available for children. Therefore, it is recommended to conduct studies for effects of ELF exposure on the development of the immune and haematopoietic systems in children.

1.2.9 Reproduction and development

There is some evidence for an increased risk of miscarriage associated with ELF magnetic fields exposure. Taking into account the potentially high public health impact of such an association, further epidemiological and experimental research is recommended.

1.2.10 Cancer

Epidemiological data show an association between ELF magnetic field exposure and an increased risk of childhood leukaemia which is not supported by experimental and mechanistic data. Resolving this conflict is the highest research priority in this field. For new epidemiological studies to be informative they have to focus on new aspects of exposure, potential interacting factors and on high exposure groups, or otherwise be innovative in this area of research. In addition, it is also recommended that the existing pooled analyses be updated, by adding data from recent studies and by applying new insights on the analysis.

Childhood brain cancer studies have shown inconsistent results. As with childhood leukaemia, a pooled analysis of childhood brain cancer studies should be very informative and is therefore recommended. Such pooled analysis can inexpensively provide more and better insight into the existing data, including the possibility of selection bias, and, if the studies are sufficiently homogeneous, provide the best estimate of risk.

For adult breast cancer the more recent studies have convincingly shown no association with exposure to ELF magnetic fields. Therefore further research into this association is not recommended.

For adult leukaemia and brain cancer it is recommended to update the existing large cohorts of occupationally exposed individuals. Occupational studies and pooled and meta-analyses for leukaemia and brain cancer have been inconsistent and inconclusive. However, new data have subsequently been published and should be used to update these analyses.

It is a very high priority to support the epidemiological evidence by establishing an *in vitro* cell response or animal model response to ELF fields that is widely transferable between laboratories, if indeed such responses occur. Priority should be given to reported responses (i) for which there is at least some evidence of transferability, (ii) that are potentially relevant to carcinogenesis (e.g. genotoxicity), (iii) that are strong enough to allow mechanistic analysis and (iv) that occur in mammalian or human systems.

Transgenic mouse models for childhood leukaemia should be developed in order to provide appropriate experimental animal models to study the effect of ELF magnetic field exposure. Otherwise, for existing animal studies, the weight of evidence is that there are no carcinogenic effects of ELF magnetic fields alone. Therefore high priority should be given to studies in which ELF magnetic fields are rigorously evaluated as a co-carcinogen.

As a separate area of mechanistic investigation it would be of interest to take reported responses relevant to cancer (e.g. genotoxicity) at very high ELF magnetic fields and determine systematically the

field strength-response profile. These studies would establish whether the profiles are consistent with the theoretical predictions for the free radical mechanism.

1.2.10 Protective measures

Research on the development of health protection policies and policy implementation in areas of scientific uncertainty is recommended; specifically on the use of precaution, the interpretation of precaution and the evaluation of the impact of precautionary measures for ELF magnetic fields and other agents classified as “possible human carcinogens”. When uncertainties as to the potential health risk an agent imposes on society exist, precautionary measures may be warranted in order to ensure appropriate protection of the public and workers. Only limited research has been performed on this issue for ELF magnetic fields and more research is therefore necessary. This may assist countries to integrate precaution into their health protection policies.

Further research on risk perception and communication specifically focused on electromagnetic fields is advised. Psychological and sociological factors influencing risk perception in general have been widely investigated. However, limited research has been carried out to analyse the relative importance of these factors in the case of EMF, or to identify other factors that are specific to EMF. Recent studies have suggested that precautionary measures, conveying implicit risk messages, can modify risk perception by either increasing or reducing concerns. Deeper investigations in this area are therefore warranted.

Research on the development of cost-benefit/effectiveness analysis for mitigation of ELF magnetic fields should be carried out. The use of cost-benefit and cost-effectiveness analysis for evaluating whether a policy option is beneficial to society has been researched in many areas of public policy. The development of a framework that will identify which parameters are necessary in order to perform this analysis for ELF magnetic fields is needed. Due to uncertainties in the evaluation, quantifiable and unquantifiable parameters will need to be incorporated.

Hoogfrequente velden

Begin 2006 heeft de WHO onderstaande *2006 WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields* op zijn website gepubliceerd.

Introduction

In 1997, the WHO International EMF Project developed a Research Agenda in order to facilitate and coordinate research worldwide on the possible adverse health effects of electromagnetic fields (EMF). In subsequent years, this agenda has undergone periodic review and refinement.

In June 2003, a major update to the radiofrequency (RF) section of the Research Agenda was undertaken with the input of an ad hoc committee of invited scientific experts. Since then, several of the research needs have been addressed and a revision was therefore deemed necessary. Also, three specialized workshops* have been held since 2003, where research needs in the RF range were determined. These have been consolidated in October 2005, by an ad hoc committee of scientific experts, into the present RF Research Agenda, which supersedes all previous RF Research Agendas.

The specialized workshops pointed out the need for focused research on children especially regarding brain cancer and cognitive function. The workshop on EMF hypersensitivity (EHS) indicated that there should be further research to characterize EHS but did not recommend further studies on the relationship between EMF and EHS since, from the studies completed so far, there was no substantiated evidence for a causal relationship. Research on potential health effects from base station RF fields was deemed of low priority since studies of cancer risk related to such exposure are unlikely to be feasible and informative because of the difficulty of reconstructing adequately long-term historical exposures.

Researchers are encouraged to use the Research Agenda as a guide to studies that have high value for health risk assessments. To maximize the effectiveness of large research programs, government and industry funding agencies are encouraged to address the WHO Research Agenda in a coordinated fashion. Such coordination will minimize unnecessary duplication of effort and will ensure the most timely completion of the studies identified as being of high priority for health risk assessment.

The RF Research Agenda defines as “high priority” research whose results would contribute significantly to future health risk assessments of RF exposure. The document is ordered in successive sections according to the weight each research activity carries in human health risk assessment: epidemiology, laboratory studies in humans, animals, cellular systems, and mechanisms. It should be recognized that, whilst epidemiological and human laboratory studies directly address endpoints related to human health, cellular and animal studies are of value in assessing causality and biological plausibility. Dosimetry is considered separately, but is important for all research.

Research topics relating to social sciences are included for the first time in this Research Agenda because of the need to better understand the perception of risk from the general public and to better communicate on the RF and health issue.

* These workshops were “Sensitivity of children to EMF exposure” held in Istanbul, Turkey in June 2004, “EMF hypersensitivity” held in Prague, Czech Republic in October 2004; and “Base stations and wireless networks: Exposure and health” held in Geneva, Switzerland in June 2005.

In each section, a brief summary of ongoing research* is provided along with relevant overarching issues that should be kept in mind when designing and analysing experimental or epidemiological studies. Each research activity is given a priority as follows:

High priority research needs: Studies to fill important gaps in knowledge focused on health risk assessment that are needed to significantly reduce the uncertainty in the current scientific information.

Other research needs: Studies to better assist the understanding of the impacts of RF field exposure on health and that would contribute useful information to health risk assessment.

Guidelines regarding the quality of EMF research can be found at:

- www.who.int/peh-emf/research/agenda/en/index2.html
- www.icnirp.org/documents/philosophy.pdf (Appendix)

Epidemiology

Epidemiological studies are of primary importance in health risk assessment. A number of epidemiological studies of health effects of RF exposure are currently under way. They include:

- INTERPHONE – An international case-control study of brain tumours and tumours of the parotid gland is conducted in 13 countries. Some results of national analyses have been published and the international analyses are expected in 2006. Information about occupational exposures to RF fields has been collected within the study.
- An international cohort study of mobile phone users is starting with partial funding in a few European countries.
- Case-control studies of brain cancers in children and adolescents are being set up in some European countries.
- Development and pilot testing of a personal dosimeter for population-based assessment of exposure to RF fields in different frequencies (including base stations and mobile phones).
- A case control study of childhood cancer, nested within a cohort of children living near fixed sources (TV and radio towers) is under way in Germany, while a similar study around base stations is ongoing in the UK.
- In Australia, a cohort study will follow 13-year olds for 3 years and look for relations between their mobile phone usage patterns and a number of endpoints (such as cognitive and hearing function).

* More information regarding ongoing and recently completed studies is available on the WHO research database (<http://www.who.int/peh-emf/research/database/en/index.html>).

The INTERPHONE study is expected to provide key data in determining whether there is a relationship between mobile phone use and head and neck cancers. As a case-control study, it is very powerful for the study of rare diseases, such as brain tumours, since about 6000 cases were collected among persons aged 30-59 in 13 countries, covering a population of several million persons. This type of study allows the statistical power for rare diseases to be maximized at relatively low cost and to collect detailed information about exposure history and possible confounding factors. However, only pre-defined endpoints can be studied.

To alleviate this restriction, large-scale cohort studies can be conducted that allow the study of a wide range of health endpoints (e.g. brain and other cancers, and neurodegenerative diseases). Moreover, in a cohort study, new endpoints brought up by other research activities can be included even during the conduct of the study, and the effects of evolving technologies (e.g. digital, 3G, and new modulation patterns) can be naturally integrated (or tracked). Prospective cohort studies therefore provide a "surveillance" tool and have the advantages of avoiding the recall and selection biases common to case-control studies.

When planning epidemiological studies, investigators should consider international coordination and collaboration to maximize statistical power to estimate small risks and to evaluate the role of exposure patterns in different countries. Studies should focus not only on cancer but also on non-cancer endpoints (e.g. chronic diseases such as neurodegenerative diseases, sleep disturbances). Particular attention should be paid to the use of adequate estimates of exposure from all relevant sources.

High priority research needs:

- A large prospective longitudinal cohort study of mobile telephone users that includes incidence as well as mortality data.

Rationale: A prospective cohort study is being recommended to build on the results of case-control studies, such as the INTERPHONE study, which examines cell phone use for periods of < 10 years, and for which it is not possible to rule out health effects that might appear after a greater latency period or longer exposure.

The high priority given to the cohort study on adults reflects the recent findings from case-control studies indicating some risk increases for certain tumours, but where recall bias or selection bias may have affected the results. Non-cancer endpoints (e.g. sleep, headache) for adults are of interest because some studies have suggested these endpoints may be related, and because they can be evaluated concurrently in a cohort study.

Note: Though such a study is being established in Europe, it could be significantly strengthened by increasing the size of the cohort through broader international collaboration and additional funding.

- A large-scale multinational case-control study of brain cancer risk in children in relation to mobile phone use, following a feasibility study.

Rationale: Few relevant epidemiological or laboratory studies have addressed the possible effects of RF exposure on children [INTERPHONE study did not include children as the number of long term users among children at the start of the study was too low for such a study to be informative]. Because of widespread use of mobile phones among children and adolescents and relatively high exposures to the brain, investigation of the potential effects of RF fields on the development of childhood brain tumours is warranted. The uncertainty about the recent findings in adults also applies to children. Because brain cancer in young people is quite rare, a case-control study is recommended as the most appropriate and cost-effective approach.

Other research needs:

- Large-scale studies of subjects with high occupational RF exposure, including cohort studies as well as the use of the RF occupational exposure data within large scale existing case-control studies.

Rationale: Workers exposed to RF fields in some occupations receive high exposure levels (often to large areas of the body, and sometimes exceeding ICNIRP guidelines). Thus these populations may be well-suited to assess whether a health impact of RF exposure exists. However particular attention needs to be paid to the exposure metric.

- Prospective cohort study of children and adolescent mobile phone users and all health outcomes other than brain cancer such as cognitive effects and effects on sleep quality.

Rationale: Cognitive effects and other general health outcomes have been anecdotally reported in mobile phone users. These endpoints are critical for children because of the importance of cognitive abilities and learning in early development. The outcomes can be assessed in a prospective cohort study of children.

A separate study of children is necessary and cannot be combined with a cohort study on adults for several reasons. Both the endpoints and tools used would be different, so there would be no gain in coordinating the studies. A study on children and adolescents would focus on outcomes such as sleep, headaches etc., while a cohort study of adults would also include outcomes that are more common in older ages such as cancer, neurodegenerative disease, outcomes that cannot be studied in a young population unless the cohort is extremely large (not very efficient, and very costly). The tools (e.g. questionnaires) will also vary according to age and endpoints, and so would the recruitment of subjects (e.g. adults identified through subscriber lists and children through schools).

- Surveys to characterize population exposures from all RF sources.

Rationale: Such surveys need to be conducted as collaboration between epidemiologists, physicists and engineers. The studies should focus on the general population and should include for instance, the relative contribution of occupational and residential exposures, and the impact of age, gender and mobility. Regional variations also need to be assessed. These studies will inform the feasibility of future epidemiologic studies and, if appropriate, the proper design of residential epidemiological studies.

Human & Animal studies

Human studies

Human laboratory studies allow RF effects to be studied on humans with control of experimental parameters but are confined to investigations of acute transient effects.

Studies that were recently completed or are ongoing include:

- Effects of RF exposure on reaction times and on memory performance in children (two studies completed)
- Two studies on cognition and thermophysiology in adults (UK, Finland) and children (Australia, Finland)
- Several studies performed at Uppsala University in Sweden, on subjective symptoms, physiological reactions, alertness, performance and sleep
- A study on EEG, regional cerebral blood flow and sleep in adults in Switzerland
- Four studies on cognition and well-being in adults with and without self-reported symptoms, including replication of the TNO study, in the UK, Switzerland, Denmark and Japan
- Studies on hearing and auditory function in Finland, Germany, UK, Turkey, Italy, France, Russia, Poland, Greece, Lithuania and Japan
- Several studies in adults using the Tetra signal in the UK and Denmark
- EMF perception in adults by subjects with self-reported symptoms in Germany (completed).

When designing human laboratory studies of RF exposure, special consideration should be given to establish protocols that avoid design flaws that may have affected some published studies. The experimental design for human laboratory studies should also consider testing parameters such as volunteer age and the temporal pattern of exposure. Exposure should represent the worst case scenario (highest SARs) and be applied under double blind conditions. Possible heat or acoustic sensations from the exposure by subjects must be assessed and mitigated or eliminated. The setup design must be well characterized to ensure reproducible and quantifiable exposure.

High priority research needs:

- If ethical approval can be obtained, acute effects on cognition and EEGs should also be investigated in children exposed to RF fields in the laboratory.

Rationale: Possible RF effects on children were specifically raised by the UK's Independent Expert Group on Mobile Telephones (IEGMP, 2000) and the Istanbul WHO workshop (Kheifets et al. Pediatrics. 2005 116: 303-313). Cognitive effects are a priority research area in RF studies. However there are only a few results concerning RF effects on children.

Other research needs:

- None, awaiting the outcome of current human and animal studies.

Animal studies

Animal studies are used when it is unethical or impractical to perform studies on humans and have the advantage that experimental conditions can be rigorously controlled, even for chronic exposures.

There are many recently completed and ongoing studies, which include:

- Two large-scale rodent bioassay studies in Europe (Perform A), one from the U.S. (NIEHS) and one from Japan (completed or ongoing).
- One multigenerational study in Germany with multiple endpoints (ongoing).
- New and replication studies using rodent models of carcinogenicity and cocarcinogenicity (i.e., Pim1, DMBA, ENU) (completed or ongoing).
- Assessments of effects of GSM (published) and UMTS exposure on the inner ear of rats.
- Replication studies of effects on behaviour (e.g., maze performance) (published).
- Confirmation studies to Russian immune system studies that suggest an effect of RF exposure (ongoing).
- Studies to assess the reproducibility of published RF effects on the permeability of the blood-brain barrier and other neuropathologies (e.g. dark neurones) (ongoing).
- Study in Finland investigating the effects of prolonged exposure of young animals on the development of the CNS using behavioural and morphological endpoints (ongoing).
- There are many more ongoing projects on animals in the WHO database with immunological endpoints, with young animals, etc.

Where practical, animal studies should be designed to include information on the potential impact of animal age on RF responses (i.e. comparing foetus and juvenile to adult). The potential role of the exposure regimen (including intermittency, duration) should be considered in experimental design.

High priority research needs:

- Studies investigating effects from exposure of immature animals to RF fields on the development and maturation of the CNS, and on the development of the haemopoietic and immune systems using functional, morphological and molecular endpoints. Genotoxic endpoints should also be included. Experimental protocols should include prenatal and/or early postnatal exposure to RF fields.

Rationale: In both the UK's Independent Expert Group on Mobile Telephones (IEGMP, 2000) and the Istanbul WHO workshop (Kheifets et al. Pediatrics. 2005, 116: 303-313) the central nervous system (CNS), and the haemopoietic and immune systems were considered potentially the most susceptible of the various organs and tissues that continue to develop during childhood.

Other research needs:

- None, awaiting the outcome of ongoing animal studies.

Cellular studies and mechanisms

Cellular studies

Studies in tissues, living cells and cell-free systems play a supporting role in health risk assessments. Cellular model systems are excellent candidates for testing the plausibility of mechanistic hypotheses and investigating the ability of RF exposures to have synergistic effects with agents of known biological activity. They are critical to the optimal design of animal and epidemiology studies (e.g. cellular studies have the potential to identify clear responses to RF exposures and thus can be used in studies of new RF signals).

There are several recently completed or ongoing studies (genotoxicity, apoptosis, etc.) mostly reporting no effects. There have been a large variety of exposure and growth conditions which makes it difficult to compare the data. Most of the recent controversy is related to some genotoxicity investigations that are presently under replication.

A WHO co-sponsored workshop on Genomics and Proteomics was held in Helsinki in late 2005. It was noted that these methods can determine, on a genome-wide and proteome-wide scale, what biological responses may be induced by environmental stressors (e.g. EMF). However, these methods are still under development and are not relevant to evaluate or predict potential health risks. They may be used as a research tool to identify target molecules (genes, proteins) affected by EMF and to provide molecular end-points for formulation of research hypotheses.

High priority research needs

- Independent replication studies of recently reported findings on HSP and DNA damage using low level (below 2 W/kg) and/or modulation- or intermittency-specific signals. The dependence of the effects on SAR levels and frequency should be included.

Rationale: The most useful contribution of in vitro studies is to establish whether there are any reproducible biological effects at low level that are signal and/or cell specific, especially those relevant to cancer (e.g. genotoxicity) or affecting the nervous system. Therefore, in view of some recently published results (e.g. REFLEX), there is a need to ascertain the validity of the findings, possibly via a multicentre study.

Other research needs

- Studies of RF effects on cell differentiation, e.g., during haemopoiesis in bone marrow, and on nerve cell growth using brain slices/cultured neurons.

Rationale: Cancer cells are generally locked into a rapidly dividing and relatively undifferentiated state. The possibility that haemopoietic and/or neuronal tissue might show an abnormal growth response to RF exposure would be important because of lack of investigation in this area.

Mechanisms

The only established mechanisms that relate to health consequences are caused by temperature elevation and induction of electric currents and fields. Other mechanisms exist but there is no evidence that they lead to any health effects.

There are a few ongoing experimental projects on mechanisms. One is exploring the possibility that biological components exist whose response to RF is sufficiently non-linear to demodulate RF signals and hence produce ELF electrical currents. This could be significant if it occurred in the central nervous system (Universities of Bradford and Maryland, and the UK Health Protection Agency). Others are exploring the movement of subcellular calcium ions. There has also been recent theoretical interest in a number of areas. These include the possibility that RF could affect the concentration of free radicals through the radical pair mechanism, excite molecular vibrations or modify the conformation of proteins.

High priority research needs

- None, awaiting the outcome of ongoing studies.
-

Dosimetry

Expert dosimetric support for experimental studies of all types is critical to their proper design and interpretation.

- Research is active in designing free-running animal exposure systems to ensure that the large scale, rodent bioassay studies, when taken collectively, are able to optimally address the requirements for signal intensities and amount of time per day that the animals are RF exposed.
- Several ongoing studies are adding to the database of dielectric properties of tissues to include age dependency and therefore improving the quality of the numerical modelling.
- Modelling of SAR distribution in children and pregnant women is also being pursued in many countries.

High priority research needs

- Research is needed to document rapidly changing patterns of wireless communication usage and exposure of different parts of the body (especially for children and foetuses), including multiple exposure from several sources.

Rationale: Experimental exposure conditions need to be based on information gathered from exposure surveys (in contrast to simple source evaluations), especially for children. Little information on individuals' exposure in the general population is available which makes it problematic to estimate the exposure from all radio frequency emitting sources. Due to advancing wireless communication technology, communication devices used in close proximity to the body are getting popular in the general public including children and pregnant women; however dosimetry of different parts of the body in each organ is still limited.

- Further work on dosimetric models of children of different ages and of pregnant women. Improvement in dosimetric models of RF energy deposition in animals and humans combined with appropriate models of the human thermoregulatory responses (e.g. inner ear, head, eye, trunk, embryo, and foetus).

Rationale: The relationship between SAR and temperature elevation should be better modelled to predict potential hazards associated with specific RF exposure conditions and improve the quality of the exposure systems.

Other research needs

- Micro-dosimetry research (i.e., at the cellular or subcellular levels) that may yield new insights concerning biologically relevant targets of RF exposure.

Rationale: Little is known about the field distribution at the micro-scale and consequences of non-uniformity of fields on sub-cellular structures and molecules in terms of mechanisms of bioeffects.

Social issues

There are public concerns about possible adverse health effects of RF fields from mobile communications technology. These concerns influence risk management and public acceptance of scientific health risk assessments. Rational risk management should build on evidence stemming from both scientific risk assessments and insights from social studies that investigate this concern through well formulated research.

Relatively few studies exist on RF risk perception and risk communication. The published studies have investigated impacts of risk management and risk communication strategies on conflict resolution, individual risk perception, including risk ratings, perceptions of policy measures (e.g. precautionary principle), and social and psychological determinants of risk perception. Current research includes:

- National surveys on the perception and evaluation of RF risks by the general public (ongoing in several countries)
- Comparative analyses of national risk perception and risk regulation surveys
- Investigations into the determinants that drive risk perceptions, including studies on the role of scientific evidence and scientific uncertainty
- Cognitive mapping of beliefs and attitudes associated with RF risk appraisals
- Assessment of stakeholder participation strategies and risk communication strategies for conflict management.

All the studies described below are needed and no specific priority is given.

- Risk perception of individuals, including studies on the formation of beliefs and perceptions about the relationship between RF exposure and health.

Rationale: To adequately communicate research results, and to contribute to an informed public debate about RF exposure and health, more knowledge about the prevalence of perception patterns, and the concerns shaping these patterns and their diffusion, is needed.

- Studies that analyse, if possible, in an international perspective, conditions of trust and confidence of stakeholders and the general public in technologies, policies, and risk communication and management strategies associated with RF applications.

Rationale: This would contribute to a general framework of analysis that helps to understand the responses of various stakeholders and experts to public concerns and to increase the effectiveness of communications, and institutional responses to those concerns.

- Assess impacts of precautionary measures on public concern and the adoption of voluntary or mandatory policies.

Rationale: There is scientific evidence that precautionary measures can increase public concern. This evidence is preliminary and needs to be confirmed. In addition, studies should investigate the relevant motives and mechanisms in order to enhance our understanding about impacts of precautionary measures on policy.

- Assess the role of health definitions (well-being) and other important concepts in RF risk communication on risk perception and risk management policies.

Rationale: In order to effectively inform stakeholders, and society at large, there is a need to tune the relevant information to target groups. There is an urgent need to know what role key concepts routinely used in RF risk communication (e.g. “well-being”, “significance”, etc.) play and their relevance for risk perception and risk framing.

- Quantify the health related beneficial effects of wireless communication.

Rationale: An informed health assessment has to value both possible health risks as well as health opportunities associated with wireless communication (e.g. increased security, decreased feelings of anxiety, etc.).

- Evaluate the success of programmes for public and stakeholder participation in various countries.

Rationale: In order to increase trust in national and international risk management, citizens and stakeholder involvement in risk management has to be secured. In Europe, such programs could be carried out in association with the European program Trustnet.

Toelichting epidemiologisch onderzoek

Cohortonderzoek

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

Een cohortonderzoek kan prospectief of retrospectief zijn. Bij een prospectief onderzoek worden vanaf het moment van samenstellen de groepen gedurende een bepaalde tijd (vaak vele tientallen jaren) gevolgd. Een voordeel van prospectief cohortonderzoek is dat de blootstelling is vastgesteld vóórdát de ziekte optreedt. Een nadeel is, dat het doorgaans geruime tijd duurt voordat resultaten beschikbaar zijn, met name als de onderzochte ziekte(s) een lange latentietijd hebben.

Bij een retrospectief onderzoek wordt gekeken wat de blootstelling en het optreden van ziekte vanaf een bepaalde tijd in het verleden tot aan het moment van onderzoek zijn geweest. Een belangrijk nadeel hierbij is dat bepaling van de blootstelling in het verleden onnauwkeurig is, net als bij patiënt-controle onderzoeken.

Cohortonderzoeken zijn minder geschikt voor het bestuderen van zeldzame aandoeningen.

Patiënt-controle onderzoek

In een patiënt-controle onderzoek wordt een groep personen die aan een bepaalde ziekte lijden vergeleken met een groep controlepersonen die de ziekte niet hebben, maar die in zoveel mogelijk andere opzichten gelijk zijn aan de patiënten. Vervolgens wordt onderzocht of in een relevante periode in het verleden de blootstelling aan een bepaalde factor tussen beide groepen verschilde. Is dat het geval, dan is dat een aanwijzing dat die factor een mogelijke oorzaak van de ziekte is.

Een belangrijk nadeel van dergelijk onderzoek is, dat het vaststellen van de blootstelling achteraf, dus na het optreden van de ziekte, plaatsvindt, hetgeen met vele onzekerheden gepaard gaat. Verder is er vaak ook een groot verschil in de percentages patiënten en controlepersonen die aan het onderzoek mee wil werken; de bereidheid daartoe van controles is doorgaans lager.