
Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz)

Aanbiedingsbrief

Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz)

aan:

de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

de Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport

de Minister van Economische Zaken

de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid

de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat

Nr 2000/6, Den Haag, 7 maart 2000

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

Gezondheidsraad. Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/6.

Preferred citation:

Health Council of the Netherlands: ELF Electromagnetic Fields Committee. Exposure to electromagnetic fields (0 Hz - 10 MHz). The Hague: Health Council of the Netherlands, 2000; publication no. 2000/6.

auteursrecht voorbehouden

all rights reserved

ISBN: 90-5549-309-0

Inhoud

Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 9

Executive summary 15

1 Inleiding 21

1.1 Voorgeschiedenis 21

1.2 Strekking van dit advies 23

1.3 Werkwijze 23

2 Kortetermijneffecten 25

2.1 Begrippenkader 25

2.2 Basisbeperkingen 29

2.3 Referentieniveaus 36

2.4 Blootstelling aan meerdere frequenties 42

3 Langetermijneffecten 45

3.1 Experimenteel onderzoek 46

3.2 Epidemiologisch onderzoek 47

3.3 Conclusies 53

Literatuur 55

Bijlagen 61

A De commissie 63

B Termen en begrippen 65

C Vergelijking met ICNIRP aanbevelingen 73

Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Extreem laagfrequente elektromagnetische velden kunnen invloed hebben op het menselijk lichaam. In 1992 heeft de Gezondheidsraad daarom een advies uitgebracht met voorstellen om blootstelling aan dergelijke velden te beperken. De voorgestelde blootstellingslimieten hadden alleen betrekking op de met de elektriciteitsvoorziening samenhangende 50 Hz velden en waren gebaseerd op kortetermijneffecten. Voor het bestaan van langetermijneffecten, met name het opwekken van bepaalde vormen van kanker, waren er volgens het toenmalige advies onvoldoende wetenschappelijke aanwijzingen. Geregeld terugkerende discussies in de maatschappij en voortschrijdend wetenschappelijk inzicht maken thans een herziening van het advies uit 1992 gewenst.

In het voorliggende advies toetst een commissie van de Gezondheidsraad de nu beschikbare wetenschappelijke gegevens aan een aantal criteria. Indien, afhankelijk van het type onderzoek, aan een of meer van deze criteria niet is voldaan, zijn de betreffende gegevens niet in de verdere analyse betrokken. Dit geldt voor zowel de gegevens over kortetermijn- als die over langetermijneffecten. De commissie kan, met de beschikbare gegevens en ingevolge bovenstaand uitgangspunt, haar aanbevelingen voor blootstellingslimieten uitsluitend op kortetermijneffecten baseren.

Kortetermijneffecten

De commissie maakt een onderscheid tussen beroepsmatig blootgestelden en de algemene bevolking. Voor de eerstgenoemde groep zijn de blootstellingslimieten hoger dan die voor de algemene bevolking. Dit vloeit voort uit het hanteren van veiligheidsfactoren

ten opzichte van de blootstellingsniveaus waarboven gezondheidsschade zou kunnen ontstaan. Die veiligheidsfactoren zijn voor de algemene bevolking vijfmaal groter dan voor beroepsmatig blootgestelden. De commissie rekent echter niet iedereen die in het kader van zijn werkzaamheden blootgesteld kan worden tot laatstgenoemde categorie. Alleen op werknemers die bekend zijn met de risico's en met maatregelen om die te beperken, zijn de hogere blootstellingsniveaus van toepassing.

De eigenlijke blootstellingslimieten worden 'basisbeperkingen' genoemd. Basisbeperkingen zijn maximale waarden voor elektromagnetische fenomenen die in het lichaam voor de gezondheid negatieve effecten teweeg kunnen brengen. Welk fenomeen dit is, hangt af van de frequentie van het elektromagnetische veld. Voor statische velden gaat het om de sterkte van het elektrische of magnetische veld. Er is overigens geen scherpe grens tussen statische en wisselvelden. De commissie kiest hiervoor de frequentie 1 Hz. Voor wisselvelden met frequenties tot circa 10 MHz is de in het lichaam geïnduceerde stroomdichtheid van belang. Bij frequenties vanaf circa 100 kHz speelt de omzetting van elektromagnetische energie in warmte de belangrijkste rol (tussen 100 kHz en 10 MHz zijn zowel de stroomdichtheid als de warmteopname van belang). Dit advies betreft voornamelijk frequenties waarvoor de basisbeperkingen worden uitgedrukt in de stroomdichtheid. Bij het vaststellen van de basisbeperkingen neemt de commissie bepaalde veiligheidsmarges in acht, onder meer vanwege onzekerheden en onvolledigheden in de wetenschappelijke kennis en een mogelijk grotere gevoeligheid van bepaalde bevolkingsgroepen, zoals zieken, ouderen en jonge kinderen.

Omdat de stroomdichtheid in het lichaam in de praktijk niet te meten is, heeft de commissie uitgaande van de basisbeperkingen waarden berekend voor grootheden die wel eenvoudig te meten zijn: de sterkte van het ongestoorde elektrische en magnetische veld ter plaatse van de blootstelling. Deze afgeleide waarden noemt zij 'referentieniveaus'. Zij zijn te beschouwen als hulpmiddel bij het vaststellen of aan de basisbeperkingen wordt voldaan. Indien de veldsterktes niet hoger zijn dan deze referentieniveaus, worden de basisbeperkingen niet overschreden. Zijn de veldsterktes wel hoger dan de referentieniveaus, dan dient onderzocht te worden of de basisbeperkingen overschreden worden. Overigens zijn, mede vanwege de toegepaste veiligheidsmarges, de basisbeperkingen (en daarmee ook de referentieniveaus) niet te beschouwen als een scherpe grens tussen hoge, potentieel gevaarlijke en lage, intrinsiek ongevaarlijke veldsterktes. Zij geven veeleer aan dat, wanneer zij niet worden overschreden, de kans op gezondheidsschade verwaarloosbaar klein is, terwijl bij overschrijding nader onderzoek dient plaats te vinden of de blootstellingssituatie gezondheidsproblemen kan opleveren.

De invloed van een in het lichaam geïnduceerde elektrische stroom is te beschouwen als een direct effect van de wisselwerking tussen het elektrisch en magnetisch veld en het lichaam. De commissie heeft bij het opstellen van de blootstellingslimieten ook rekening gehouden met het mogelijk optreden van indirecte effecten. Deze kunnen zich

voordoen wanneer ten gevolge van blootstelling aan een elektrisch veld een potentiaalverschil ontstaat tussen een organisme en een (groot) object. Dat kan bijvoorbeeld het geval zijn als een dergelijk object niet geaard is. Bij aanraking door een organisme dat wel contact met de aarde heeft, zal er een ontladingsstroom lopen. Bij hoge potentiaalverschillen zijn zelfs vonkontladingen mogelijk.

De commissie geeft geen blootstellingslimieten voor statische elektrische velden. Zelfs bij zeer hoge veldsterktes zijn geen negatieve effecten op de gezondheid gevonden. Voor statische magnetische velden is geen concreet biologisch effect aan te geven waarop limitering van blootstelling gebaseerd kan worden. De commissie stelt als maximum bij kortdurende pieken in de blootstelling een magnetische veldsterkte voor, waarboven biologische effecten zijn aangetoond, evenals hinderlijke effecten (zoals misselijkheid en duizeligheid) bij mensen die zich in het veld bewegen. Bij blootstelling van alleen ledematen is een hogere maximale veldsterkte toelaatbaar. Voor continue blootstelling hanteert de commissie veiligheidsfactoren, vanwege de relatief schaarse en deels tegenstrijdige wetenschappelijke gegevens. De aanbevelingen van de commissie zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1 Basisbeperkingen voor blootstelling aan statische magnetische velden.

	magnetische veldsterkte (mT)	
	beroepsmatig blootgestelden	algemene bevolking
continue blootstelling	200	40
piekblootstelling	2 000	
piekblootstelling, alleen ledematen	5 000	

De basisbeperkingen voor blootstelling aan wisselvelden zijn gebaseerd op het voorkomen van twee onderscheiden biologische effecten. Voor het frequentiegebied tot circa 200 Hz zijn fosfenen van belang. Dit zijn lichtvlekken of flitsen die waargenomen worden als gevolg van directe stimulatie van het netvlies door elektrische stroom. Het zijn op zich ongevaarlijke verschijnselen die na het wegnemen van de oorzakelijke factor vanzelf weer snel (in het algemeen binnen een uur) verdwijnen. Het optreden van fosfenen kan echter hinder en schrikreacties veroorzaken. Bij frequenties van enkele Hz tot circa 10 MHz kan stimulatie van zenuwen optreden. Bij hoge stroomdichtheid in de hartstreek kan dit leiden tot hartkamerfibrillatie.

Rekening houdend met deze beide verschijnselen en met inachtneming van veiligheidsfactoren, komt de commissie voor wisselvelden tot de basisbeperkingen zoals gegeven in tabel 2.

Uit deze basisbeperkingen, en rekening houdend met het mogelijk optreden van indirecte effecten, heeft de commissie referentieniveaus berekend. Deze zijn, voor situaties waarin het gehele lichaam wordt blootgesteld, vermeld in de tabellen 3 en 4.

Tabel 2 Basisbeperkingen voor het frequentiegebied van 1 Hz tot 10 MHz.

frequentie	stroomdichtheid (mA/m ²)				
	beroepsmatig blootgestelden		algemene bevolking		
	lichaam, hoofd ^a	lichaam, deels ^b	lichaam, hoofd ^a	lichaam, deels ^b	
1 - 20 Hz	10	100	2	20	
20 - 200 Hz	$0,5 \times f$	100	$0,1 \times f$	20	frequentie f in Hz
200 Hz - 4 kHz	100	100	20	20	
4 kHz - 10 MHz	$25\,000 \times f$	$25\,000 \times f$	$5\,000 \times f$	$5\,000 \times f$	frequentie f in MHz

^a lichaam, hoofd: lichaam geheel of gedeeltelijk blootgesteld, inbegrepen het hoofd

^b lichaam, deels: lichaam gedeeltelijk blootgesteld, hoofd niet inbegrepen

Wanneer de blootstelling zich beperkt tot lichaamsdelen, kunnen vaak hogere referentieniveaus voor het magnetisch veld worden berekend. De commissie geeft daarvoor aparte aanbevelingen. Tot slot geeft zij ook nog formules waarmee in geval van gelijktijdige blootstelling aan meerdere frequenties nagegaan kan worden of de basisbeperkin-

Tabel 3 Referentieniveaus voor het externe elektrische veld (V/m).

frequentie	beroepsmatig blootgestelden		indirecte effecten mogelijk	algemene bevolking	
	indirecte effecten niet mogelijk				
	lichaam, hoofd ^a	lichaam, deels ^b			
1 Hz - 20 Hz	$125 \times 10^4 / f$	$12,5 \times 10^6 / f$	$125 \times 10^4 / f$	$25 \times 10^4 / f$	f in Hz
20 Hz - 32 Hz	62 500	$12,5 \times 10^6 / f$	62 500	12 500	f in Hz
32 Hz - 200 Hz	62 500	$12,5 \times 10^6 / f$	$200 \times 10^4 / f$	$40 \times 10^4 / f$	f in Hz
0,2 kHz - 4 kHz	$1,25 \times 10^4 / f$	$1,25 \times 10^4 / f$	$2\,000 / f$	$400 / f$	f in kHz
4 kHz - 1 MHz	3 125	3 125	500	100	
1 MHz - 10 MHz	$3\,125 \times f^{-1,71}$	$3\,125 \times f^{-1,71}$	$500 \times f^{-0,91}$	$100 \times f^{-0,55}$	f in MHz

^a lichaam, hoofd: lichaam geheel of gedeeltelijk blootgesteld, inbegrepen het hoofd

^b lichaam, deels: lichaam gedeeltelijk blootgesteld, hoofd niet inbegrepen

gen niet worden overschreden.

Tabel 4 Referentieniveaus voor de sterkte van het externe magnetische veld.

frequentie	magnetische fluxdichtheid (μT)		magnetische veldsterkte (A/m)		
	beroepsmatig blootgestelden	algemene bevolking	beroepsmatig blootgestelden	algemene bevolking	
< 1 Hz	200 000	40 000			
1 - 20 Hz	12 000 / f	2 400 / f	9 550 / f	1 910 / f	f in Hz
20 - 200 Hz	600	120	477	95,5	
0,2 - 4 kHz	120 / f	24 / f	95,5 / f	19,1 / f	f in kHz
4 - 67 kHz	30	6	23,9	4,8	
67 - 153 kHz	2 000 / f	6	1 590 / f	4,8	f in kHz
0,153 - 10 MHz	2,0 / f	0,92 / f	1,6 / f	0,73 / f	f in MHz

Langetermijneffecten

De commissie beperkt haar beschouwing over langetermijneffecten tot de gegevens over de frequenties van de elektriciteitsvoorziening, 50 en 60 Hz. Deze worden gerekend tot de extreem lage frequenties (ELF).

Het fundamentele *in vitro*- en *in vivo*-onderzoek heeft de afgelopen jaren slechts weinig nieuwe inzichten opgeleverd over een mogelijk mechanisme dat ten grondslag kan liggen aan biologische effecten op lange termijn van blootstelling aan ELF elektromagnetische velden. Er zijn verscheidene mechanismen geopperd, maar geen daarvan is plausibel.

De bezorgdheid die met enige regelmaat geuit wordt ten aanzien van mogelijke gevaren van blootstelling aan ELF elektromagnetische velden is in vrijwel alle gevallen gebaseerd op uitkomsten van epidemiologisch onderzoek. De commissie vindt dat de kwaliteit van dat epidemiologisch onderzoek sinds het uitbrengen van het advies in 1992 aanzienlijk is verbeterd. Toch heeft het niet geleid tot éénduidige, wetenschappelijk betrouwbare conclusies.

Epidemiologisch onderzoek heeft voor het merendeel van de onderzochte ziekten en aandoeningen geen aanwijzingen geleverd voor een relatie met blootstelling aan ELF elektromagnetische velden bij de relatief lage veldsterktes die in de woon- of werkomgeving vóórkomen. Wel zijn er epidemiologische gegevens die wijzen op een redelijk consistente associatie, dat wil zeggen een statistisch significant verband, tussen wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen en een, overigens geringe, verhoging van het vóórkomen van leukemie bij kinderen. Eveneens is er in de ogen van de commissie een tamelijk consistente associatie tussen beroepsmatige werkzaamheden waarbij blootstelling aan ELF elektromagnetische velden plaatsvindt en het vóórkomen

van chronische lymfatische leukemie en, in mindere mate, leukemie in het algemeen en hersentumoren bij volwassenen. De consistentie van deze associaties is echter minder sterk dan die bij leukemie bij kinderen. Uit de resultaten van deze epidemiologische onderzoeken, zowel die bij kinderen als bij volwassenen, is echter geen oorzakelijk verband vast te stellen tussen de gevonden effecten en blootstelling aan ELF elektromagnetische velden of aan enige andere factor.

Ook uit de veelheid van experimenteel onderzoek komen geen aanwijzingen voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan ELF elektromagnetische velden en het optreden van enigerlei vorm van kanker. Evenmin heeft dit onderzoek aanwijzingen gegeven voor enig plausibel biologisch mechanisme dat een dergelijk verband bij de mens zou kunnen verklaren. Er is dus geen verklaring voor de in het epidemiologisch onderzoek gevonden associaties. Het is mogelijk dat een of meer andere factoren dan blootstelling aan ELF elektromagnetische velden verantwoordelijk zijn voor de gevonden associaties. Welke dit zouden kunnen zijn en of ze ook in Nederland in dit verband een rol spelen, is onbekend.

De commissie komt tot de slotsom dat niet is aangetoond dat blootstelling aan elektrische of magnetische velden afkomstig van het elektriciteitstransport- en distributiesysteem, bij veldsterktes lager dan de voor kortetermijneffecten opgestelde blootstellingslimieten, enigerlei ziekte of afwijking veroorzaakt. Zij meent dat er op grond van de huidige, in dit advies beschreven wetenschappelijke inzichten geen reden is om te adviseren maatregelen te nemen om het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen of het werken onder omstandigheden met een verhoogde, maar onder de limieten blijvende blootstelling aan ELF elektromagnetische velden te beperken. Zij beveelt wel aan om de wetenschappelijke ontwikkelingen op dit gebied te blijven volgen.

Executive summary

Health Council of the Netherlands: ELF Electromagnetic Fields Committee. Exposure to electromagnetic fields (0 Hz - 10 MHz). The Hague: Health Council of the Netherlands, 2000; publication no. 2000/6

Extremely low frequency electromagnetic fields can influence the human body. In 1992 the Health Council therefore issued an advisory report containing proposals designed to limit exposure to fields of this type. The limits of exposure proposed in that report related only to the 50 Hz fields associated with the electricity supply and were based on short-term effects. According to the report, there was insufficient scientific evidence of the existence of long-term effects, and in particular the induction of certain forms of cancer. Due to continuing public discussions and advances in scientific understanding, a revision of the 1992 advisory report is now desirable.

In the present advisory report, a committee of the Health Council of the Netherlands has tested the scientific data against a number of criteria. Depending on the type of research involved, if one or more of these criteria is not fulfilled then the respective data is not included in the subsequent analysis. This applies both to the data on short-term effects and that on long-term effects. With the available data and based on these considerations, the committee is only able to base its recommendations for exposure limits on short-term effects.

Short-term effects

The Committee draws a distinction between those subjected to occupational exposure and the general population. The limits for the former group are higher than those for the population as a whole. This results from the application of safety factors to the exposure levels above which health impairment could occur. Those safety factors are

five times higher for the general population than for those subjected to occupational exposure. However, the committee does not include everybody who might be exposed in the course of their work in the latter category. The higher levels of exposure apply only to workers who are familiar with the risks and with steps that can be taken to limit them.

The actual exposure limits are called 'basic restrictions'. These are maximum values for electromagnetic phenomena which in the body can have negative effects on health. Precisely which phenomenon is involved depends on the frequency of the electromagnetic field. In the case of static fields, what matters is the strength of the electric or magnetic field. It should be noted that there is no sharp boundary between static and alternating fields. For this purpose, the committee chooses the frequency of 1 Hz. For alternating fields with frequencies up to around 10 MHz, the density of the current that is induced in the body is important. For frequencies upwards of around 100 kHz, the key factor is the conversion of electromagnetic energy into heat (between 100 kHz and 10 MHz, both current density and heat absorption are important). This advisory report relates mainly to frequencies at which the basic restrictions are expressed as current density. In establishing the basic restrictions, the committee applies certain safety limits. This is done, among other things, because of uncertainties in and incompleteness of scientific knowledge and a possible higher sensitivity of certain populations groups, e.g., diseased people, elderly and young children.

Because the current density in the body cannot in practice be measured, the committee has derived values from the basic restrictions for parameters which are, in fact, easy to measure, namely the strength of the undisturbed electric and magnetic field at the exposure site. It calls these derived values 'reference levels'. They can be considered as tools in establishing compliance with the basic restrictions. If the field strengths are not higher than these reference levels, the basic restrictions are not being exceeded. If, on the other hand, the field strengths are higher than the reference levels, then it is necessary to investigate whether the basic restrictions are being exceeded. It should be noted that, partly because of the applied safety margins, the basic restrictions (and therefore also the reference levels) cannot be regarded as representing a sharp boundary between high, potentially dangerous and low, intrinsically safe field strengths. What they do tend to indicate is that, if they are not exceeded, the risk for adverse health effects is negligible, but if they are exceeded, it is necessary to investigate whether the resultant exposure could give rise to health problems.

The influence of current that is induced in the body is to be regarded as a direct effect of the interaction between electric and magnetic fields and the body. In formulating the exposure limits, the committee has also taken into account the possible occurrence of indirect effects. These can occur if, as a result of exposure to an electric field, a potential difference arises between an organism and a (large) object. This might

be the case, for example, if such an object is not earthed. If it is being touched by an organism that is in contact with the earth, a discharge current will be generated. In the case of high potential differences, it is even possible for spark discharges to occur.

The committee is not issuing any exposure limits for static electric fields. Even in the case of extremely high field strengths, no negative health effects have been discovered. For static magnetic fields it is not possible to indicate a distinct biological effect on which limitation of exposure can be based. As a maximum for short peaks in exposure the committee proposes a magnetic field strength above which biological effects have been demonstrated, as well as unpleasant effects such as nausea and dizziness in individuals who move within the field. In the case of exposure of extremities only, a higher maximum field strength is permissible. For continuous exposure, the committee uses safety factors on account of the relatively scarce and sometimes contradictory scientific data. The committee's recommendations are summarized in Table 1.

Table 1 Basic restrictions for exposure to static magnetic fields.

	magnetic field strength (mT)	
	occupational exposure	general population
continuous exposure	200	40
peak exposure	2 000	
peak exposure, extremities only	5 000	

The basic restrictions for exposure to alternating fields have been based on the prevention of two distinct biological effects. For the frequency range up to around 200 Hz, phosphenes are important. These are spots or flashes of light which are perceived via direct stimulation of the retina by electrical current. They are, in themselves, harmless phenomena which disappear of their own accord a short time (generally within an hour) after the removal of the causative factor. The occurrence of phosphenes can, however, be disturbing and cause startling reactions. At frequencies ranging from a few Hz to around 10 MHz, stimulation of nerves can occur. In the case of high current density in the heart region, this can lead to ventricular fibrillation.

Taking these two phenomena into account and applying the safety factors, the committee arrives at the basic restrictions for alternating fields as given in Table 2.

Table 2 Basic restrictions for the frequency range of 1 Hz to 10 MHz.

frequency	current density (mA/m ²)				
	occupational exposure		general population		
	body, head ^a	body, partly ^b	body, head ^a	body, partly ^b	
1 - 20 Hz	10	100	2	20	
20 - 200 Hz	$0.5 \times f$	100	$0.1 \times f$	20	frequency f in Hz
200 Hz - 4 kHz	100	100	20	20	
4 kHz - 10 MHz	$25\,000 \times f$	$25\,000 \times f$	$5\,000 \times f$	$5\,000 \times f$	frequency f in MHz

^a body, head: body completely or partly exposed, with head included

^b body, partly: body partly exposed, head not included

From these basic restrictions, and taking into account the possible occurrence of indirect effects, the committee has calculated reference levels. These are given in Table 3 and 4 for situations in which the entire body is exposed.

Table 3 Reference levels for the external electric field (V/m).

frequency	occupational exposure		indirect effects possible	general population	
	indirect effects not possible				
	body, head ^a	body, partly ^b			
1 Hz - 20 Hz	$125 \times 10^4 / f$	$12.5 \times 10^6 / f$	$125 \times 10^4 / f$	$25 \times 10^4 / f$	f in Hz
20 Hz - 32 Hz	62 500	$12.5 \times 10^6 / f$	62 500	12 500	f in Hz
32 Hz - 200 Hz	62 500	$12.5 \times 10^6 / f$	$200 \times 10^4 / f$	$40 \times 10^4 / f$	f in Hz
0,2 kHz - 4 kHz	$1.25 \times 10^4 / f$	$1.25 \times 10^4 / f$	$2\,000 / f$	$400 / f$	f in kHz
4 kHz - 1 MHz	3 125	3 125	500	100	
1 MHz - 10 MHz	$3\,125 \times f^{-1.71}$	$3\,125 \times f^{-1.71}$	$500 \times f^{-0.91}$	$100 \times f^{-0.55}$	f in MHz

^a body, head: body completely or partly exposed, with head included

^b body, partly: body partly exposed, head not included

Table 4 Reference levels for the external magnetic field strength.

frequency	magnetic fluxdensity (μT)		magnetic field strength (A/m)		
	occupational exposure	general population	occupational exposure	general population	
< 1 Hz	200 000	40 000			
1 - 20 Hz	12 000 / f	2 400 / f	9 550 / f	1 910 / f	f in Hz
20 - 200 Hz	600	120	477	95,5	
0,2 - 4 kHz	120 / f	24 / f	95.5 / f	19.1 / f	f in kHz
4 - 67 kHz	30	6	23,9	4,8	
67 - 153 kHz	2 000 / f	6	1 590 / f	4,8	f in kHz
0,153 - 10 MHz	2.0 / f	0.92 / f	1.6 / f	0.73 / f	f in MHz

If the exposure is limited to parts of the body, higher reference levels can usually be calculated for the magnetic field. Separate proposals are given for such situations. Finally, the committee provides formulas with which, in the case of simultaneous exposure to multiple frequencies, it is possible to calculate whether or not the basic restrictions are being exceeded.

Long-term effects

With regard to long-term effects, the committee limits its discussion to the data concerning the frequencies used in the electricity supply, 50 and 60 Hz. These fall within the range of the extremely low frequencies (ELF).

In recent years the basic *in vitro* and *in vivo* research has afforded few new insights into a possible mechanism which could form the basis for long-term biological effects of exposure to ELF electromagnetic fields. Several mechanisms have been proposed, but none is deemed plausible.

The concerns that are regularly voiced with regard to possible dangers of exposure to ELF electromagnetic fields are, in virtually every case, based on results of epidemiological research. The committee thinks that the quality of the relevant epidemiological research has improved considerably since the publication of the advisory report in 1992. Even so, this research has not resulted in unequivocal, scientifically reliable conclusions.

For the majority of the diseases and health problems that have been investigated, epidemiological research has not resulted in any evidence of a connection with environmental exposure to ELF electromagnetic fields. However, some epidemiological data points to a reasonably consistent association, that is, a statistically significant

relation, between residence in the vicinity of overhead power lines and an, otherwise slight, increase in the incidence of childhood leukaemia. According to the committee, a fairly consistent association has likewise been found between occupations in which exposure to ELF electromagnetic fields takes place and the incidence of chronic lymphatic leukaemia and, to a lesser extent, leukaemia in general and brain tumours in adults. However, the consistency of these associations is even less than that observed with childhood leukaemia. The results of these epidemiological studies, both in children and adults, do not allow the establishment of a causal relationship between the observed effects and exposure to ELF EM fields or any other factor.

Also the large body of experimental research has failed to produce any evidence of a causal relationship between exposure to ELF EM fields and the occurrence of any form of cancer. Moreover, experimental research has not identified any plausible biological mechanism that might explain a causal link in humans. The question of how to explain the associations that have been identified in epidemiological research therefore remains open. It is possible that one or more factors other than EMF EM field exposure are responsible for the observed associations. The nature of such factors and whether in this context they also play a role in the Netherlands is not known.

The committee arrives at the conclusion that it has not been demonstrated that exposure to electric or magnetic fields originating from the electricity transmission and distribution system at field strengths below the limits of exposure that have been established for short-term effects, induces any kind of disease or abnormality. It feels that, on the basis of the current scientific understanding described in this report, there is no reason to recommend measures to limit living near overhead power lines or working under conditions involving ELF EM field exposure that is increased, but not exceeding the exposure limits. The committee does recommend to continue following the scientific developments in this field.

Inleiding

1.1 Voorgeschiedenis

In 1992 heeft de Gezondheidsraad het advies *Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid* (GR92) uitgebracht. In dat advies deed een commissie van de Raad aanbevelingen voor maximale waarden voor blootstelling aan elektrische en magnetische velden met een frequentie van 50 Hz (de frequentie van de elektriciteitsvoorziening in Europa). Deze aanbevelingen werden overgenomen van het International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC) van de International Radiation Protection Association (IRPA), sinds 1992 fungerend als een zelfstandige organisatie onder de naam International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Zij zijn gericht op het voorkómen van gezondheidsschade die als een acuut effect het gevolg kan zijn van elektrische stromen die in het lichaam worden opgewekt bij blootstelling aan elektrische of magnetische velden. Dergelijke elektrische stromen kunnen bijvoorbeeld de prikkeloverdracht in het zenuwstelsel beïnvloeden, waardoor ongewenste effecten als onwillekeurige spierbewegingen of spierverkrampingen kunnen optreden.

De biologische effecten waarop genoemde blootstellingslimieten zijn gebaseerd, zijn kortetermijneffecten. Zij treden op tijdens of kort na blootstelling. Over het algemeen is het daarom goed mogelijk om een oorzakelijk verband tussen blootstelling en effect vast te stellen. Anders is dat met langetermijneffecten. Hierbij is het, vanwege de langere tijdsperiode (maanden tot zelfs tientallen jaren) tussen de blootstelling en het merkbaar worden van eventueel effect op de gezondheid, uitermate lastig om een oorzakelijk verband aan te tonen. Dat is vooral het geval als ook niet bekend is welk biologisch mecha-

nisme verantwoordelijk zou kunnen zijn voor het effect. Overigens liggen aan elk lange-termijn-gezondheidseffect vanzelfsprekend ook één of meer biologische effecten op korte termijn ten grondslag. Tijdens de blootstelling zal er een fysiologische reactie plaats moeten vinden. Hiermee is tevens aangegeven dat een biologisch effect en een gezondheidseffect niet noodzakelijkerwijs identiek zijn.

Sedert het begin van de jaren tachtig hebben, vooral op grond van de resultaten van enkele uit een reeks van epidemiologische onderzoeken, wetenschappelijk onderzoekers en anderen gesuggereerd dat langdurige blootstelling aan extreem laagfrequente elektromagnetische (ELF EM) velden met een lage veldsterkte, zoals die voorkomen in de woon- en werkomgeving, nadelige effecten op de gezondheid veroorzaakt. Het betreft hier langetermijneffecten, zoals een invloed op het ontstaan of de ontwikkeling van bepaalde vormen van kanker.

Het ontstaan van kanker wordt tegenwoordig beschouwd als een proces dat uit verscheidene stappen bestaat. Er zijn meerdere veranderingen in het DNA van de cel nodig voordat deze zich als kankercel gaat gedragen. Die veranderingen hoeven niet kort op elkaar te volgen. Soms kan er tussen opeenvolgende stappen een periode van vele jaren liggen. In theorie zouden elektromagnetische velden op elk van de onderscheiden stappen invloed kunnen uitoefenen.

In het Gezondheidsraadadvies uit 1992 is geconcludeerd dat er onvoldoende wetenschappelijke grond was om aan te nemen dat een dergelijke invloed bestaat. Omdat destijds nog veel onduidelijkheid was en in diverse landen onderzoeksprogramma's werden (of al waren) opgezet, adviseerde de Raad om na vijf jaar de literatuurgegevens opnieuw te evalueren.

Andere organisaties hebben de afgelopen jaren ook dergelijke evaluaties uitgevoerd. De belangrijkste hiervan zullen in dit advies aandacht krijgen.

Op 28 mei 1997 installeerde de Vice-voorzitter van de Gezondheidsraad de Voorbereidingsgroep ELF elektromagnetische velden, die tot taak had voorstellen te doen over de wijze waarop de Raad het onderwerp gezondheidseffecten van blootstelling aan ELF EM velden zou kunnen behandelen. De voorbereidingsgroep meende dat het voldoende zou zijn kort te rapporteren over de stand van zaken met betrekking tot mogelijke effecten van chronische blootstelling aan ELF EM velden met een lage veldsterkte.

In april 1998 publiceerde de ICNIRP nieuwe richtlijnen voor blootstelling aan elektromagnetische velden voor het frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz. Deze zijn een aanpassing van eerder uitgegeven richtlijnen, waaronder de 50/60 Hz-richtlijn uit 1990 van het IRPA/INIRC waarnaar in het advies van de Gezondheidsraad uit 1992 was verwezen. Aldus groeide de noodzaak om laatstbedoeld advies nu te herzien. Voor die herziening is op 28 september 1998 de hierboven genoemde voorbereidingsgroep geïnstalleerd als Commissie ELF elektromagnetische velden. Het voorliggende advies is het

resultaat van de werkzaamheden van die commissie. De samenstelling van de commissie is vermeld in bijlage A.

1.2 Strekking van dit advies

In het voorliggende advies geeft de commissie aanbevelingen voor blootstellingslimieten voor het frequentiegebied van 0 Hz tot 10 MHz. Weliswaar behandelde het advies over radiofrequente elektromagnetische velden uit 1997 het frequentiegebied van 300 Hz tot 300 GHz (GR97), maar omdat de huidige aanbevelingen voor de frequenties tot 300 Hz niet aansluiten bij die uit 1997, bevat het voorliggende advies nieuwe aanbevelingen voor het frequentiegebied van 300 Hz tot 10 MHz.

De aanbevelingen in dit advies hebben, net als die uit 1992, uitsluitend betrekking op sinusvormige velden. Het is niet denkbeeldig dat bij de in dit advies besproken frequenties voor andere vormen, zoals gepulste, blokvormige of zaagtandvormige velden, andere relaties met eventuele effecten bestaan dan met sinusvormige velden.

1.3 Werkwijze

De commissie bespreekt in het tweede hoofdstuk van het advies directe en indirecte kortetermijneffecten en in het derde hoofdstuk langetermijneffecten.

Voor elk type effect gaat zij na, of aangetoond is dat blootstelling leidt tot schadelijke gevolgen voor de gezondheid. Zij acht het bestaan van een schadelijk effect op de gezondheid wetenschappelijk aangetoond, indien voldaan is aan de volgende objectieve wetenschappelijke eisen, die de criteria die door Hill zijn geformuleerd voor epidemiologisch onderzoek (Hil71) insluiten:

- 1 het onderzoek is gepubliceerd in internationaal gerefereerde tijdschriften van algemeen in de wetenschappelijke wereld geaccepteerde adequate kwaliteit
 - 2 het onderzoek is van adequate kwaliteit volgens de in de wetenschappelijke wereld gangbare normen
 - 3 de resultaten van het onderzoek zijn reproduceerbaar gebleken (voor laboratoriumonderzoek) of consistent (voor epidemiologisch onderzoek) op grond van onderzoek als bedoeld onder (1) en (2) dat is uitgevoerd door andere, onafhankelijke onderzoekers
 - 4 het onderzoeksresultaat is onderbouwd met een kwantitatieve analyse, die leidt tot de conclusie dat er een statistisch significante relatie bestaat tussen blootstelling en effect; voor epidemiologisch onderzoek geldt daarbij dat een oorzakelijk verband aannemelijker wordt naarmate de associatie sterker is
 - 5 het effect is sterker naarmate de stimulus sterker is (dat wil zeggen, er is een dosis-responsrelatie)
-

- 6 er bestaat een voor experts acceptabele hypothese over de wijze waarop de stimulus het effect kan veroorzaken (er is een biologisch mechanisme).

Indien aan een of meer van deze eisen niet is voldaan, concludeert de commissie dat niet is aangetoond dat de betreffende blootstellingsmodaliteit gezondheidsschade veroorzaakt. In het andere geval gebruikt de commissie de gegevens als basis voor het opstellen van blootstellingslimieten.

Aan het advies is in bijlage B een lijst met termen en begrippen toegevoegd en in bijlage C een grafische vergelijking van de aanbevelingen uit dit advies met die van de ICNIRP (ICN98).

Kortetermijneffecten

2.1 Begrippenkader

2.1.1 *Beroeps- versus algemene bevolking*

In navolging van eerdere adviezen van de Gezondheidsraad (GR92, GR97), maakt de commissie in haar aanbevelingen voor blootstellingslimieten een onderscheid tussen beroepsmatig blootgestelden en de algemene bevolking. Redenen hiervoor zijn gelegen in verschillen in blootstellingsniveau, blootstellingsduur en (mogelijk) gevoeligheid. Een overzicht staat in tabel 5.

De commissie verstaat onder beroepsbevolking: volwassenen die in het kader van hun beroepsuitoefening blootgesteld kunnen worden aan EM velden *en* die voorlichting hebben gekregen over de risico's die met die blootstelling samenhangen en over de voorzorgs- of beschermingsmaatregelen die genomen kunnen worden. Dit betekent dat in het kader van dit advies niet alle werknemers die in beginsel tijdens hun werkzaamheden blootgesteld kunnen worden aan EM velden tot de beroepsbevolking gerekend worden. Een essentiële voorwaarde is dat de werknemer de bedoelde voorlichting ontvangen moet hebben. Bij blootstelling buiten de arbeidssituatie gelden voor leden van de beroepsbevolking altijd de aanbevelingen voor de algemene bevolking.

Tabel 5 Verschillen tussen beroepsmatig blootgestelden en de algemene bevolking.

beroepsbevolking	algemene bevolking
blootstellingsniveaus hoger	blootstellingsniveaus lager
blootstelling alleen gedurende werktijd	continue, levenslange blootstelling
gemiddeld relatief gezonde volwassenen; geen kinderen en ouderen	uiteenlopende gezondheidstoestand; alle leeftijden
veelal gecontroleerde omstandigheden: <ul style="list-style-type: none">• toezicht op blootstelling• speciale (bedrijfs)geneeskundige medische zorg	niet-gecontroleerde omstandigheden: <ul style="list-style-type: none">• blootstelling onbekend• geen speciaal medisch toezicht
voorzorgsmaatregelen tegen verbranding en schokken	geen voorzorgsmaatregelen tegen verbranding en schokken
bewust van mogelijke risico's; vrijwillig risico	in het algemeen niet bewust van risico's; onvrijwillig risico

2.1.2 *Directe versus indirecte effecten*

Evenals in het advies over radiofrequente elektromagnetische velden (GR97) maakt de commissie een onderscheid tussen directe en indirecte effecten. Directe effecten worden veroorzaakt door de inwerking van elektrische, magnetische of elektromagnetische velden op het blootgestelde organisme. Indirecte effecten daarentegen kunnen optreden wanneer ten gevolge van blootstelling aan een elektrisch veld een potentiaalverschil ontstaat tussen een organisme en een (groot) object. Dat kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer een dergelijk object niet geaard is. Het voorwerp gedraagt zich dan als een condensator en er zal, bij aanraking door een organisme dat wel contact met de aarde heeft, een ontladingsstroom lopen. Bij hoge potentiaalverschillen zijn zelfs vonkontladingen mogelijk. De commissie heeft bij het opstellen van haar aanbevelingen voor blootstellingslimieten rekening gehouden met het mogelijk optreden van dergelijke indirecte effecten.

2.1.3 *Blootstellingslimieten*

Evenals in andere adviezen en aanbevelingen (GR92, GR97, ICN98, NRPB93) maakt de commissie een onderscheid tussen 'basisbeperkingen' en daarvan afgeleide waarden: de 'referentieniveaus'.

Basisbeperkingen

Bepaalde elektromagnetische fenomenen kunnen in beginsel, wanneer zij in voldoende sterkte in het menselijk lichaam worden opgewekt, tot gezondheidsschade leiden. Voor het in dit advies beschouwde frequentiegebied zijn dit voor statische velden de elektrische en magnetische veldsterkte, en voor wisselvelden de in het lichaam opgewekte elektrische stroom. Bij hogere frequenties (> 100 kHz) is vooral de omzetting in het lichaam van elektromagnetische energie in warmte van belang. De sterkte van deze elektromagnetische verschijnselen dient beperkt te worden om gezondheidsschade te voorkomen. De maximaal toelaatbare waarden voor de fysische grootheden die deze sterkte kwantificeren worden ‘basisbeperkingen’ genoemd. Basisbeperkingen zijn derhalve te beschouwen als blootstellingslimieten die berusten op gezondheidskundige overwegingen.

Referentieniveaus

Een probleem bij zowel in het lichaam opgewekte elektrische stroom als warmte is dat deze grootheden niet eenvoudig op niet-invasieve manier te meten zijn. Met behulp van mathematische modellen kunnen beide grootheden wel *berekend* worden aan de hand van de sterkte van het elektrische of magnetische veld dat aanwezig is op de plaats van het blootgestelde organisme met gebruikmaking van enkele elektromagnetische parameters van lichaamsweefsels. De sterkte van het elektrische of magnetische veld kan relatief eenvoudig gemeten worden. Omdat een elektromagnetisch veld verstoord wordt door een in het veld aanwezig object, dient de meting plaats te vinden in afwezigheid van het organisme in kwestie. De berekeningen zijn dan ook gebaseerd op ongestoorde velden.

De sterkte van het ongestoorde elektrische of magnetische veld kan zo dienen als indicator voor de stroomdichtheid of de warmteontwikkeling in het lichaam. Daarom worden van de basisbeperkingen grenswaarden afgeleid voor die veldsterktes. Deze worden ‘referentieniveaus’ genoemd. Als de veldsterkte ter plaatse van de blootstelling beneden de voorgestelde referentieniveaus blijft, worden de basisbeperkingen niet overschreden. Is de veldsterkte hoger, dan staat zo’n overschrijding nog niet vast maar dient voor de desbetreffende blootstellingssituatie verificatie plaats te vinden.

Te allen tijde moet de blootstelling getoetst worden aan de basisbeperkingen. De referentieniveaus zijn daarbij slechts een hulpmiddel.

Veiligheidsfactoren

Evenals in eerdere adviezen van de Gezondheidsraad over mogelijke effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de gezondheid is gebeurd, neemt de commissie bij het opstellen van de blootstellingslimieten bepaalde veiligheidsfactoren in acht. Het advies *Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz)* (GR97) bevat een uitgebreide beschrijving van de achtergrond van deze veiligheidsfactoren. Op deze plaats volstaat de commissie met een aanduiding van de belangrijkste redenen voor het gebruik van veiligheidsfactoren. Deze zijn onzekerheden en onvolledigheden in de wetenschappelijke kennis en het mogelijk bestaan van verschillen in gevoeligheid tussen verschillende bevolkingsgroepen (zie ook 2.1.1).

De commissie hanteert steeds voor de beroepsbevolking een veiligheidsfactor 10 en voor de algemene bevolking een extra factor 5 (en dus een totale veiligheidsfactor 50 voor deze groep). De maximaal toelaatbare waarden voor de basisbeperkingen zijn daardoor een factor 10 resp. 50 lager dan de niveaus waarboven gezondheidsschade zou kunnen ontstaan.

Vanwege deze veiligheidsmarges dienen noch de basisbeperkingen noch de referentieniveaus beschouwd te worden als een scherpe grens tussen hoge, potentieel gevaarlijke en lage, intrinsiek ongevaarlijke veldsterktes. Kortdurende en beperkte overschrijding van de referentieniveaus of zelfs van de basisbeperkingen kan in bepaalde situaties aanvaardbaar zijn. Dit zal van geval tot geval onderzocht dienen te worden.

2.1.4 *Statische versus wisselvelden*

In dit advies geeft de commissie aanbevelingen voor blootstellingslimieten voor statische elektrische en magnetische velden en voor wisselvelden. In principe zijn alleen velden met een frequentie van 0 Hz statische velden. In de praktijk gedragen velden met een zeer lage frequentie zich ook als statische velden. Voor deze velden geldt dat de piekwaarde van groter belang is dan de gemiddelde (rms) waarde. Er is geen scherpe frequentiegrens tussen statische en wisselvelden. De commissie kiest hiervoor de frequentie 1 Hz.

2.2 Basisbeperkingen

2.2.1 *Statische velden: achtergrond*

Effecten van statische elektrische velden

Het belangrijkste effect van statische elektrische velden op het lichaam is het opwekken van een elektrische lading op het lichaamsoppervlak. Deze kan leiden tot bewegingen van haren. De drempel hiervoor ligt bij een veldsterkte van ongeveer 20 kV/m (Cla89).

Wanneer het spanningsverschil tussen het (elektrisch geïsoleerde) lichaam en de omgeving voldoende groot is, kan bij nadering of aanraking van een geleidend voorwerp een (vonk)ontlading plaatsvinden. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij het lopen over een kunststofapijt in een droge omgeving. De hierbij opgewekte veldsterkte kan, afhankelijk van de omstandigheden, variëren van circa 10 kV/m tot meer dan 1200 kV/m (Kow91). Hierbij is van negatieve gevolgen voor de gezondheid geen sprake. Wel kan sprake zijn van hinder door bijvoorbeeld schrikreacties bij vonkontladingen.

Bij langdurige blootstelling van vrijwilligers aan statische elektrische velden tot 600 V/m is geen effect gevonden op het ritme van dagelijkse activiteiten (Wev70). Blootstelling van proefdieren aan veldsterktes tot 12 kV/m leidde niet tot veranderingen in hun gedrag (Bai86). In proefdieronderzoek zijn evenmin effecten gevonden van blootstelling aan elektrische velden tot 340 kV/m op het totale bloedbeeld, de voortplanting en de perinatale sterfte (Fam81).

Effecten van statische magnetische velden

Er zijn drie onderscheiden mechanismen waarlangs statische magnetische velden een interactie kunnen aangaan met organismen (ICN94).

Door magnetische inductie kunnen geladen deeltjes die in een statisch veld bewegen aanleiding geven tot het optreden van elektrische velden en stromen. Op deze wijze kunnen in het bloed elektrische stroompjes opgewekt worden. Een dergelijke inductie treedt ook op wanneer een organisme zich door een statisch veld beweegt. Op grond van de Wet van Faraday zullen dan in het lichaam elektrische stroompjes worden opgewekt.

Magnetomechanische effecten vormen een tweede mechanisme. Hierdoor kunnen moleculen en grotere structuren in een statisch veld worden georiënteerd (overeenkomstig de werking van een kompas). De biologische effecten van dit type interacties zijn, in ieder geval bij de mens, verwaarloosbaar, omdat er maar zeer weinig natuurlijke magnetische stoffen in het lichaam aanwezig zijn (ICN94).

De derde type effect betreft interacties tussen moleculen. Een statisch magnetisch veld kan op bepaalde tussenproducten van chemische reacties een invloed uitoefenen waardoor de snelheid van die reacties kan veranderen. Voor reacties waarbij radicalen worden gevormd als tussenproduct, is gesuggereerd dat al bij veldsterktes van 10 mT een invloed waar te nemen zou zijn (Rep99). Bij dergelijke lage veldsterktes zijn echter nooit biologische effecten gevonden.

Repacholi en Greenbaum geven, voortbouwend op eerdere samenvattingen (EC96, ICN94, Kow91, NRPB93, Sim92), in het meest recente overzicht aan dat bij veldsterktes onder circa 2 T biologische effecten niet ondubbelzinnig zijn aangetoond (Rep99). Mensen die zich snel bewegen in een sterk magnetisch veld ervaren soms effecten als duizeligheid, misselijkheid en hoofdpijn (Sch92). Bij veldsterktes lager dan 2 T zijn dergelijke effecten niet waargenomen.

Uit berekeningen (ICN94) blijkt dat in het lichaam van iemand die zich beweegt in een 200 mT veld, een elektrische stroom met een stroomdichtheid van 10-100 mA/m² wordt opgewekt. De ICNIRP berekende eveneens wat bij blootstelling aan een 200 mT veld het effect is van de stroomsnelheid van het bloed op de elektrische stroomdichtheid in het bloed. Voor de meest ongunstige situatie in het grootste bloedvat, de aorta, levert dit een maximale stroomdichtheid van 44 mA/m² op. Deze waarde is lager dan de niveaus waarvan nadelige effecten op de bloeddorstroming of het cardiovasculaire systeem te verwachten zijn (Ten85).

In bijzondere situaties kunnen statische magnetische velden op indirecte wijze de gezondheid beïnvloeden, met name wanneer zij de werking van een pacemaker verstoren. Dergelijke elektromagnetische interferentieproblemen komen in dit advies niet aan de orde.

2.2.2 *ELF velden: achtergrond*

Invloed van ELF velden op spieren en zenuwvezels

In een recent verschenen boek geeft Reilly een uitgebreid overzicht van alle mogelijke effecten van elektrische stroom in het lichaam op zenuwen, skeletspieren en het hart (Rei98a). De commissie meent dat deze publicatie het meest complete inzicht geeft in de huidige stand van wetenschap op dit gebied en heeft er daarom het grootste deel van de hiernavolgende gegevens aan ontleend.

Bij toenemende stroomdichtheid in het lichaam zijn reacties met toenemende ernst te onderscheiden. De stroomdichtheid die leidt tot een bepaald effect is afhankelijk van de frequentie, waarbij de grootste gevoeligheid ligt in het frequentiegebied tussen ruw-

weg 10 en 100 Hz (Rei98a, fig. 6.4, 6.8). Bovendien is ook de blootstellingstijd van belang: bij stimulatie korter dan zo'n 1 à 2 seconden neemt de minimaal voor een effect benodigde stroomdichtheid toe (Rei98a, fig. 6.9 - 6.12).

De ernstigste effecten, die levensbedreigend kunnen zijn, zijn hartritmestoornissen. Voor hartkamerfibrillatie, het ongecontroleerd samentrekken van de spiervezels van de hartkamer waardoor de pompende werking van het hart zeer sterk gereduceerd wordt, is bij 60 Hz, dus in het gebied waar de gevoeligheid het grootst is, de minimaal noodzakelijke stroomdichtheid ongeveer $2,5 \text{ A/m}^2$ (Rei98a, fig. 6.21). Deze waarde kan als 1-percentielwaarde voor dit effect worden beschouwd, d.w.z. dat bij blootstelling aan deze stroomdichtheid in circa 1% van de gevallen het effect zal optreden (Rei98a, p. 233). Reilly stelt dat deze met proefdieren verkregen waarde als conservatieve grenswaarde voor stimulering van het hart bij mensen beschouwd kan worden (Rei98a, p. 234).

De waarden voor de stroomdichtheid die leiden tot excitatie van het hart liggen op ongeveer 40% van de niveaus die fibrillatie veroorzaken. Dit houdt in dat voor een meetbaar effect op het hart de 1-percentielwaarde ongeveer 1 A/m^2 is. Deze waarde, die te beschouwen is als de geschatte waarde voor een *lowest observed adverse effect level*, komt goed overeen met die voor de minimaal benodigde stroomdichtheid voor stimulatie van zenuwvezels: $1,2 \text{ A/m}^2$ (Rei98a, p. 235).

Fosfenen

Het belangrijkste effect bij lagere stroomdichtheden is het vóórkomen van fosfenen. Dit zijn lichtvlekken of flitsen die waargenomen worden als gevolg van directe stimulatie van het netvlies door elektrische stroom. Die kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van een extern elektrisch of magnetisch veld. Fosfenen kunnen echter ook optreden door druk op de oogbol. Het zijn verschijnselen die na het wegnemen van de oorzakelijke factor vanzelf in het algemeen binnen een uur weer verdwijnen.

Er is in onderzoek bij proefpersonen een duidelijke frequentie-afhankelijkheid waargenomen van de minimale veldsterkte die nodig is voor de inductie van fosfenen. Deze minimale veldsterkte wordt gevonden in het frequentiegebied van 20-30 Hz. Omdat het niet mogelijk is de stroomdichtheid in het netvlies direct te bepalen, moet deze worden afgeleid van de sterkte van het externe elektrische of magnetische veld. Een probleem hierbij is de weg die de stroom in de weefsels in het hoofd volgt. Deze is niet bekend, maar wel van cruciaal belang voor het bepalen van het oppervlak waarover de stroomdichtheid moet worden berekend.

Adrian heeft het waarnemen van fosfenen bepaald door tussen twee op het hoofd aangebrachte elektrodes een stroom te laten lopen (Adr77). Hij vond een minimumwaarde van 0,014 mA bij 20 Hz. Het oppervlak van de elektrodes was $2,4 \text{ cm}^2$. Dit be-

tekt een stroomdichtheid over dit oppervlak van 58 mA/m^2 . Adrian stelt echter dat het effectieve oppervlak ergens tussen dat van de elektrode en de doorsnede van het hoofd ($100\text{-}200 \text{ cm}^2$) ligt. Hij gaat uit van een waarde van 10 cm^2 , hetgeen resulteert in een minimale stroomdichtheid van 14 mA/m^2 .

Lövsund stelde het hoofd van vrijwilligers bloot aan elektrische en magnetische velden en bepaalde voor het optreden van fosfenen de relatie tussen de frequentie en de veldsterkte (Lö80a, Lö80b). Hij komt tot een ruwe schatting van 1 mA/m^2 voor de minimaal benodigde stroomdichtheid (eveneens bij 20 Hz). Reilly berekent voor dezelfde gegevens een minimale stroomdichtheid van 8 mA/m^2 (Rei98a, p. 389). De commissie beschouwt de schatting van Lövsund (Lö80b), die niet is onderbouwd, als te laag en die van Reilly als realistischer (hoewel ook aan de lage kant).

Carstensen liet, door een met een zoutoplossing gevulde oogkom als elektrode te gebruiken, een stroom door het netvlies lopen en bepaalde zo bij welke stroomsterkte fosfenen waargenomen werden (Car85). De minimale stroomsterkte was $0,04 \text{ mA}$, bij 25 Hz. Dit komt, bij een doorsnede van de oogbol van 4 cm, overeen met een stroomdichtheid van 32 mA/m^2 . Deze uitkomst is in de ogen van de commissie een betrouwbaarder schatting van de stroomdichtheid, omdat toepassing direct op het oog plaats vond. Desalniettemin meent de commissie, mede in het licht van de gegevens uit de experimenten van Lövsund en Adrian, dat een waarde van 10 mA/m^2 als een redelijke ondergrens voor het optreden van fosfenen kan worden beschouwd. Omdat zowel bij toenemende als afnemende frequentie de voor het waarnemen van fosfenen minimaal benodigde stroomdichtheid snel toeneemt (zie bijvoorbeeld fig. 1 en 2 uit Adr77) is het frequentiegebied waar dit verschijnsel effectief een rol speelt beperkt van enkele Hz tot circa 200 Hz.

2.2.3 *Limieten*

Op grond van de bovenstaande gegevens heeft de commissie als volgt maximale toelaatbare waarden opgesteld voor de stroomdichtheid in het lichaam.

Statische velden

Voor statische velden is niet de stroomdichtheid, maar de magnetische veldsterkte de relevante grootte voor het opstellen van blootstellingslimieten. In 2.2.1 is aangegeven dat statische elektrische velden zelfs bij zeer hoge veldsterktes geen nadelige effecten op de gezondheid veroorzaken. Deze velden blijven daarom verder buiten beschouwing.

De commissie stelt een magnetische veldsterkte van 2 T voor als bovengrens, omdat onder deze waarde biologische effecten niet eenduidig zijn aangetoond, evenmin als hinderlijke effecten als misselijkheid en duizeligheid bij mensen die zich in het veld be-

wegen. In navolging van de NRPB (NRPB93) en de ICNIRP (ICN94) beschouwt zij een veldsterkte van 2 T maximaal toelaatbaar voor kortdurende pieken in de blootstelling. Bij blootstelling van alleen ledematen is een veldsterkte tot 5 T acceptabel. Voor continue blootstelling wordt een veiligheidsfactor 10 toegepast vanwege de relatief schaarse en deels tegenstrijdige wetenschappelijke gegevens. De resulterende waarde van 200 mT geldt voor de beroepsbevolking. Voor de algemene bevolking neemt de commissie nog een extra veiligheidsfactor 5 in acht, waarmee de maximale toelaatbare veldsterkte voor continue blootstelling voor die groep uitkomt op 40 mT.

De aldus bepaalde basisbeperkingen voor statische velden zijn samengevat in tabel 1 (zie de Samenvatting).

Extreem laagfrequente velden

In het frequentiegebied tussen de arbitrair gekozen ondergrens van wisselvelden van 1 Hz (zie 2.1.4) en 10 MHz beschouwt de commissie het voorkómen van het optreden van twee onderscheiden fenomenen als bepalend voor het stellen van limieten.

Het eerste effect is het waarnemen van fosfenen ten gevolge van directe stimulatie van het netvlies door elektrische stroom. Als ondergrens voor het optreden van dit verschijnsel kiest de commissie tussen 1 en 20 Hz een stroomdichtheid van 10 mA/m^2 en boven 20 Hz $0,5 \times f \text{ mA/m}^2$ (frequentie f in Hz). De overgangsfrequentie van 20 Hz is overgenomen van Reilly (Rei98a, p. 490-491). De frequentieafhankelijkheid boven 20 Hz volgt die zoals bepaald door Adrian (Adr77). De resulterende curve is weergegeven in figuur 1 als 'fosfenen'-curve.

Het tweede fenomeen is stimulering van de hartspier en zenuwvezels. Hiervoor hanteert de commissie een ondergrens van 1000 mA/m^2 bij frequenties tot 4000 Hz en bij hogere frequenties $0,25 \times f \text{ mA/m}^2$ (f in Hz). De resulterende curve is in figuur 1 weergegeven als 'hart, zenuw'-curve.

Het waarnemen van fosfenen, zelfs bij langdurige blootstelling, is niet schadelijk voor de gezondheid, hooguit hinderlijk. Wel kunnen schrik-effecten optreden wanneer mensen onverhoeds met het verschijnsel geconfronteerd worden. Daarom meent de commissie dat het optreden van fosfenen zoveel mogelijk voorkomen moet worden. Voor de beroepsbevolking, die volgens de definitie bekend moet zijn met mogelijk optredende effecten, is er geen noodzaak voor lagere grenswaarden dan genoemde ondergrens voor het optreden van fosfenen. Voor de algemene bevolking lijkt een veiligheidsfactor wel aangewezen. De commissie gebruikt hiervoor de in 2.1.3 genoemde factor 5.

Beïnvloeding van zenuwweefsel kan in beginsel wel schadelijk voor de gezondheid zijn. Daarom meent de commissie dat het aangewezen is een algemene veiligheidsfactor 10 te hanteren ten opzichte van bovengenoemde ondergrens voor deze verschijnselen en daarnaast nog een extra veiligheidsfactor 5 voor de algemene bevolking. De

grenswaardecures voor het optreden van fosfenen en voor stimulering van zenuwvezels die van toepassing zijn op de beroepsbevolking, snijden elkaar bij 200 Hz en 100 mA/m², de overeenkomstige curves voor de algemene bevolking snijden elkaar bij 200 Hz en 20 mA/m². De uiteindelijk resulterende curves zijn uitgezet in figuur 1. De grenswaarden zijn numeriek vermeld in tabel 2 (zie de Samenvatting). Zij zijn van toepassing op blootstelling van het hoofd (vanwege de beperkingen voor het optreden van fosfenen) en dus ook op blootstelling van het gehele lichaam.

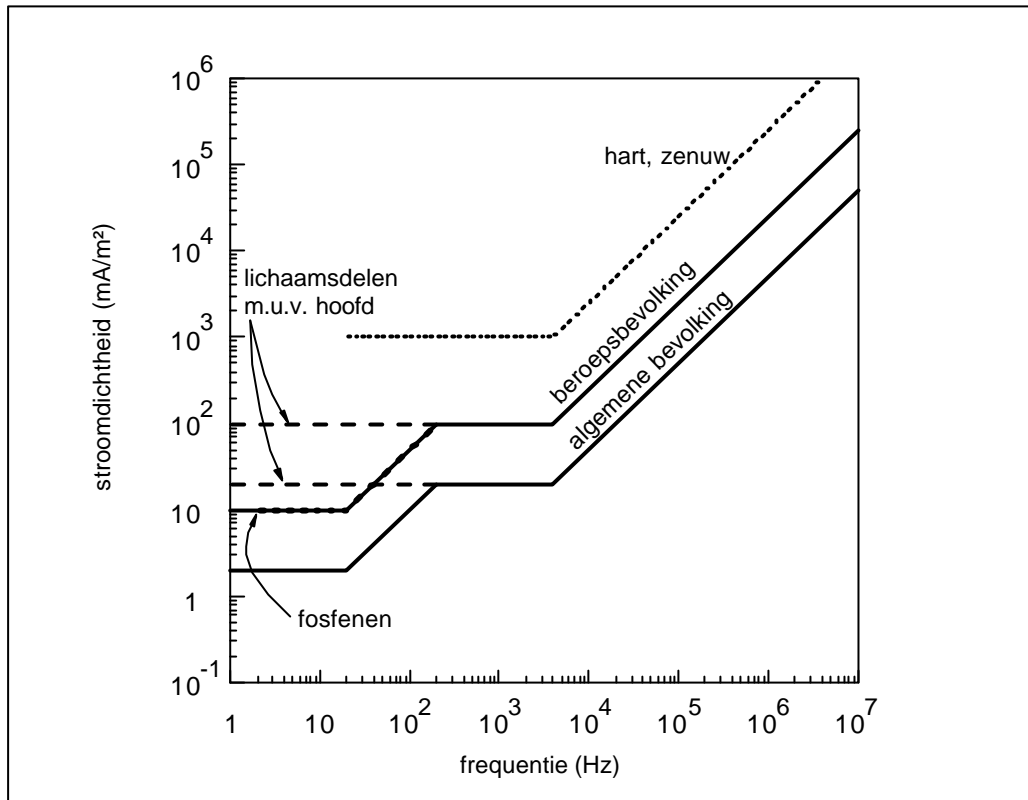
Wanneer uitsluitend andere delen van het lichaam dan het hoofd worden blootgesteld, zijn alleen de voor effecten op zenuwvezels afgeleide grenswaarden van belang. De maximaal toelaatbare stroomdichtheid is dan in het frequentiegebied van 1 Hz tot 4 kHz voor de beroepsbevolking 100 mA/m² en voor de algemene bevolking 20 mA/m². De resulterende curves zijn in figuur 1 ingetekend. De waarden staan in tabel 2 (zie de Samenvatting).

Deze aanbevelingen sluiten bij 300 Hz, de ondergrens van het frequentiegebied dat in het Gezondheidsraadadvies uit 1997 (GR97) beschouwd is, niet aan bij de voorstellen uit dat advies. Daarom geeft de commissie voor het frequentiegebied van 300 Hz tot 10 MHz hier nieuwe aanbevelingen.

De hier gegeven richtlijnen verschillen van die van de ICNIRP (ICN98). Het verschil vloeit voort uit de benadering van de ICNIRP om voor het frequentiegebied van 4 Hz tot 1 kHz een vaste waarde van 10 mA/m² voor de maximale stroomdichtheid aan te nemen. De onderbouwing daarvan is niet duidelijk, maar is waarschijnlijk gebaseerd op het voorkómen van fosfenen. De ICNIRP kiest daarmee voor een conservatievere benadering dan de commissie. Bijlage C bevat een vergelijking van de in dit advies gegeven aanbevelingen met die van ICNIRP.

Voor 50 Hz zijn de in tabel 6 vermelde maximale stroomdichtheden van toepassing.

De basisbeperkingen zijn van toepassing bij blootstelling van langer dan 1 seconde aan sinusvormige elektromagnetische velden. Bij kortere blootstellingsduur of blootstelling aan pulsvormige velden kunnen, afhankelijk van de blootstellingsduur en de vorm van de puls, hogere stroomdichtheden acceptabel zijn (Rei98a, p. 490-491). De commissie gaat hier, mede vanwege het in principe onbeperkte aantal mogelijkheden, niet op in. Evenmin doet zij aanbevelingen voor andere veldvormen, zoals blokvormige of zaagtandvormige velden. In veel gevallen kunnen de effecten van dergelijke velden echter gelijkgesteld worden aan die van sinusvormige velden.



Figuur 1 Basisbeperingen voor het frequentiegebied van 1 Hz tot 10 MHz. De 'hart, zenuw'- en 'fosfenen'-curves geven de in de tekst beschreven ondergrens aan voor effecten op hart en zenuwvezels, respectievelijk voor het waarnemen van fosfenen. De doorgetrokken lijnen zijn de basisbeperingen voor situaties waarbij het hoofd (mede) is blootgesteld. Zij zijn, zoals in de tekst beschreven, afgeleid van zowel de 'hart-zenuw'- als de 'fosfenen'-curves. De gestreepte curves zijn voor blootstellingen waarbij het hoofd niet is betrokken en zijn alleen van de 'hart-zenuw'-curve afgeleid.

2.3 Referentieniveaus

2.3.1 Continue blootstelling van het gehele lichaam

Tabel 6 Basisbeperingen voor 50 Hz.

frequentie	stroomdichtheid (mA/m ²)			
	beroepsmatig blootgestelden		algemene bevolking	
	lichaam, hoofd ^a	lichaam, deels ^b	lichaam, hoofd ^a	lichaam, deels ^b
50 Hz	25	100	5	20

^a lichaam, hoofd: lichaam geheel of gedeeltelijk blootgesteld, inbegrepen het hoofd

^b lichaam, deels: lichaam gedeeltelijk blootgesteld, hoofd niet inbegrepen

Elektrische veldsterkte

Bij blootstelling onder de meest ongunstige omstandigheden — de richting van het elektrische veld parallel aan de lichaamsas — wordt in de hals en in de romp door een 50 Hz elektrisch veld van 5 kV/m een stroomdichtheid van ongeveer 2 mA/m² opgewekt (NRC97, Ten87)*. Deze waarde gebruikt de commissie als referentiepunt voor het uit de basisbepalingen afleiden van de waarden voor het ongestoorde externe elektrische veld. De stroomdichtheid (J) is gerelateerd met de externe elektrische veldsterkte (E) en de frequentie (f) volgens de formule

$$J = k f E$$

waarin k een constante is. De maximale waarden voor de stroomdichtheid zoals vermeld in tabel 2 (zie de Samenvatting) kunnen hiermee omgerekend worden naar waarden voor de elektrische veldsterkte. De aldus berekende veldsterktes liggen echter op een niveau waarbij in voorkomende gevallen indirecte effecten op kunnen treden. In 2.1.2 heeft de commissie al aangegeven dat indirecte effecten vermeden dienen te worden. Daarom verlaagt zij in het frequentiegebied van 20 Hz tot 1 MHz de maximale waarden voor het externe elektrische veld zodanig, dat dergelijke effecten niet voor zullen komen.

Voor het bepalen van de indirecte effecten is uitgegaan van een onderscheid in gevoeligheid tussen mannen, vrouwen en kinderen. Bij vrouwen is de hoogte van de drempelwaarden voor elektrische prikkelingen volgens metingen circa 2/3 van die van mannen (Guy85). De gevoeligheid van kinderen is niet gemeten. Guy schat de hoogte van de drempelwaarde voor elektrische prikkelingen op circa 50% van die van mannen (Guy85).

De in de praktijk meest waarschijnlijke, maar zelden voorkomende situatie, dat indirecte effecten op kunnen treden is wanneer een auto, bus of vrachtauto in de lengterichting onder een hoogspanningslijn staat. Om ongewenste indirecte effecten in dergelijke situaties te voorkomen, stelt de Commissie een maximale sterkte van het elektrische veld van 8 kV/m voor bij een frequentie van 50 Hz, onder een hoogspanningslijn gemeten op 1 m boven het maaiveld. Bij aanraking van een grote vrachtauto of bus zal de ontladingsstroom dan 3,5 - 4,5 mA bedragen. Deze blijft daarmee onder de *let go* drempel voor de 0,5% gevoeligste kinderen, waarbij aangenomen is dat de gevoeligheid

* Bij een 60 Hz E-veld van 10 kV/m is aan een geaarde volwassen mens in de hals een stroomdichtheid van 5,5 mA/m² gemeten en in de enkels een stroomdichtheid van 20 mA/m² (Ten87). Voor een geïsoleerde mens waren deze waarden resp. 4,1 en 9,4 mA/m². Omrekening naar een extern 50 Hz E-veld van 5 kV/m levert waarden voor de hals van 1,7 (geïsoleerd) en 2,3 mA/m² (geaard) en voor de enkels van 3,9 (geïsoleerd) en 8,3 mA/m² (geaard).

normaal verdeeld is. Slechts in uitzonderlijke gevallen (een vrachtwagencombinatie in een 8 kV/m veld) zal de ontladingsstroom hoger zijn, circa 5 mA, en kan wellicht bij een klein percentage kinderen tot een pijnlijke gewaarwording, maar niet tot een gezondheidsbedreigende situatie aanleiding geven*.

In figuur 2 zijn de verschillende aanbevelingen in beeld gebracht. Ter illustratie zijn ook enkele meetpunten van indirecte effecten aangegeven. In de legenda is uiteengezet hoe de curves zijn geconstrueerd.

De nu door de commissie gegeven referentieniveaus verschillen tussen 300 Hz en 10 MHz van die in het advies *Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz)* (GR97), vanwege de hierboven genoemde veranderde inzichten over de maximaal toelaatbare stroomdichtheid. De getalswaarden voor het elektrisch veld in het frequentiegebied van 1 Hz tot 10 MHz zijn vermeld in tabel 3 (zie de Samenvatting).

Magnetische veldsterkte

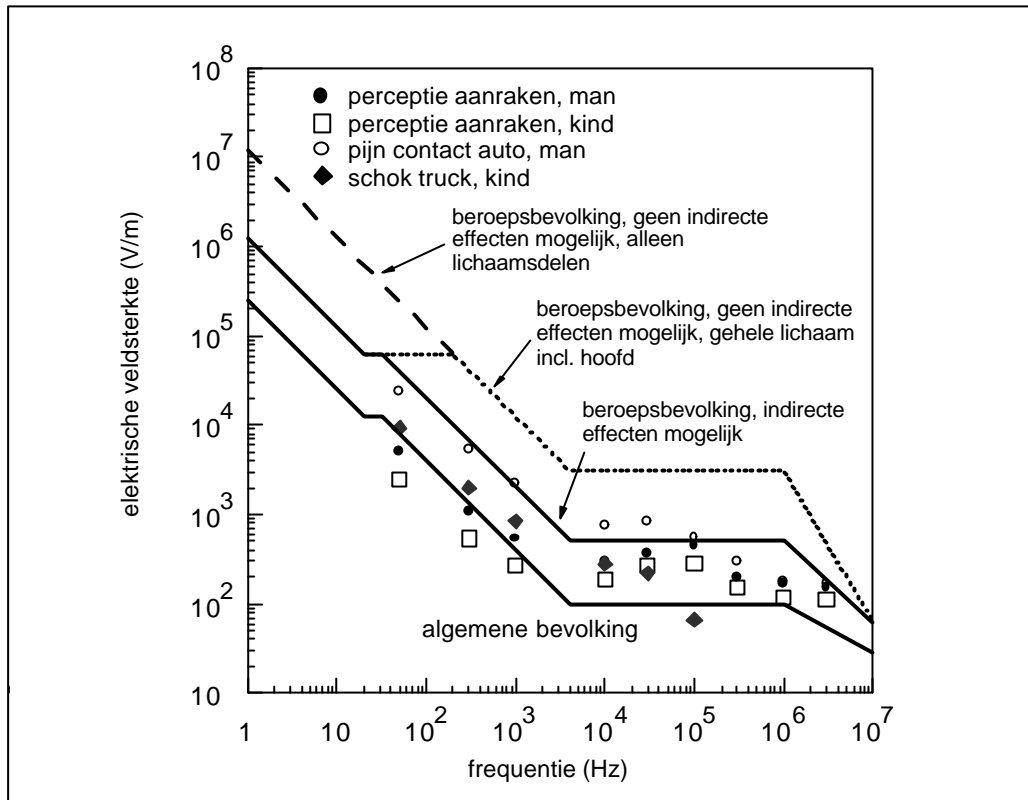
In 2.2.1 zijn de maximale waarden zijn voor statische magnetische velden aangegeven.

Voor wisselvelden is, bij het afleiden van de magnetische veldsterktes die overeenkomen met de in tabel 2 vermelde maximale stroomdichtheden in het lichaam, in het verleden en ook in de recente aanbevelingen van de ICNIRP (ICN98) gerekend met zeer vereenvoudigde modellen, waarbij het lichaam beschouwd werd als een bol of een ellipsoïde met een elektrisch homogene of meerlagige samenstelling. De referentieniveaus voor het magnetisch veld die berekeningen met deze modellen opleveren, zijn echter waarschijnlijk hoger dan in werkelijkheid.

De afgelopen jaren zijn meer geavanceerde modellen ontwikkeld, waarin rekening gehouden wordt met de anatomische structuur van het lichaam en met de verschillen in

* De onderbouwing voor deze aanname is als volgt. Een grote vrachtwagencombinatie die in een 50/60 Hz elektrisch veld van 10 kV/m staat, geeft bij aanraking een ontladingsstroom van 6,3 mA (Lee86); bij 8 kV/m is dit circa 5 mA. Bij een vrachtwagen van 12 m lengte is de ontladingsstroom 4,2 mA (WHO89). Een ontladingsstroom van 5 mA treedt ook op bij aanraking van een personenauto in een elektrisch veld van 50 kV/m en bij aanraking van een vrachtauto of bus in een veld van 11 kV/m (For91).

Extrapolatie van de voor volwassen mannen berekende waarden geeft een *let go* drempel voor 50% van de kinderen van 8 mA; voor 0,5% van de kinderen geeft Guy 5 mA als conservatieve waarde (Guy85). Voor een ernstige schok met ademhalingsproblemen ligt de drempel voor 50% van de kinderen op 12 mA. Deze waarden gelden voor een stroom die gedurende 10 s of meer door het lichaam loopt (Ber88). Voor kortere blootstellingstijden gelden hogere drempelwaarden. Ter vergelijking: bij schrikdraad vindt elke 1,3 s een ontlading plaats bij een spanning van 5-9 kV en een tijdsduur van circa 0,1 ms. De ontladingsstroom is circa 10 A. Een dergelijke schok wordt in de meest ongunstige situatie — een kind op blote voeten in het natte gras — als zeer pijnlijk ervaren, maar is niet levensbedreigend. Deze situatie is vergelijkbaar met het aanraken van een grote vrachtauto die in de lengterichting onder een 380 kV hoogspanningslijn staat. De kans om schrikdraad aan te raken is daarbij veel groter dan de kans op contact met een vrachtauto in genoemde situatie.



Figuur 2 Referentieniveaus voor het externe elektrische veld voor situaties waarin indirecte effecten wel of niet mogelijk zijn. De curves voor de beroepsbevolking voor situaties waar geen indirecte effecten mogelijk zijn, zijn een directe omrekening van de in figuur 1 getoonde stroomdichtheidscurves voor de beroepsbevolking. Voor de curve voor de algemene bevolking is ook uitgegaan van de overeenkomstige stroomdichtheidscurve, maar ter voorkoming van indirecte effecten is bij 50 Hz een maximum van 8 kV/m gesteld (zie tekst). Het hellende deel van de curve tussen circa 100 Hz en 2,5 kHz en het aansluitende horizontale deel tussen 2,5 kHz en 1 MHz zijn vervolgens naar onderen geschoven, zodanig dat bij 50 Hz de waarde 8 kV/m is. Het snijpunt met het meest linkse deel van de oorspronkelijke curve is opnieuw berekend (32 Hz, 62,5 kV/m). Een aparte curve voor blootstelling van alleen lichaamsdelen voor de algemene bevolking kan niet gegeven worden, omdat dan niet voldaan wordt aan de eis tot voorkoming van indirecte effecten. De curve voor de beroepsbevolking, indirecte effecten mogelijk, ligt een factor 5 boven die voor de algemene bevolking. Voor alle drie curves is het meest rechtse deel bepaald door de aansluiting te maken met de in GR97 gegeven waarden bij 10 MHz.

elektrische eigenschappen van de verschillende lichaamsweefsels. In een recent artikel beschrijven Dawson en medewerkers de berekening van gemiddelde en maximale stroomdichtheden in het gehele lichaam en in een groot aantal organen bij blootstelling aan een 60 Hz magnetisch veld van $1 \mu\text{T}$ in verschillende oriëntaties (van links naar rechts, van boven naar onder, van achter naar voor) (Daw97). De maximale stroomdichtheid in het lichaam trad op in de cerebrospinale vloeistof, bij blootstelling aan een van links naar rechts georiënteerd veld, en bedroeg $77,3 \mu\text{A}/\text{m}^2$. Omdat voor het bepalen van de stroomdichtheid de commissie hart en zenuwvezels als kritieke weefsels be-

schouwt, meent zij dat het zinvol is te kijken naar geïnnerveerde weefsels en organen. Dan wordt de hoogste stroomdichtheid gevonden in spierweefsel: $50,7 \mu\text{A}/\text{m}^2$ bij blootstelling aan een van voor naar achter georiënteerd veld. (De stroomdichtheid in hersenweefsel is aanzienlijk lager: maximaal $7,3 \mu\text{A}/\text{m}^2$ (Daw97).) De Commissie heeft de waarde $50,7 \mu\text{A}/\text{m}^2$ gebruikt als referentiepunt voor het berekenen van de referentieniveaus voor het externe magnetische veld. De magnetische fluxdichtheid B is voor sinusvormige elektromagnetische velden gerelateerd aan de stroomdichtheid J volgens de formule:

$$J = \pi r f \sigma B$$

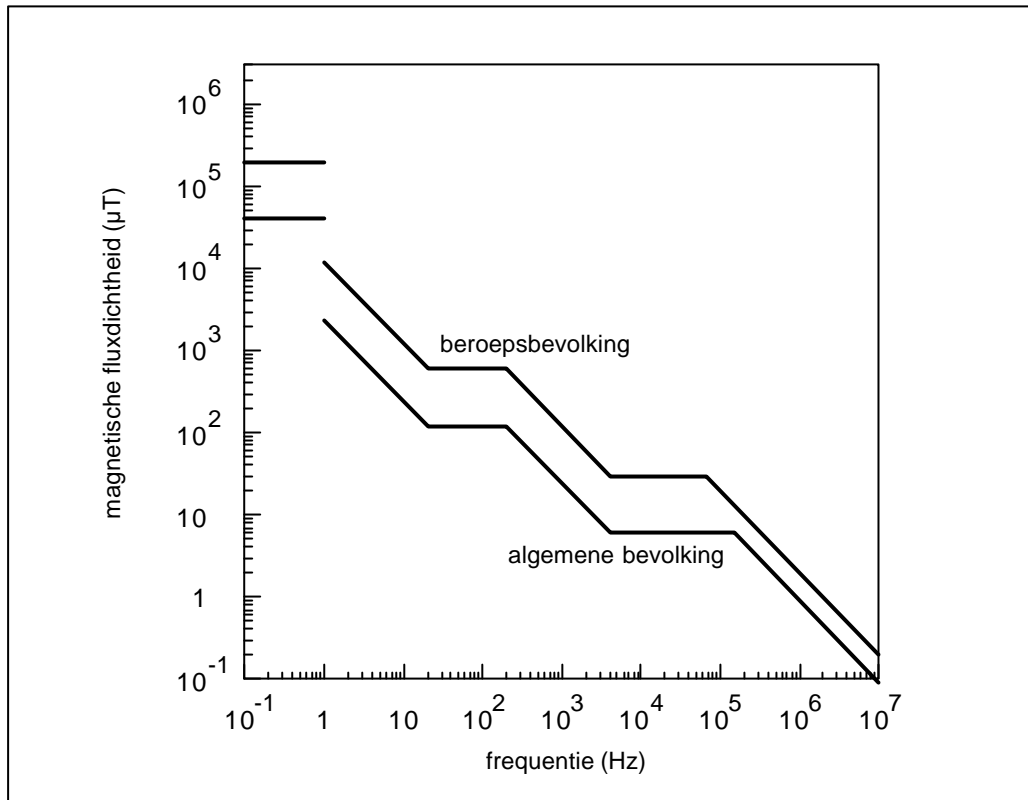
waarbij r de straal van het blootgestelde object is, σ de elektrische geleidbaarheid en f de frequentie. Omdat voor de berekeningen gebruikt gemaakt wordt van bovengenoemde referentiewaarde behoeven de waarden van r en σ niet noodzakelijkerwijs bekend te zijn.

De met deze formule berekende referentieniveaus voor de sterkte van het magnetische veld, uitgedrukt in de magnetische fluxdichtheid, zijn weergegeven in figuur 3. Er kan in dit geval niet, zoals bij de stroomdichtheid, een onderscheid gemaakt worden tussen blootstelling van het hoofd of het gehele lichaam en van alleen lichaamsdelen, omdat de afleiding betrekking heeft op spierweefsel. Wel zal in 2.3.2 blootstelling van alleen ledematen apart beschouwd worden.

Het meest rechtse, hellende deel van beide curves is gelijk aan de waarden die zijn voorgesteld in het advies *Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz)* (GR97). Vanaf het snijpunt met het horizontale deel (bij 67 resp. 153 kHz voor de beroeps- en algemene bevolking) tot aan de laagste frequenties links in de figuur wijken zij hiervan af. De commissie meent dat het niet correct is een continue overgang te geven tussen wisselvelden en statische velden, omdat de ligging van de curve dan sterk afhankelijk is van de (arbitrair gekozen) scheiding tussen statische en wisselvelden. Zij geeft daarom bij de daarvoor gekozen frequentie van 1 Hz een overgang van de curve voor wisselvelden naar de vaste waarde voor statische velden.

De getalswaarden van de door de commissie berekende referentieniveaus voor de magnetische veldsterktes staan in tabel 4 (zie de Samenvatting).

Uit een grote verscheidenheid aan onderzoeken die onder goed gedefinieerde omstandigheden zijn uitgevoerd, is niet gebleken dat bij blootstelling aan elektromagnetische velden die in sterkte onder de hier berekende maxima liggen, gezondheidseffecten optreden. Wel zijn in een aantal van deze onderzoeken biologische effecten gevonden, zoals beïnvloeding van onderdelen van het slaappatroon en van bepaalde cognitieve func-



Figuur 3 Referentieniveaus voor het externe magnetische veld, uitgedrukt in de magnetische fluxdichtheid. De lijnen tussen 0,1 en 1 Hz geven de waarden voor statische velden. De overige curves zijn berekend uit de basisbeperkingen voor de stroomdichtheid, zoals die gegeven zijn in figuur 1. Als referentiepunt dient de in de tekst beschreven stroomdichtheid van 50,7 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ bij een extern B-veld van 1 μT bij 60 Hz.

ties (Gra99, Por98, pp. 301-25). De effecten waren echter zonder uitzondering reversibel en te gering om tot gezondheidsproblemen te kunnen leiden.

2.3.2 Blootstelling van ledematen

Uit het artikel van Dawson (Daw97) blijkt dat de maximale stroomdichtheid in ledematen bij blootstelling aan een extern magnetisch veld ongeveer eenderde is van die in het gehele lichaam, circa 15 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ bij een veldsterkte van 1 μT en een frequentie van 60 Hz. Dit houdt in dat bij blootstelling van alleen ledematen de veldsterkte drie maal hoger kan zijn dan bij blootstelling van het gehele lichaam. Als gevolg hiervan geldt voor blootstelling van alleen ledematen het schema zoals weergegeven in tabel 7. De waarden zijn zodanig bepaald dat bij 10 MHz het onderscheid met blootstelling van het gehele lichaam niet meer aanwezig is, omdat dat bij hogere frequenties ook niet het geval is.

Tabel 7 Referentieniveaus voor de sterkte van het externe magnetische veld bij continue blootstelling van alleen ledematen.

	magnetische fluxdichtheid (μT)		magnetische veldsterkte (A/m)		
	beroepsmatig blootgestelden	algemene bevolking	beroepsmatig blootgestelden	algemene bevolking	
1 - 20 Hz	$36\,000 / f$	$7\,200 / f$	$28\,640 / f$	$5\,728 / f$	f in Hz
20 - 200 Hz	1 800	360	1 432	286	
0,2 - 4 kHz	$360 / f$	$72 / f$	$286 / f$	$57,3 / f$	f in kHz
4 - 67 kHz	90	18	71,6	14,3	
67 - 153 kHz	$6\,000 / f$	18	$4\,773 / f$	14,3	f in kHz
0,153 - 10 MHz	$3,65 \times f^{-1,26}$	$1,68 \times f^{-1,26}$	$2,90 \times f^{-1,26}$	$1,34 \times f^{-1,26}$	f in MHz

2.3.3 Referentieniveaus voor 50 Hz

De referentieniveaus voor 50 Hz zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 8 Referentieniveaus voor 50 Hz.

		elektrische veldsterkte (kV/m)	magnetische fluxdichtheid (μT)	magnetische veldsterkte (A/m)
beroepsmatig blootgestelden	indirecte effecten niet mogelijk, hoofd, gehele lichaam	62,5		
	indirecte effecten niet mogelijk, lichaamsdelen m.u.v. hoofd	250		
	indirecte effecten mogelijk	40		
	lichaam		600	477
	ledematen		1 800	1 432
algemene bevolking	indirecte effecten wel of niet mogelijk	8		
	lichaam		120	95,5
	ledematen		360	286

2.4 Blootstelling aan meerdere frequenties

In de praktijk vindt veelal blootstelling aan elektromagnetische velden met verschillende frequenties plaats. Bij het bepalen of voldaan wordt aan de blootstellingslimieten dient

daarmee rekening te worden gehouden. In het advies *Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz)* (GR97) zijn daarvoor formules gegeven. De commissie geeft deze hieronder in aangepaste vorm weer, conform de voorstellen van de ICNIRP (ICN98).

Voor de basisbeperking, de stroomdichtheid in het lichaam geldt

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1$$

waarin

$$\begin{aligned} J_i &= \text{de stroomdichtheid bij frequentie } i \\ J_{L,i} &= \text{de stroomdichtheidslimiet bij frequentie } i \text{ zoals gegeven in tabel 2.} \end{aligned}$$

Voor de referentieniveaus van het elektrisch veld geldt

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq$$

waarin

$$\begin{aligned} E_i &= \text{de elektrische veldsterkte bij frequentie } i \\ E_{L,i} &= \text{de veldsterktelimiet bij frequentie } i \text{ zoals gegeven in tabel 4} \\ a &= 3 \text{ 125 V/m bij beroepsmatige blootstelling onder omstandigheden} \\ &\quad \text{waarbij geen indirecte effecten mogelijk zijn} \\ &= 500 \text{ V/m bij beroepsmatige blootstelling waar dit wel mogelijk is} \\ &= 100 \text{ V/m bij blootstelling van de algemene bevolking.} \end{aligned}$$

Bij frequenties boven 1 MHz is de veldsterkte niet meer direct berekend uit de stroomdichtheid, maar zodanig gegeven dat zij bij 10 MHz aansluit bij de waarden voor hogere frequenties uit GR97. Daarmee worden deze referentieniveaus meer bepaald door de warmte-opname, die bij hogere frequenties de beperkende factor is (GR97). Voor de stroomdichtheid wordt daarom in bovenstaande berekening een vaste limietwaarde tussen 1 MHz en 10 MHz gehanteerd, namelijk de voor 1 MHz berekende waarde (de factor a).

Voor magnetische velden geldt een vergelijkbare formule

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{x \text{ MHz}} \frac{H_i}{H_{L,i}} + \sum_{i > x \text{ kHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_i}{b} \leq 1$$

waarin

- H_i = de magnetische fluxdichtheid of veldsterkte bij frequentie i
- $H_{L,i}$ = de magnetische fluxdichtheid- of veldsterktelimiet bij frequentie i zoals
gegeven in tabel 5
- b = 30 μT of 23,9 A/m bij beroepsmatige blootstelling
= 6 μT of 4,8 A/m bij blootstelling van de algemene bevolking
- x = 67 kHz bij beroepsmatige blootstelling
= 153 kHz bij blootstelling van de algemene bevolking.

Langetermijneffecten

De commissie beperkt zich in de bespreking van langetermijneffecten tot de gegevens over blootstelling aan 50 en 60 Hz velden. De reden hiervoor is dat blootstelling aan deze frequenties, die samenhangen met de elektriciteitsvoorziening, alomtegenwoordig is. Bovendien zijn vrijwel geen gegevens beschikbaar over langetermijneffecten van blootstelling aan andere frequenties.

De commissie baseert haar conclusies over langetermijneffecten vooral op de meest recente literatuurgegevens. Zij heeft om wille van de tijd niet alle oorspronkelijke bronnen zelf geraadpleegd, maar zich deels verlaten op de recent verschenen rapporten van de Amerikaanse National Research Council (NRC97) en van het Amerikaanse National Institute for Environmental Health Services (NIEHS) (Por98). Beide geven een gedegen overzicht van de materie. Van het laatstgenoemde rapport zijn met name de kritische samenvattingen van de literatuur gebruikt als basis voor het onderstaande overzicht.

De commissie onderschrijft de conclusie die verwoord is door dr Kenneth Olden, directeur van het NIEHS, in de aanbiedingsbrief van de eindrapportage van het NIEHS aan het Amerikaanse Congres (NIE99):

De wetenschappelijke aanwijzingen dat ELF elektromagnetische velden enig risico voor de gezondheid vormen zijn zwak. De sterkste indicaties voor gezondheidseffecten zijn associaties met twee vormen van kanker die in bepaalde bevolkingsgroepen waargenomen zijn: leukemie bij kinderen en chronische lymfatische leukemie bij beroepsmatig blootgestelde volwassenen. Hoewel de afzonderlijke onderzoeken elk op zich slechts zwakke aanwijzingen bieden, toont het epidemiologisch onderzoek in zijn totaliteit, voor bepaalde

karakteristieken voor blootstelling, een tamelijk consistent beeld van een licht verhoogd risico bij toenemende blootstelling. Dat patroon is voor chronische lymfatische leukemie wat zwakker dan voor leukemie bij kinderen. Onderzoek naar een biologische mechanisme en toxiciteitsonderzoek bij dieren laat daarentegen geen eenduidig patroon zien, hoewel incidenteel biologische effecten zijn gerapporteerd. In proefdieren zijn geen aanwijzingen gevonden voor een invloed op leukemie.

[.....]

Nagenoeg alle gegevens verkregen uit experimenteel onderzoek aan proefdieren en mensen en het meeste cellulaire onderzoek naar mechanismen bieden geen ondersteuning voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan ELF EM velden met lage veldsterktes en veranderingen in biologische functies of gezondheidstoestand.

Enkele belangrijke publicaties die zijn verschenen na het uitkomen van de rapporten van de NRC en het NIEHS zijn ook door de Commissie beoordeeld. Dit heeft niet tot wijziging van bovengenoemde inzichten geleid.

3.1 Experimenteel onderzoek

Het fundamentele *in vitro* en *in vivo*-onderzoek heeft de afgelopen jaren slechts weinig nieuwe inzichten opgeleverd over een mogelijk mechanisme dat ten grondslag kan liggen aan langetermijn biologische effecten van ELF EM velden. De belangrijkste ontwikkeling in dit verband heeft betrekking op de mogelijke invloed van dergelijke velden op de overdracht van signalen in de cel. Er zijn aanwijzingen dat de structuur van bepaalde membraaneiwitten onder invloed van ELF EM velden veranderingen kan ondergaan. Dergelijke veranderingen zouden onder meer tot gevolg kunnen hebben dat het transport van calciumionen door de celmembraan verandert. Of en hoe dit specifieke signaal kan leiden tot verandering van cellulaire functies en daarmee tot gezondheidsschade is echter niet aangetoond.

In proefdieronderzoek is alleen in sommige experimenten een groeibevorderende invloed aangetoond van ELF EM velden op borsttumoren die bij ratten door bepaalde chemische agentia waren geïnduceerd (Bau95, Lös93, Mev93, Mev98). In andere experimenten is dit effect niet gevonden (Eks98, Mev96a, Mev96b, NTP98). Het betreft hier echter veldsterktes die 10 tot 100 maal zo groot zijn als wat in de woon- of werkomgeving gebruikelijk is. Bovendien is er twijfel geuit over de relevantie van het model voor borstkanker bij de mens (Por98, app. B). De gebruikte rattenstam heeft van nature een hoge gevoeligheid voor chemische carcinogenen.

In een recent voltooid onderzoek met bijna 2800 muizen is de invloed van levenslange (d.w.z., circa 2,5 jaar) continue blootstelling aan een 60 Hz-veld op de levensduur en het ontstaan van leukemie onderzocht. De voorlopige resultaten geven aan dat er geen

effect is (EPRI99). Dit onderzoek is echter nog niet in de wetenschappelijke literatuur gepubliceerd.

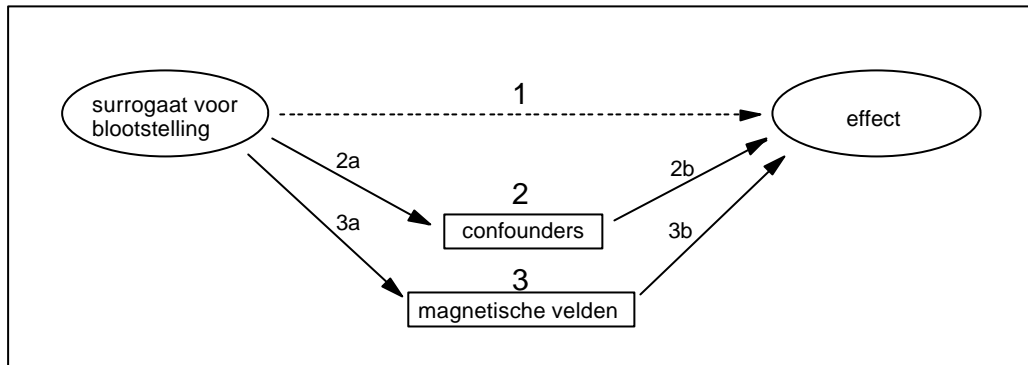
Sommige onderzoekers beschouwen een effect van ELF EM velden op de productie van het hormoon melatonine als een mogelijk mechanisme waardoor de gezondheid beïnvloed zou kunnen worden (Bal98, Ste97). Melatonine wordt in de pijnappelklier in de hersenen aangemaakt in over het etmaal sterk fluctuerende hoeveelheden. 's Nachts is de aanmaak sterker dan overdag (Rei91). Melatonine wordt vooral in de Verenigde Staten wel gebruikt als middel tegen *jetlag* en slaapstoornissen; de verkoop voor deze toepassing is in Nederland niet meer toegestaan. In het kader van de effecten van ELF EM velden is de werking als radicaalvanger echter meer van belang (Rei97). Radicalen zijn zeer reactieve moleculen die andere moleculen kunnen beschadigen. Beschadiging van DNA kan tot het ontstaan van kanker leiden. Een verlaging van het melatoninegehalte in het bloed zou daarom de kans op kanker kunnen vergroten. Bij knaagdieren is aangetoond dat blootstelling aan ELF EM velden de nachtelijke stijging van het melatoninegehalte remt (Por98, Rei98b). Er wordt dus minder aan het bloed afgegeven, waardoor de kans op kanker toe zou kunnen nemen. Bij schapen en bavianen is geen effect van blootstelling aan ELF EM velden gevonden (Por98). Uit onderzoek met menselijke vrijwilligers is evenmin een invloed van ELF EM velden op de hoeveelheid melatonine in het bloed gebleken (Ake97, Gra96, Gra97, Sel96, Woo98). Dit betekent dat een effect van ELF EM velden op het ontstaan van kanker bij de mens via beïnvloeding van het melatoninegehalte onwaarschijnlijk is.

Het bovenstaande is een beknopte samenvatting van de relevante literatuur over experimenteel onderzoek. Een uitgebreide samenvatting is onder meer te vinden in de NRC- en NIEHS-rapporten (NRC97, Por98).

3.2 Epidemiologisch onderzoek

De bezorgdheid die met enige regelmaat geuit wordt over mogelijke gevaren van blootstelling aan ELF EM velden is in vrijwel alle gevallen gebaseerd op uitkomsten van epidemiologisch onderzoek. De commissie vindt dat de kwaliteit van dat onderzoek de afgelopen jaren aanzienlijk is verbeterd. Toch heeft het nog niet geleid tot éénduidige, wetenschappelijk betrouwbare conclusies.

De onderzoeken hebben als grootste euvel dat niet vastgesteld kan worden wat de blootstelling is geweest in de periode waarin de ziekte is ontstaan. Daarom worden verschillende surrogaatmaten gebruikt om die blootstelling te karakteriseren. De *wire code*, dat wil zeggen de configuratie van de bovengrondse elektriciteitslijnen, is een maat die in de eerste onderzoeken gebruikt werd. De 'zwaarte' van de configuratie wordt in verschillende klassen ingedeeld en men gaat er van uit dat de sterkte van het magnetisch



Figuur 4 Model voor de beoordeling van de relatie tussen een surrogaatmaat voor blootstelling aan magnetische velden en een effect. De onderbroken pijl 1 geeft de associatie tussen een surrogaat voor blootstelling en het effect aan. In de routes 2 en 3 zijn verschillende stappen te onderscheiden, resp. 2a en 2b, en 3a en 3b. Bij onderzoek naar de oorzaak van de gevonden associatie dienen al deze stappen onderzocht te worden. (Bron: NRC97, gewijzigd)

veld bij een ‘zware’ configuratie groter is dan bij een ‘lichte’. De *wire code* wordt dan gezien als een maat voor de sterkte van de blootstelling in het verleden. Er zijn echter een aantal zaken waarmee rekening gehouden dient te worden bij het gebruik van een dergelijke indirecte blootstellingsmaat.

In het NRC-rapport (NRC97) wordt een conceptueel kader aangegeven voor de beoordeling van de relatie tussen *wire code*, magnetische velden en kanker bij kinderen. De commissie geeft dit conceptuele kader in figuur 4 in een meer algemene vorm.

De pijlen geven associaties aan, geen oorzakelijke relaties. Indien er, zoals aangegeven met de onderbroken pijl nummer 1, een associatie bestaat tussen een (surrogaat)maat voor blootstelling, zoals de *wire code* of een beroepsaanduiding, en een bepaald effect, zoals kanker, kunnen verschillende factoren voor die associatie verantwoordelijk zijn. De magnetische velden *kunnen* de oorzaak zijn van het effect. Dit is aangegeven als route nummer 3. De surrogaatmaat wordt dan verondersteld een aanduiding te zijn voor de magnetische veldsterkte. Het is ook mogelijk dat een andere factor die (ook) samenhangt met de surrogaatmaat, maar die nog niet is geïdentificeerd, de veroorzaker is van het effect. Te denken valt hierbij bijvoorbeeld aan blootstelling aan carcinogenen in het milieu of in beroepssituaties. Dit is weergegeven als route 2. Zo’n factor vertekent de werkelijke relatie (*confounding*) tussen magnetische velden en het effect, dat wil zeggen, er wordt een *statistische* relatie waargenomen terwijl er geen *oorzakelijk* verband bestaat. In de analyse van de epidemiologische gegevens moeten alle door pijlen aangegeven relaties worden onderzocht om een ondubbelzinnige uitspraak te kunnen doen over een mogelijk oorzakelijk verband tussen blootstelling aan magnetische velden en het bedoelde effect.

Naast het bepalen van de *wire code* worden in de onderzoeken ook geregeld metingen verricht in woningen of op de werkplek. De resultaten van deze metingen hebben als nadeel dat zij doorgaans geen goede afspiegeling zijn van de blootstelling in het verleden, omdat de blootstelling in de tijd aanzienlijk kan variëren. In enkele, met name Scandinavische, onderzoeken is de sterkte van het magnetisch veld bij hoogspanningslijnen in het verleden berekend aan de hand van beschikbare gegevens over de toenmalige belasting van de lijnen. Hoewel deze berekeningen ook hun beperkingen hebben, geven deze onderzoeken de meest directe gegevens over een relatie tussen blootstelling en gezondheidseffecten.

Blijkens het rapport van het NIEHS zijn geen duidelijke en reproduceerbare aanwijzingen gevonden voor het merendeel van de veronderstelde relaties tussen blootstelling aan ELF EM velden in de woon- of werkomgeving en het vóórkomen van ziekten, waarbij het vooral gaat om leukemie en hersentumoren bij kinderen, en leukemie, hersen- en borsttumoren en de ziekte van Alzheimer bij volwassenen (Por98). Alleen voor leukemie bij kinderen en chronische lymfatische leukemie bij beroepsmatig blootgestelden is volgens dat rapport een associatie, dat wil zeggen een statistisch significant verband, met een indirecte maat voor blootstelling (namelijk de nabijheid van elektriciteitslijnen voor kinderen en de beroepsaanduiding voor volwassenen) voldoende overtuigend aangetoond. Het NIEHS-rapport meldt ook een associatie tussen beroepsmatige blootstelling (*in casu* de beroepsaanduiding) en het vóórkomen van hersentumoren. Die associatie wordt als minder overtuigend beschouwd dan die met chronisch lymfatische leukemie. De commissie gaat hieronder op deze associaties uitgebreider in.

De commissie wijst nog op de uitkomsten van een zeer recent onderzoek die na het verschijnen van de NIEHS- en NRC-rapporten zijn gepubliceerd. Hieruit komt een mogelijke associatie naar voren tussen beroepsmatige blootstelling aan ELF EM velden en geringe veranderingen in het hartritme (Sav99). Het gaat hier slechts om één onderzoek, waarop qua opzet en uitvoering nog wel het een en ander af te dingen valt. Het is dan ook nog te vroeg om een conclusie te trekken over een mogelijk oorzakelijk verband en een invloed op de gezondheid. Toch meent de commissie dat de resultaten nader onderzoek rechtvaardigen.

3.2.1 *Leukemie bij kinderen*

De commissie meent dat er, in het totaal van de resultaten van epidemiologisch onderzoek, in aanmerking genomen de sterke en zwakke punten van de verschillende onderzoeken, sprake is van een redelijk consistente associatie tussen het voorkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen, zowel hoogspannings- als distributielijnen. Zoals reeds eerder aangegeven, wijzen de ge-

gegevens echter niet direct op een oorzakelijk verband met blootstelling aan ELF EM velden.

Deze conclusie, die overeenkomt met die in zowel het NRC- als in het NIEHS-rapport (NRC97, Por98), is vooral gebaseerd op de resultaten van onderzoek in de VS en in Scandinavische landen. Het maakt voor de conclusie geen verschil of alle onderzoeken naar leukemie bij kinderen in de analyse worden meegenomen, of slechts een selectie die aan bepaalde (kwaliteits)criteria voldoet, zoals in de rapporten van de NRC en het NIEHS is gedaan.

In het Amerikaanse onderzoek gaat het vooral om een associatie met de configuratie van de daar veelal bovengronds lopende distributielijnen van het elektriciteitsnet (de *wire code*). Het blijkt dat in de buurt van lijnen waar meer stroom doorheen gaat en waarbij dus hogere ELF EM veldsterktes heersen leukemie bij kinderen verhoudingsgewijs meer voorkomt dan elders. In het NIEHS-rapport zijn vier onderzoeken beschouwd waarin de *wire code* is gebruikt als maat voor de blootstelling. In drie van de vier is een licht positieve associatie gevonden (Lon91, Sav88, Wer79), terwijl uit het vierde onderzoek geen relatie naar voren kwam (Lin97). Mogelijke vertekening van de uitkomsten door gebreken in de opzet van het onderzoek waren op zich geen verklaring voor de positieve resultaten. Ook versturende factoren zoals verkeersdichtheid en sociaal-economische factoren waren niet van doorslaggevende invloed. Een meta-analyse geeft een lichte, maar statistisch significante verhoging van het risico te zien (relatief risico 1,4; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,0-2,0) (War98).

In twee recent verschenen publicaties over onderzoek in Canada zijn geen statistisch significante associaties gevonden met de *wire code* (Gre99, McB99). De aantallen van in deze beide onderzoeken betrokken personen zijn echter zeker niet toereikend voor neutralisatie van de zojuist bedoelde uitkomst van de meta-analyse (zie ook War98).

In enkele Scandinavische onderzoeken is retrospectief de sterkte van het magnetisch veld van nabijgelegen hoogspanningslijnen berekend in de huizen waarin de onderzochte personen gedurende een relevante periode in het verleden woonachtig waren. Deze veldsterkte is als blootstellingscriterium gehanteerd. De resultaten van deze onderzoeken lijken de aanwijzingen voor een licht verhoogd risico uit het onderzoek met *wire codes* te ondersteunen. In drie van de vier onderzoeken waarvan de kwaliteit door de opstellers van het NIEHS-rapport voldoende hoog werd bevonden, is een zwakke blootstellings-responsrelatie waargenomen (Fey93, Ols93, Ver93). In een vierde onderzoek ontbrak deze (Tyn97). Versturende factoren zoals verkeersdichtheid en sociaal-economische status waren niet van noemenswaardige invloed op de uitkomst. Wel waren in deze populatie-onderzoeken de aantallen onderzochte personen klein, wat afbreuk doet aan de betrouwbaarheid van de resultaten. Ook is geen rekening gehouden met de tijd die niet in de woningen is doorgebracht. Een meta-analyse van deze vier onderzoe-

ken toont een lichte, maar statistisch juist significante verhoging van het risico (relatief risico 1,6; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,0-2,7) (War98).

In het NIEHS-rapport komen ook drie onderzoeken aan de orde waarin de actuele sterkte van het elektromagnetische veld in de woningen eenmalig kortdurend is gemeten (Lon91, Mic98, Sav88). De resultaten zijn niet eenduidig: in slechts één van de drie onderzoeken (Sav88) is een verband gevonden, maar de waarde van dat onderzoek is beperkt, vanwege het zeer lage deelnamepercentage van patiënten. Een meta-analyse van deze onderzoeken laat geen significant verhoogd risico zien (relatief risico 1,2; 95% betrouwbaarheidsinterval 0,7-2,1) (War98).

In drie onderzoeken waarin de actuele magnetische veldsterkte gemeten is gedurende 24 uur is een verhoging van het risico gevonden voor patiënten in de hogere blootstellingsklassen (Lin97, Lon91, Mic98). In slechts één onderzoek was een dosis-responsrelatie zichtbaar (Lin97). Het aantal patiënten was echter in alle onderzoeken laag, mede vanwege een laag deelnamepercentage. Verder zijn tegen elk van de onderzoeken verschillende methodologische bezwaren in te brengen. Een meta-analyse laat een lichte, maar statistisch juist significante verhoging van het risico zien (relatief risico 1,5; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,0-2,3) (War98).

In één van de hierboven genoemde recente onderzoeken uit Canada is geen relatie gevonden met de gemeten magnetische veldsterkte (McB99). In het andere (Gre99) manifesteerde zich alleen voor enkele subgroepen een verhoogd risico met de gemeten veldsterkte in of buiten de woning, maar vergelijking van deze subgroepen geeft geen consistent beeld te zien. Uit een recent gepubliceerd groot opgezet onderzoek uit Groot-Brittannië is geen verband naar voren gekomen tussen 48-uurs metingen en de kans op leukemie bij kinderen (Day99). Hetzelfde geldt voor een kleiner onderzoek in Nieuw-Zeeland (Doc99). Nadere meta-analyse zal uit moeten wijzen of deze recente onderzoeken van invloed zijn op de voorlopige conclusie dat er een lichte, maar statistisch significante associatie bestaat.

Bij de analyse van epidemiologische onderzoeken is het van belang een aantal criteria in overweging te nemen die in de epidemiologie gebruikt worden bij het trekken van conclusies over een oorzakelijk verband. De commissie heeft daarbij de overwegingen in aanmerking genomen die zijn verwoord in 1.3.

De commissie wil hier nogmaals benadrukken dat de hierboven genoemde zwakke associaties slechts *statistische zeggingskracht* hebben. Een *oorzakelijk* verband is zeker niet aangetoond. Ander onderzoek, zoals experimenteel onderzoek naar een biologisch werkingsmechanisme, heeft geen aanwijzingen opgeleverd voor een oorzakelijk verband (zie 3.1). Het valt daarom niet uit te sluiten dat andere, vooralsnog onbekende risicofactoren, die vaker een rol spelen bij personen die in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen wonen, verantwoordelijk zijn voor de in sommige onderzoeken ge-

vonden verhoogde incidentie van leukemie. Juist omdat over de oorzaken van leukemie bij kinderen nog maar zeer weinig bekend is, zou een thans niet bekende risicofactor, bijvoorbeeld een carcinogeen in het milieu, de associatie tussen leukemie en het wonen in de nabijheid van elektriciteitslijnen kunnen verklaren. Daarbij rijst dan de vraag of zo'n risicofactor ook in Nederland aanwezig is en een rol speelt.

Indien bovengenoemde associatie ook in Nederland aanwezig is, dan zou dat, op grond van een globale schatting, betekenen dat slechts minder dan een half procent van de jaarlijks circa 110 nieuwe gevallen van kinderleukemie in Nederland hiermee verklaard zou kunnen worden.

3.2.2 *Epidemiologisch onderzoek bij beroepsmatig blootgestelden*

In een groot aantal epidemiologische onderzoeken is de relatie tussen beroepsmatige blootstelling aan ELF EM velden en het optreden van kanker onderzocht. Het gaat hierbij om patiënt-controleonderzoek, onderzoek naar het sterfjepatroon en cohortonderzoek. De patiënt-controleonderzoeken waren voornamelijk gericht op leukemie, hersentumoren en in mindere mate op longkanker en borstkanker bij mannen. De cohortonderzoeken zijn voornamelijk gedaan bij werknemers van elektriciteitsmaatschappijen.

Kheifets (Khe95) combineerde in een meta-analyse de resultaten van 29 onderzoeken naar de mogelijke associatie tussen beroepsmatige blootstelling aan ELF EM velden en het optreden van hersentumoren. De uitkomst was een kleine maar statistisch significante verhoging van het risico (relatief risico 1,2; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,1-1,3). Enkele onderzoeken leverden voldoende informatie voor een dosis-effect-analyse, maar een dosis-effectrelatie is niet gevonden.

Een meta-analyse van onderzoeken naar een mogelijke associatie tussen beroepsmatige blootstelling aan ELF EM velden en het optreden van leukemie laat eenzelfde beeld zien (Khe97). Ook in dit geval leverde het combineren van de resultaten van 42 beschikbare onderzoeken van voldoende kwaliteit aanwijzingen op voor het bestaan van een licht maar statistisch significant verhoogd risico (relatief risico 1,2; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,1-1,3). Bij uitsplitsing van de gegevens naar verschillende vormen van leukemie bleek het relatieve risico voor chronisch lymfatische leukemie het grootst te zijn (relatief risico 1,6; 95% betrouwbaarheidsinterval 1,1-2,2). Er zijn echter geen aanwijzingen gevonden voor het bestaan van een dosis-effectrelatie.

Een belangrijke beperking bij beide meta-analyses is, dat in de verschillende onderzoeken de blootstelling doorgaans op verschillende wijzen is gecategoriseerd.

Er zijn ook andere factoren naar voren gebracht die de gevonden associatie tussen blootstelling aan ELF EM velden en het optreden van kanker zouden kunnen verklaren (Khe97). Voorbeelden zijn blootstelling aan carcinogene stoffen op de werkplek, publi-

catie-bias (de neiging om resultaten van onderzoeken waarin geen associatie gevonden wordt niet te publiceren) en het feit dat verscheidene onderzoeken niet *a priori* gericht waren op de relatie tussen blootstelling aan ELF EM velden en kanker.

De commissie concludeert dat er tamelijk consistente epidemiologische aanwijzingen zijn voor een, overigens zwakke, associatie tussen bepaalde indicatoren voor beroepsmatige blootstelling aan ELF EM velden en het optreden van enkele vormen van kanker. De associatie is relatief het duidelijkst voor chronisch lymfatische leukemie, maar ook gevonden voor leukemie in het algemeen en voor hersentumoren bij volwassenen. Volgens het NIEHS-rapport (Por98) is alleen voor chronisch lymfatische leukemie een associatie waarschijnlijk. De consistentie van het epidemiologisch onderzoek naar beroepsmatige blootstelling is echter in alle gevallen minder dan bij leukemie bij kinderen. Deze constatering, gevoegd bij het feit dat in geen enkel onderzoek een dosis-effectrelatie is gevonden en dat enigerlei aanwijzing voor een biologisch mechanisme ontbreekt, maakt het volgens de commissie onwaarschijnlijk dat er een oorzakelijk verband bestaat tussen beroepsmatige blootstelling aan ELF EM velden en genoemde vormen van kanker.

3.3 Conclusies

De commissie komt tot de slotsom dat epidemiologisch onderzoek geen aanwijzingen heeft geleverd voor een relatie tussen blootstelling aan ELF EM velden bij de relatief lage veldsterktes die in de woon- of werkomgeving vóórkomen en het merendeel van de onderzochte ziekten en aandoeningen. Er zijn echter enkele uitzonderingen.

Ten eerste wijzen de gegevens verkregen uit epidemiologisch onderzoek op een redelijk consistente associatie tussen wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen en een geringe verhoging van de kans op leukemie bij kinderen. Een oorzakelijk verband met blootstelling aan ELF EM velden of welke risicofactor dan ook, is echter op grond van deze gegevens niet vast te stellen. Indien deze associatie ook in Nederland aanwezig zou zijn, zou dat, op grond van een globale schatting, betekenen dat slechts minder dan een half procent van de jaarlijks circa 110 nieuwe gevallen van kinderleukemie in Nederland hiermee verklaard zou kunnen worden.

Ten tweede is er in de ogen van de commissie een tamelijk consistente associatie tussen beroepsmatige werkzaamheden waarbij blootstelling aan ELF EM velden plaatsvindt en het optreden van chronische lymfatische leukemie. Zwakkere aanwijzingen zijn er voor een associatie met leukemie in het algemeen en hersentumoren bij volwassenen. De consistentie van deze associaties is echter nog minder sterk dan die tussen wonen nabij elektriciteitslijnen en leukemie bij kinderen, en een oorzakelijk verband met blootstelling aan ELF EM velden is met deze gegevens niet vast te stellen.

Ook experimenteel onderzoek heeft geen aanwijzingen opgeleverd voor het bestaan van een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan ELF EM velden en het optreden van enigerlei vorm van kanker. Evenmin heeft dit onderzoek opheldering gegeven aan gaande enig plausibel biologisch mechanisme dat een dergelijk verband bij de mens zou kunnen verklaren. Er is dus geen verklaring voor de in het epidemiologisch onderzoek gevonden associaties. Het is mogelijk dat een of meer andere factoren dan blootstelling aan ELF EM velden hiervoor verantwoordelijk zijn. Er zijn echter geen aanwijzingen welke deze factoren zouden kunnen zijn.

De commissie meent dat er op grond van de huidige, in dit advies beschreven wetenschappelijke inzichten geen reden is te adviseren maatregelen te nemen om het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen of het werken onder omstandigheden met een verhoogde blootstelling aan ELF EM velden te beperken. Zij beveelt wel aan om de wetenschappelijke ontwikkelingen op dit gebied te blijven volgen.

Den Haag, 7 maart 2000,
voor de commissie

dr E van Rongen
secretaris

prof. dr EW Roubos
voorzitter

Literatuur

-
- Ake97 Akersted T, Arnetz B, Picca G, e.a. Effects of low frequency electromagnetic fields on sleep and some hormones (summary). *Stress Res Rep* 1997; 275.
- Adr77 Adrian DJ. Auditory and visual sensations stimulated by low-frequency electric currents. *Radio Sci* 1977; 12: 243-50.
- Bai86 Bailey WH, Charry JM. Behavioral monitoring of rats during exposure to air ions and DC electric fields. *Bioelectromagnetics* 1986; 7: 329-39.
- Bal98 Baldwin WS, Barrett JC. Melatonin: receptor-mediated events that may affect breast and other steroid hormone-dependent cancers. *Mol Carcinog* 1998; 21(3): 149-55.
- Bau95 Baum A, Mevissen M, Kamino K, e.a. A histopathological study on alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 μ T magnetic field exposure. *Carcinogenesis* 1995; 16: 119-25.
- Ber88 Bernhardt JH. The establishment of frequency dependent limits for electric and magnetic fields and evaluation of indirect effects. *Radiat Environ Biophys* 1988; 27(1): 1-27.
- Car85 Carstensen EL. Sensitivity of the human eye to power frequency electric fields. *IEEE Trans Biomed Eng* 1985; BME-32(8): 561-5.
- Cla89 Clairmont BA, Johnson GB, Zaffanella LE, e.a. The effects of HVAC-HVDC line separation in a hybrid corridor. *IEEE Trans Power Deliv* 1989; 4: 1338-50.
- Daw97 Dawson TW, Caputa K, Stuchly MA. Influence of human model resolution on computed currents induced in organs by 60-Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1997; 18(7): 478-90.
- Day99 Day N, Skinner J, Roman E, e.a. Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. *Lancet* 1999; 354: 1925-31.
-

- Doc99 Dockerty JD, Elwood JM, Skegg DCG, e.a. Electromagnetic field exposures and childhood leukemia in New Zealand. *Lancet* 1999; 354: 1931-33.
- EC96 European Commission. Non-ionizing radiation. Sources, exposure and health effects. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996.
- Eks98 Ekstrom T, Mild KH, Holmberg B. Mammary tumours in Sprague-Dawley rats after initiation with DMBA followed by exposure to 50 Hz electromagnetic fields in a promotional scheme. *Cancer Lett* 1998; 123(1): 107-11.
- EPRI99 Electric Power Research Institute (EPRI). Mouse study finds no EMF-leukemia link. *EPRI J* 1999, spring: 7.
- Fam81 Fam WZ. Prolonged exposure of mice to 340 kV/m electrostatic field. *IEEE Trans Biomed Eng* 1981; BME-28: 453-9.
- Fey93 Feychting M, Ahlbom A. Magnetic-fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power-lines. *Am J Epidemiol* 1993; 138(7): 467-81.
- For91 Forschungsstelle für Elektropathologie an der Universität Witten-Herdecke. Elektrische und magnetische 50-Hz-Felder. Herdecke: Forschungsstelle für Elektropathologie an der Universität Witten-Herdecke, Institut für Physiologie, 1991.
- GR92 Gezondheidsraad: Commissie ELF elektromagnetische velden. Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad, 1992; publicatie nr 1992/07.
- GR97 Gezondheidsraad: Commissie Radiofrequente elektromagnetische velden. Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz). Rijswijk: Gezondheidsraad, 1997; publicatie nr 1997/01.
- Gra96 Graham C, Cook MR, Riffle DW, e.a. Nocturnal melatonin levels in human volunteers exposed to intermittent 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1996; 17(4): 263-73.
- Gra97 Graham C, Cook MR, Riffle DW. Human melatonin during continuous magnetic field exposure. *Bioelectromagnetics* 1997; 18(2): 166-71.
- Gra99 Graham C, Cook MR. Human sleep in 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1999; 20(5): 277-83.
- Gre99 Green LM, Miller AB, Villeneuve PJ, e.a. A case-control study of childhood leukemia in southern Ontario, Canada, and exposure to magnetic fields in residences. *Int J Cancer* 1999; 82: 161-70.
- Guy85 Guy AW. Hazards of VLF electromagnetic fields. In: AGARD. The impact of proposed radiofrequency radiation standards on military operations. Brussels: AGARD, 1985; 9.1-20; (AGARD lecture series 138).
- Hil71 Hill AB. Principles of medical statistics. New York: Oxford University Press, 1971: 309-23.
- ICN94 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Phys* 1994; 66: 100-6.
- ICN98 International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields. *Health Phys* 1998; 74(4): 494-522.
- Khe95 Kheifets LI, Afifi AA, Buffler PA, e.a. Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer. A meta-analysis. *J Occup Environ Med* 1995; 37: 1237-41.
- Khe97 Kheifets LI, Afifi AA, Buffler PA, e.a. Occupational electric and magnetic field exposure and leukemia. A meta-analysis. *J Occup Environ Med* 1997; 39: 1074-91.
-

- Kow91 Kowalczyk CI, Sienkiewicz ZJ, Saunders RD. Biological effects of exposure to non-ionising electromagnetic fields and radiation. Chilton, Didcot: National Radiological Protection Board, 1991; (publicatie nr NRPB-R238).
- Lee86 Lee JM, Burns A, Lee GE, e.a. Electrical and biological effects of transmission lines: a review. Portland, OR: US Department of Energy, Bonneville Power Administration, 1986.
- Lin97 Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, e.a. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *New Eng J Med* 1997; 337: 1-7.
- Lös93 Löscher W, Mevissen M, Lehmacher W, e.a. Tumor promotion in a breast-cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. *Cancer Lett* 1993; 71(1-3): 75-81.
- Lon91 London SJ, Thomas DC, Bowman JD, e.a. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am J Epidemiol* 1991; 134(9): 923-37.
- Löv80a Lövsund P, Öberg PÅ, Nilsson SEG. Magneto- and electrophosphenes: a comparative study. *Med Biol Eng Comput* 1980; 18: 758-64.
- Löv80b Lövsund P, Öberg PÅ, Nilsson SEG. Magnetophosphenes: a quantitative analysis of thresholds. *Med Biol Eng Comput* 1980; 18: 326-34.
- McB99 McBride ML, Gallagher RP, Theriault G, e.a. Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Am J Epidemiol* 1999; 149(9): 831-42.
- Mev93 Mevissen M, Stamm A, Buntenkotter S, e.a. Effects of magnetic-fields on mammary tumor development induced by 7,12-dimethylbenz(a)anthracene in rats. *Bioelectromagnetics* 1993; 14: 131-43.
- Mev96a Mevissen M, Lerchl A, Löscher W. Study on pineal function and DMBA-induced breast cancer formation in rats during exposure to a 100-mG, 50-Hz magnetic-field. *J Toxicol Environ Health* 1996; 48(2): 169-85.
- Mev96b Mevissen M, Lerchl A, Szamel M, e.a. Exposure of DMBA-treated female rats in a 50-Hz, 50- μ T magnetic field - Effects on mammary-tumor growth, melatonin levels, and t-lymphocyte activation. *Carcinogenesis* 1996; 17(5): 903-10.
- Mev98 Mevissen M, Haussler M, Lerchl A, e.a. Acceleration of mammary tumorigenesis by exposure of 7,12-dimethylbenz(a)anthracene-100 μ T magnetic field: replication study. *J Toxicol Environ Health* 1998; 53: 401-18.
- Mic98 Michaelis J, Schuez J, Meinert R, e.a. Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia. *Epidemiology* 1998; 9: 92-4.
- NIE99 National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS). Health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. Research Triangle Park, NC: National Institute of Environmental Health Sciences, National Institutes of Health, 1999; (publicatie nr NIH 99-4493).
- NRC97 National Research Council (NRC). Committee on the Possible Effects of Electromagnetic Fields on Biological Systems. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. Washington, DC: National Academy Press, 1997.
- NRPB93 National Radiological Protection Board (NRPB). Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation. Chilton: National Radiological Protection Board, 1993; (Documents of the NRPB, Vol 4, Nr 5).
-

- NTP98 National Toxicology Program. Studies of magnetic field promotion in Sprague-Dawley rats. Research Triangle Park, NC: National Institute of Health, National Institute of Environmental Health Sciences, National Toxicology Program, 1998.
- Ols93 Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high-voltage facilities and risk of cancer in children. *Br Med J* 1993; 307(6909): 891-5.
- Por98 Portier CJ, Wolfe MS, red. Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. NIEHS Working Group report. Research Triangle Park, NC: National Institute of Environmental Health Sciences, National Institutes of Health, 1998; (publicatie NIH 98-3981).
- Rei91 Reiter RJ. Pineal melatonin: cell biology of its synthesis and of its physiological interactions. *Endocrine Rev* 1991; 12: 151-80.
- Rei97 Reiter RJ. Antioxidant actions of melatonin. *Adv Pharmacol* 1997; 38: 103-17.
- Rei98a Reilly JP. Applied bioelectricity. From electrical stimulation to electropathology. New York: Springer, 1998.
- Rei98b Reiter RJ. Melatonin in the context of the reported bioeffects of environmental electromagnetic fields. *Bioelectrochem Bioenergetics* 1998; 47: 135-42.
- Rep99 Repacholi MH, Greenebaum B. Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 1999; 20(3): 133-60.
- Sav88 Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, e.a. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. *Am J Epidemiol* 1988; 128(1): 21-38.
- Sav99 Savitz DA, Liao D, Sastre A, e.a. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol* 1999; 149(2): 135-42.
- Sch92 Schenck JF, Dunmoulin CL, Redington RW, e.a. Human exposure to 4-T magnetic fields in a whole-body scanner. *Med Phys* 1992; 19: 1089-98.
- Sel96 Selmaoui B, Lambrozo J, Touitou Y. Magnetic fields and pineal function in humans - Evaluation of nocturnal acute exposure to extremely-low-frequency magnetic-fields on serum melatonin and urinary 6-sulfatoxymelatonin circadian rhythms. *Life Sci* 1996; 58(18): 1539-49.
- Sim92 Simon NJ. Biological effects of static magnetic fields: a review. Boulder, CO: International Cryogenic Materials Commission, Inc., 1992.
- Ste97 Stevens RG, Wilson BW, Anderson LE. The melatonin hypothesis: Breast cancer and use of electric power. Columbus, OH: Batelle Press, 1997.
- Ten85 Tenforde TS, Gaffey CT, Rayboun MS. Influence of stationary magnetic fields on ionic conduction process in biological systems. In: Dvorak T, red. Proceedings of the Sixth Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility. Zürich, 1985: 205-10.
- Ten87 Tenforde TS, Kaune WT. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. *Health Phys* 1987; 53(6): 585-606.
- Tyn97 Tynes T, Haldorsen T. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. *Am J Epidemiol* 1997; 145(3): 219-26.
- Ver93 Verkasalo P, Pukkala E, Hongisto MY, e.a. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Br Med J* 1993; 307: 895-9.
-

- War98 Wartenberg D. Residential magnetic fields and childhood leukemia: a meta-analysis. *Am J Public Health* 1998; 88: 1787-94.
- Wer79 Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configuration and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979; 109: 273-84.
- Wev70 Wever R. The effects of electric fields on circadian rhythmicity in men. *Life Sci Space Res* 1970; 8: 177-87.
- WHO89 World Health Organization (WHO). Nonionizing radiation protection. Sues MJ, Benwell-Morrisson DA, red. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, 1989; (WHO regional publications. European series nr 25).
- Woo98 Wood AW, Armstrong SM, Sait ML, e.a. Changes in human plasma melatonin profiles in response to 50 Hz magnetic field exposure. *J Pineal Res* 1998; 25(2): 116-27.

-
- A De commissie
 - B Termen en begrippen
 - C Vergelijking met ICNIRP aanbevelingen

Bijlagen

De commissie

-
- dr EW Roubos, *voorzitter*
hoogleraar dierkunde, neurofysioloog; Katholieke Universiteit Nijmegen
 - drs FBJ Koops
bioloog; KEMA, Arnhem
 - dr ir FE van Leeuwen
hoogleraar epidemiologie van kanker; Vrije Universiteit Amsterdam,
epidemioloog; Nederlands Kanker Instituut, Amsterdam,
 - dr GC van Rhoon
fysicus; AZR-Daniel, Rotterdam
 - dr GMH Swaen
epidemioloog; Universiteit Maastricht
 - DHJ van de Weerd, arts
medisch milieukundige; GGD Zwolle
 - dr ir APM Zwamborn
hoogleraar elektromagnetische effecten; Technische Universiteit Eindhoven,
fysicus; TNO, Den Haag
 - dr E van Rongen, *secretaris*
radiobioloog; Gezondheidsraad, Den Haag
-

Termen en begrippen

1 Grootheden en eenheden

<i>A</i>	ampère, eenheid van elektrische stroom
<i>mA</i>	milliampère = 10^{-3} A
<i>V</i>	volt: eenheid van spanning
<i>mV</i>	millivolt = 10^{-3} V
<i>kV</i>	kilovolt = 10^3 V
<i>E</i>	elektrische veldsterkte, gegeven in V/m
<i>H</i>	magnetische veldsterkte, gegeven in A/m
<i>T</i>	tesla: eenheid van magnetische fluxdichtheid
<i>mT</i>	millitesla = 10^{-3} T
μ T	microtesla = 10^{-6} T
<i>B</i>	magnetische fluxdichtheid, gegeven in Tesla
<i>A/m</i>	ampère per meter: eenheid van magnetische veldsterkte
<i>V/m</i>	volt per meter: eenheid van elektrische veldsterkte
<i>s</i>	elektrische geleidbaarheid, gegeven in S/m
<i>f</i>	frequentie, gegeven in Hz
<i>H</i>	henry: eenheid van zelfinductie
<i>H/m</i>	henry per meter: eenheid van magnetische permeabiliteit
<i>Hz</i>	hertz: eenheid van frequentie; 1 Hz is gelijk aan 1 cyclus per seconde
<i>kHz</i>	kilohertz = 10^3 Hz
<i>MHz</i>	megahertz = 10^6 Hz

GHz	gigahertz = 10^9 Hz
J	stroomdichtheid, gegeven in A/m^2
mA/m^2	milliampère per $m^2 = 10^{-3} A/m^2$
m	meter: eenheid van lengte
cm	centimeter = 10^{-2} m
km	kilometer = 10^3 m
m/s	meter per seconde: eenheid van snelheid
S	siemens: eenheid van geleidingsvermogen
S/m	siemens per meter: eenheid van geleidbaarheid
s	seconde: eenheid van tijd

2 Elektromagnetische begrippen

Elektrische veldsterkte (E)

Een grootte van het elektrische veld die de kracht (F) weergeeft die op een bepaald punt op een positieve lading (q) wordt uitgeoefend, gedeeld door de lading.

$$E = F / q$$

De eenheid is Volt per meter (V/m).

Elektrische stroom

Transport van elektrische lading.

Elektrische stroomdichtheid (J)

De dichtheid van de elektrische stroom die door een oppervlak loodrecht op de stroomrichting vloeit. De eenheid is ampère per vierkante meter (A/m^2).

De stroomdichtheid is gerelateerd aan de elektrische veldsterkte E volgens $J = k f E$, waarbij f de frequentie is en k een constante.

De stroomdichtheid in een cirkel in een vlak loodrecht op de richting van het magnetisch veld is gerelateerd aan de magnetische fluxdichtheid B volgens

$J = \pi r f \sigma B$, waarbij r de straal van de cirkel is, f de frequentie en σ de elektrische geleidbaarheid van het medium.

ELF EM velden

Extreem laagfrequente elektromagnetische velden, met frequenties tussen 0 en 300 Hz.

Frequentie

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

Magnetisch veldsterkte (H)

Een grootte die gelijk is aan de magnetische fluxdichtheid gedeeld door de permeabiliteit van het medium. De eenheid is ampère per meter (A/m).

Magnetische fluxdichtheid (B)

Een grootheid die resulteert in een kracht (F) op een bewegende lading. Het vectorproduct van B en de snelheid (v) waarmee een oneindig kleine lading (q) beweegt in B , is gelijk aan de kracht die op de lading wordt uitgeoefend gedeeld door q .

$$F / q = (v \times B)$$

Ontladingsstroom

Elektrische stroom die vloeit wanneer een opgeladen lichaam in contact met de aarde komt en ontladen wordt.

Permeabiliteit

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

Pulsvormig veld

Elektromagnetisch veld waarvan de polariteit niet, zoals bij een sinusvormige veld, verandert volgens een harmonisch patroon, maar via abrupte wisselingen.

Rms, root mean square

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

$$E_{\text{rms}} = \left[(1/T) \int_0^{T+T} E^2(t) dt \right]^{0,5}$$

Sinusvormig veld

Een wisselveld dat beschreven wordt als een harmonische trilling door een sinusoïde, waarin de uitwijking x als functie van de tijd beschreven wordt door

$$x = a \sin(2\pi f t + \phi), \text{ waarbij } a \text{ de amplitude is, } f \text{ de frequentie en } \phi \text{ de beginfasehoek.}$$

Statisch veld

Een elektrisch of magnetisch veld waarvan de polariteit in de tijd gelijk blijft.

Wet van Faraday

Indien een gesloten stroomkring met weerstand R een met de tijd variërende magnetische flux Φ omvat, dan wordt in die stroomkring een inductiestroom J opgewekt waarvan de grootte evenredig is met de snelheid van de fluxverandering.

$$J = -(d\Phi/dt) / R$$

Wisselveld

Een elektromagnetisch veld met een afwisselende positieve en negatieve polariteit.

3 Overige begrippen

Algemene bevolking

Iedereen die niet tot de beroepsbevolking gerekend wordt.

Associatie

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

Basisbeperkingen

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

Beroepsbevolking

Volwassenen die in het kader van hun beroepsuitoefening blootgesteld kunnen worden aan EM velden *en* die voorlichting hebben gekregen over de risico's die met die blootstelling samenhangen en over de voorzorgs- of beschermingsmaatregelen die genomen kunnen worden.

Carcinogenen

Kankerverwekkende stoffen.

Cardiovasculair systeem

Hart en bloedvaten.

Chronische lymfatische leukemie

Niet-acuut optredende vorm van leukemie van lymfocyttaire bloedcellen.

Cognitieve functies

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

Cohortonderzoek

Epidemiologisch onderzoek met de blootstelling als uitgangspunt. Men stelt, bij een bepaalde gekozen blootstellingsfactor, een groep van blootgestelde personen en een gelijkwaardige controlegroep van niet-blootgestelden samen. In beide groepen wordt gedurende enige tijd het optreden van ziekten

geobserveerd. Het vaker vóórkomen van een bepaalde ziekte in de groep blootgestelden kan een aanwijzing zijn voor een oorzakelijk verband met de gekozen blootstellingsfactor.

Directe effecten

Effecten veroorzaakt door de inwerking van elektrische, magnetische of elektromagnetische velden op een blootgesteld organisme.

Distributielijnen

Bovengronds netwerk van elektriciteitslijnen die met een lagere spanning dan hoogspanningslijnen de elektriciteit binnen woongebieden naar de eindgebruikers transporteren.

Dosis-responsrelatie

Toenemend effect bij toenemende blootstelling aan een bepaalde factor.

Epidemiologisch onderzoek

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

Fosfenen

Lichtvlekken of flitsen die waargenomen worden door directe stimulatie van het netvlies door elektrische stroom of door druk op de oogbol.

Hoogspanningslijnen

Bovengronds lange-afstandstransportsysteem voor elektriciteit.

Indirecte effecten

Effecten die kunnen optreden wanneer ten gevolge van blootstelling aan een elektrisch veld een potentiaalverschil ontstaat tussen een organisme en een niet-geaard object. Het object gedraagt zich dan als een condensator en er zal, bij aanraking door een organisme dat wel contact met de aarde heeft, een ontladingsstroom lopen.

In vitro-onderzoek

Experimenteel onderzoek bij gekweekte cellen of weefsels.

In vivo-onderzoek

Experimenteel onderzoek bij intacte organismen, zoals proefdieren.

Kortetermijneffect

Biologisch effect dat optreedt gedurende de blootstelling.

Langetermijneffect

Biologisch effect dat zich pas enige tijd na blootstelling openbaart.

Leukemie

Bloedcelkanker, ongecontroleerde groei van voorstadia van witte bloedcellen.

Melatonine

Een hormoon dat in de pijnappelklier in de hersenen wordt aangemaakt en een rol speelt in het dag-nachtritme. Het kan tevens functioneren als radicaalvanger.

Meta-analyse

Een methode uit de epidemiologie waarbij de resultaten uit verschillende onderzoeken worden gecombineerd in één enkele gecombineerde analyse. Een dergelijke aanpak heeft beperkingen als de onderzoeken niet gelijk van opzet waren en de risicofactoren niet op dezelfde wijze zijn gemeten. Maar bij min of meer gelijkwaardige onderzoeken, waarin een zwak verband (een relatief risico kleiner dan 2) soms wel en soms niet wordt gevonden, kan een meta-analyse nuttig zijn om een overall beeld te krijgen.

Patiënt-controleonderzoek

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

Radicalen

Zeer reactieve moleculen die andere moleculen kunnen beschadigen.

Referentieniveaus

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

Sociaal-economische factoren

Bepaalde factoren die betrekking hebben op de levensomstandigheden – bijvoorbeeld inkomen, gezinssamenstelling en opleiding – en die van belang kunnen zijn bij de interpretatie van de uitkomst van epidemiologisch onderzoek.

Statistisch significant effect

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

Veiligheidsfactor

Een factor waarmee de maximale waarde van het aan een basisbeperking ten grondslag liggende fenomeen die nog niet tot gezondheidseffecten aanleiding geeft, wordt verminderd om tot de uiteindelijke basisbeperking te komen. Bijvoorbeeld: in een bepaald frequentiegebied wordt bij een stroomdichtheid van 1000 mA/m^2 nog net geen effect op zenuwvezels gevonden. Toepassing van een veiligheidsfactor 10 resulteert in de basisbeperking van 100 mA/m^2 . Veiligheidsfactoren worden toegepast vanwege onzekerheden en onvolledigheden in de wetenschappelijke kennis en mogelijke verschillen in gevoeligheid tussen verschillende bevolkingsgroepen.

Wire code

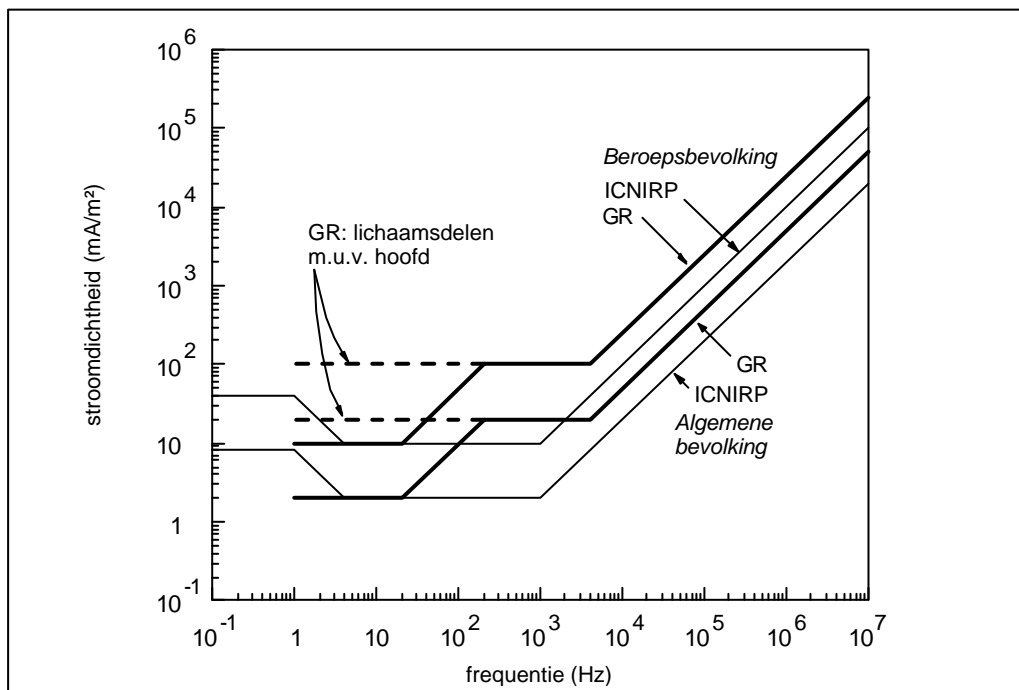
De indeling in een beperkt aantal klassen van het totaal van componenten van het bovengrondse elektriciteitsdistributiesysteem: het aantal draden met hoge en met lage spanning, hun onderlinge positie en de plaats van de transformatoren; dit alles gerelateerd aan de afstand tot een woning. Deze indeling heeft een zekere relatie met de sterkte van het elektromagnetische veld bij de woning.

Ziekte van Alzheimer

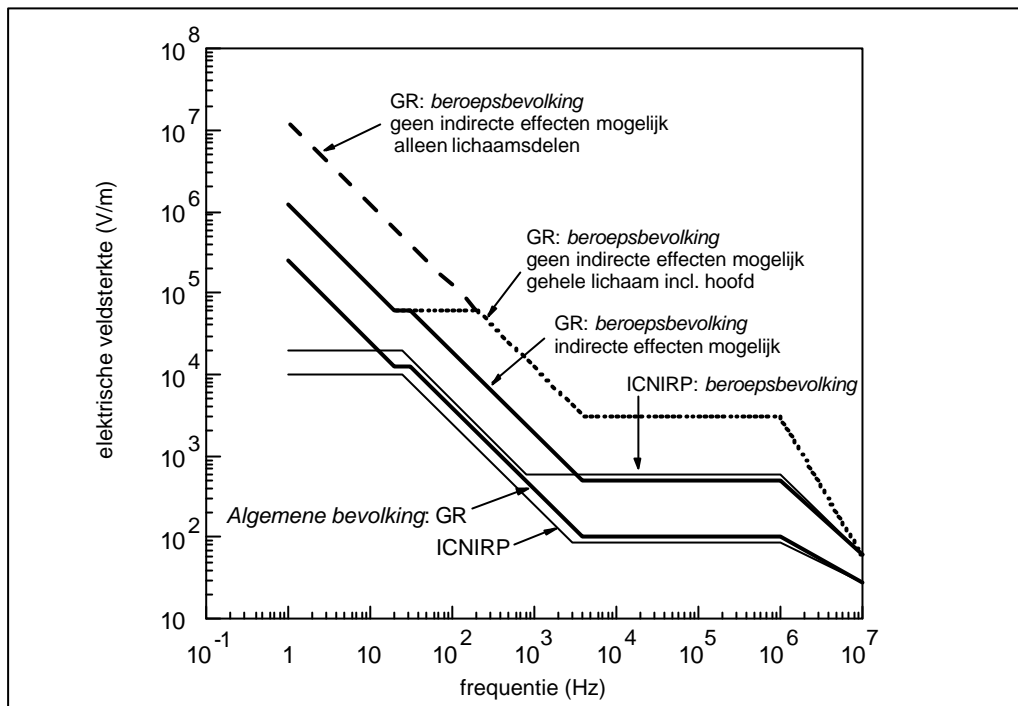
Een bepaalde vorm van preseniele dementie, die veelal voor het zestigste levensjaar optreedt en snel ernstig verloopt.

Vergelijking met ICNIRP aanbevelingen

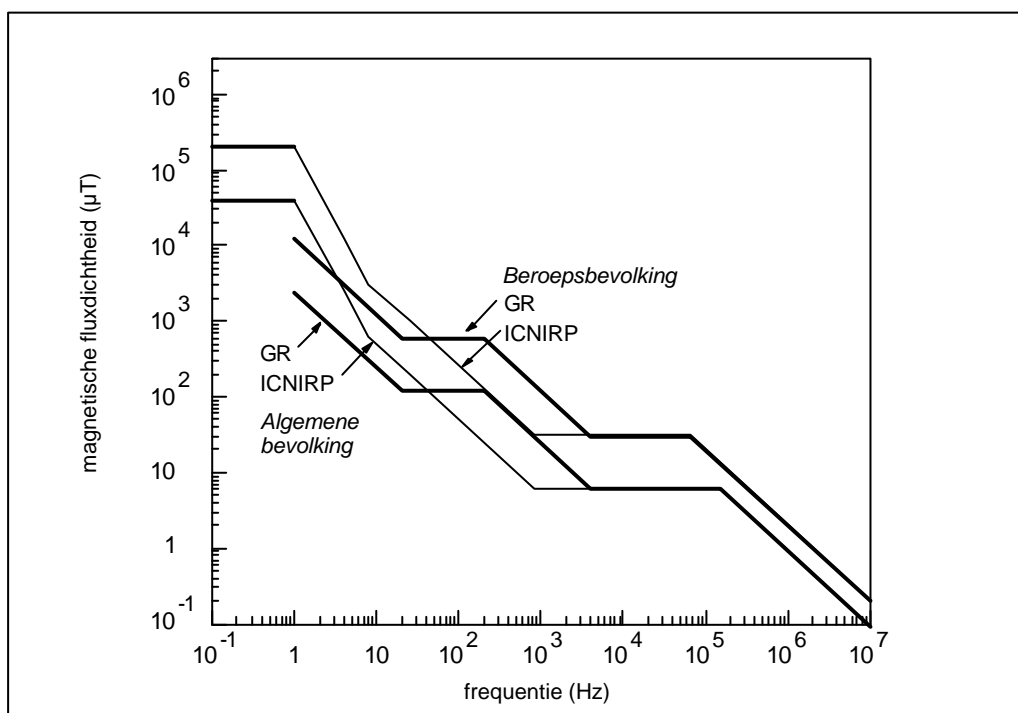
In deze bijlage worden de aanbevelingen uit dit advies vergeleken met de aanbevelingen die de ICNIRP in 1998 heeft uitgebracht (ICN98).



Figuur 5 Basisbeperking: de stroomdichtheid.



Figuur 6 Referentieniveaus voor de elektrische veldsterkte.



Figuur 7 Referentieniveaus voor de magnetische fluxdichtheid.

