

*Extreem laagfrequente
elektromagnetische velden
en gezondheid*

.....

.....

Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en
gezondheid

Voorzitter

Aan de minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Postbus 20951
2500 ES DEN HAAG

Onderwerp : aanbieding Advies
Uw kenmerk : DGM/DA/MBS 15891005
Ons kenmerk : 359/91/EvR/RA/359-Y
Bijlagen : 1
Datum : 8 april 1992

Bij brief, kenmerk DGM/DS/MBS nr. 15891005 van 26 augustus 1991, verzocht de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer mij om advies uit te brengen over de gezondheidsrisico's van blootstelling aan extreem laag-frequente elektromagnetische velden. In afwachting van deze aanvraag had ik reeds op 27 maart 1991 een commissie ingesteld om over dit onderwerp te adviseren.

De commissie verwoordt haar oordeel in het voorliggende advies. Ik bied u dit advies, gehoord de Beraadsgroep Stralinghygiëne, hierbij aan.

De commissie concludeert dat er onvoldoende wetenschappelijke grond is om aan te nemen dat blootstelling aan elektromagnetische velden met een frequentie van 50 of 60 Hz en met veldsterken die in de woon- of werkomgeving voorkomen, nadelige effecten op de gezondheid veroorzaakt. Gezien de ook in Nederland heersende ongerustheid over dergelijke blootstellingen acht ik het van belang dat er uitgaande van deze conclusie voorlichting aan het publiek wordt gegeven.



Voorzitter

Onderwerp : aanbieding Advies
Ons kenmerk : 359/91/EvR/RA/359-Y
Bladzijde : 2
Datum : 8 april 1992

Ik wil voorts uw aandacht vragen voor enkele verwante onderwerpen die de commissie in haar advies buiten beschouwing heeft gelaten.

Binnen of buiten het beroep worden mensen ook aan ELF EM velden met andere frequenties dan 50 of 60 Hz blootgesteld. In de eerste plaats zijn dit statische magneetvelden. Een belangrijke toepassing is die in de medische diagnostiek, in kernspintomografie en kernspinspectroscopie. In het verleden heeft de Raad twee adviezen over deze technieken uitgebracht. Sinds het uitbrengen van bovengenoemde adviezen zijn meer gegevens over de gezondheidsaspecten van blootstelling aan statische magneetvelden beschikbaar gekomen, en onlangs hebben zowel het International Non-ionizing Radiation Committee van de International Radiation Protection Association (INIRC/IRPA) als de Britse National Radiation Protection Board (NRPB) een advies uitgebracht over blootstelling van patiënten aan statische magneetvelden bij de toepassing van kernspintechnieken. Aanbevelingen van beide instanties over blootstelling van bedienend personeel volgen binnenkort. Overigens wijzen de recente gegevens er niet op dat de aanbevelingen van de Gezondheidsraad uit 1986 kunnen leiden tot blootstellingen die een bedreiging vormen voor de gezondheid.

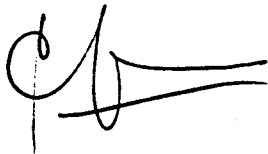
In de tweede plaats wil ik de toepassing van 16 Hz-gemoduleerde radiofrequente EM velden noemen. Dergelijke velden worden opgewekt door apparatuur die gebruikt wordt ter stimulering van botgenezing en wondheling. Nationaal en internatio-



Voorzitter

Onderwerp : aanbieding Advies
Ons kenmerk : 359/91/EvR/RA/359-Y
Bladzijde : 3
Datum : 8 april 1992

naal bestaat er grote belangstelling voor deze techniek. De juiste omvang van de toepassing in Nederland is niet bekend. Activiteiten van de Gezondheidsraad in dit verband wil ik bij de voorbereiding van het werkprogramma 1993 betrekken.



prof dr L Ginjaar

..... **G**

.....

EXTREEM LAAGFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN EN
GEZONDHEID

.....

.....

advies uitgebracht door de Commissie ELF elektromagne-
tische velden van de Gezondheidsraad

aan

.....

de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening
en Milieubeheer

.....

de minister en de staatssecretaris van Welzijn, Volks-
gezondheid en Cultuur

.....

de minister van Economische Zaken

.....

No 1992/07, Den Haag, 8 april 1992

.....

Dit advies kan als volgt worden aangehaald: Gezondheidsraad: Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad, 1992; publikatie nr 92/07

.....

auteursrecht voorbehouden

.....

INHOUDSOPGAVE

.....	TEN GELEIDE	9
.....	ADVIES IN HOOFDLIJNEN	11
.....	EXECUTIVE SUMMARY	19
.....	1 ADVIESAANVRAAG, TAAKSTELLING EN OPZET VAN HET ADVIES	25
	1.1 Adviesaanvraag	25
	1.2 Taakstelling	25
	1.3 Opzet van het advies	26
.....	2 ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN: BRONNEN EN VELDSTERKTEN	29
	2.1 Inleiding	29
	2.2 Karakterisering van de velden	30
	2.3 Grootte van de elektrische en magnetische velden	31
	2.3.1 Natuurlijke velden	31
	2.3.2 Technische wisselvelden	31
.....	3 ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN: WISSELWERKING MET BIOLOGISCHE SYSTEMEN	41
	3.1 Elektromagnetische eigenschappen van biologische weefsels	41
	3.2 Wisselwerking tussen uitwendige EM velden en weefsels	41
	3.2.1 Elektrische velden	41
	3.2.2 Magnetische velden	43

.....		
.....		
4	ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN: EFFECTEN OP BIOLOGISCHE SYSTEMEN	47
4.1	Inleiding	47
4.2	Effecten op celniveau	47
4.2.1	Transport van ionen	47
4.2.2	DNA-structuur, -synthese en -transcriptie	48
4.2.3	Invloed op hormonen en neurotransmitters	49
4.2.4	Immuunrespons	49
4.2.5	Effect op kankercellen	50
4.3	Onderzoek met proefdieren	50
4.3.1	Gedragsstudies	50
4.3.2	Hormonen en centraal zenuwstelsel	50
4.3.3	Bloed en immuunsysteem	51
4.3.4	Voortplanting, groei en ontwikkeling	51
4.4	De mogelijke rol van ELF EM velden bij het ontstaan van kanker	51
4.4.1	ELF EM velden en initiatie	51
4.4.2	ELF EM velden en gen-expressie, celproliferatie en differentiatie	52
4.4.3	ELF EM velden en verstoring van informatie- overdracht	52
4.5	Conclusies	53
.....		
5	EPIDEMIOLOGISCH ONDERZOEK	55
5.1	Inleiding	55
5.1.1	Wat is epidemiologie?	55
5.1.2	Methoden van epidemiologisch onderzoek	55
5.1.3	Problemen bij epidemiologisch onderzoek	57
5.2	Blootstelling aan ELF EM velden in de woonom- geving	57
5.2.1	Relatie met kanker	58
5.2.2	Kanttekeningen	60
5.2.3	Relatie met overige effecten	61
5.3	Beroepsmatige blootstelling	61
5.3.1	Relatie met kanker	61

.....		
5.3.2	Kantttekeningen	61
5.4	Meta-analyses	62
5.5	Conclusies	63
.....		
6	CONCLUSIES	67
6.1	Acute effecten	67
6.2	Chronische effecten	67
.....		
7	SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK	69
7.1	Inleiding	69
7.2	Experimenteel onderzoek	69
7.3	Epidemiologisch onderzoek	71
7.4	Stroomdichtheid in het lichaam	72
.....		
	LITERATUUR	73
.....		
	LIJST VAN AFKORTINGEN	81
.....		
	BIJLAGEN	83
.....		
A	SAMENSTELLING VAN DE COMMISSIE	83
.....		
B	DE ADVIESAANVRAAG	85
.....		
C	INIRC/IRPA INTERIM-RICHTLIJNEN	89
C.1	Inleiding	89
C.2	Beroepsbevolking	89
C.2.1	Elektrische velden	89
C.2.2	Magnetische velden	89
C.3	Algemene bevolking	90
C.3.1	Elektrische velden	90
C.3.2	Magnetische velden	90
C.4	Samenvatting	90
.....		
D	HET ONTSTAAN EN DE ONTWIKKELING VAN KANKER ALS MEERSTAPSPROCES	93

.....
.....
TEN GELEIDE

.....

Ingegeven door de groeiende publieke ongerustheid over mogelijk schadelijke effecten van blootstelling aan elektrische en magnetische velden afkomstig van het elektriciteitsdistributiesysteem en van huishoudelijke en industriële apparatuur, stelde de Voorzitter van de Gezondheidsraad op 27 maart 1991 de Commissie ELF elektromagnetische velden in. Een adviesaanvraag van de minister van VROM over hetzelfde onderwerp legde hij eveneens ter beantwoording aan de commissie voor.

Voor u ligt het advies van de commissie. Met het aanbieden van dit advies aan de Voorzitter van de Gezondheidsraad beschouwt de commissie haar werkzaamheden als beëindigd.

Den Haag, 8 april 1992.

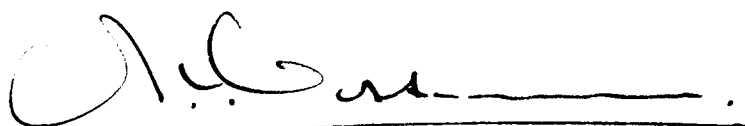
Namens de commissie,

secretaris,



dr E van Rongen

voorzitter,



prof dr A van Oosterom

.....

.....
.....
ADVIES IN HOOFDLIJNEN.....
1 Inleiding

Bij het transport, de distributie en het gebruik van elektriciteit voor huishoudelijke en industriële doeleinden ontstaan elektromagnetische (EM) velden. Bij de elektriciteitsvoorziening wordt gebruik gemaakt van wisselstroom, en de hiermee samenhangende EM velden zijn dientengevolge wisselvel- den. Zij hebben een frequentie van 50 Hz (in Noord-Amerika 60 Hz). Deze waarden vallen in het gebied van de extreem lage frequenties, ELF (0 - 300 Hz). ELF EM velden zijn in onze ge- industrialiseerde samenleving alomtegenwoordig, zij het dat hun sterkte van plaats tot plaats varieert. De mogelijke ge- volgen voor de gezondheid van chronische blootstelling aan deze velden hebben in het begin van de jaren tachtig in de Verenigde Staten tot ongerustheid onder de bevolking geleid, een ongerustheid die is overgeslagen naar andere landen.

Een belangrijke oorzaak voor het ontstaan van die be- zorgdheid waren de resultaten van een epidemiologisch onder- zoek uit 1979 (Wer79). De onderzoekers rapporteerden een zwak- ke relatie tussen de 'wire code'*, een factor die zij be- schouwden als een maat voor de blootstelling aan ELF EM vel- den, en sterfte ten gevolge van leukemie bij kinderen. In een groot aantal laboratorium- en epidemiologische onderzoeken is

.....
* De 'wire code' is de indeling in een beperkt aantal klassen van het totaal van componenten van het boven- grondse 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 inde- ling heeft een zekere relatie met de sterkte van het EM veld bij de woning.

vervolgens getracht een antwoord te vinden op de vraag of ELF EM velden inderdaad gevaar opleveren voor de gezondheid en zo ja, via welk mechanisme.

Sinds 1988 zijn verscheidene rapporten verschenen waarin het wetenschappelijk onderzoek naar de effecten van blootstelling aan ELF EM velden wordt samengevat en waarin de mogelijke gevolgen van een dergelijke blootstelling voor de gezondheid worden beschouwd. Met name de mogelijke betrokkenheid van blootstelling aan ELF EM velden bij het ontstaan of de ontwikkeling van bepaalde vormen van kanker heeft daarbij grote aandacht gekregen. In mei 1989 verscheen een rapport van het Office of Technology Assessment (OTA), het wetenschappelijk bureau van het Amerikaanse Congres (OTA89). In december 1990 kwam - in conceptvorm - een rapport beschikbaar van de Environmental Protection Agency (EPA), het milieubureau van de federale overheid in de Verenigde Staten (EPA90). Tenslotte is in juli 1991 een literatuurstudie over dit onderwerp verschenen van de Rijksuniversiteit Limburg (Sch91), uitgevoerd in opdracht van het ministerie van VROM.

.....

2 Conclusies en aanbevelingen

De Commissie 'ELF elektromagnetische velden' van de Gezondheidsraad heeft zich op basis van de haar per 1 november 1991 beschikbare wetenschappelijke literatuur een oordeel gevormd over de invloed van blootstelling van biologische systemen aan ELF EM velden. Zij verwoordt dat oordeel in het voorliggende advies. De commissie richt zich in haar conclusies uitsluitend op de mens, in het bijzonder op effecten die worden veroorzaakt door blootstelling aan velden die door wisselstroom met een frequentie van 50 (of 60) Hz worden opgewekt. De reden voor deze beperking is, dat de blootstelling van de bevolking aan ELF EM velden met andere frequenties relatief zeer gering is en dat de discussie over mogelijk nadelige effecten betrekking heeft op de alomtegenwoordige 50/60 Hz-velden.

De beschouwingen van de commissie leiden tot de volgende antwoorden op de drie vragen die de minister van VROM in zijn adviesaanvraag aan de Gezondheidsraad stelde.

.....

.....

1 Recente epidemiologische gegevens hebben tot nu toe geen éénduidige relatie kunnen leggen tussen de kans op sterfte door tumorinductie en de blootstelling aan ELF elektromagnetische velden. Bovendien ontbreekt een éénduidige relatie tussen de waargenomen effecten op cellulair nivo, de waargenomen effecten op mens en dier en daadwerkelijke gezondheidseffecten. Gaarne wordt van de Gezondheidsraad vernomen of de huidige kennis inderdaad onvoldoende is voor het vaststellen van dergelijke relaties. Indien dit inderdaad het geval is, welk wetenschappelijk onderzoek is dan, bijvoorbeeld in Nederland, mogelijk, en eventueel noodzakelijk, om de onzekerheden en lacunes in de wetenschappelijke kennis te verminderen?

De commissie is van mening dat de uitkomsten van het tot nu toe verrichte epidemiologische onderzoek niet leiden tot de conclusie dat er een relatie bestaat tussen langdurige blootstelling aan ELF EM velden zoals die in de woon- of werkomgeving voorkomen en nadelige effecten op de gezondheid. Daarnaast geeft de huidige kennis over de invloed van ELF EM velden op biologische systemen geen duidelijke aanwijzingen voor het bestaan van een dergelijke relatie. Concreet gezegd, meent de commissie dat het verrichte onderzoek onvoldoende consistente aanwijzingen levert om te kunnen stellen dat blootstelling aan ELF EM velden afkomstig van het elektriciteitsdistributiesysteem en van huishoudelijke en industriële elektrische apparaten het ontstaan of de ontwikkeling van bepaalde kwaadaardige aandoeningen beïnvloedt of een nadelige invloed heeft op het verloop van de zwangerschap en de gezondheid van de ongeboren vrucht.

De commissie wijst er op dat in enkele epidemiologische onderzoeken in de Verenigde Staten een relatie is gerapporteerd tussen de configuratie van de bovengrondse draden van het elektriciteitsdistributiesysteem (de 'wire code') en het voorkomen van leukemie bij kinderen. Deze relatie is volgens de commissie echter onvoldoende aanleiding voor het aannemen van een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan ELF EM velden en het voorkomen van leukemie (of andere vormen van kanker), omdat een relatie met de gemeten sterkte van de EM velden niet is gevonden. De commissie is van mening dat nader

wetenschappelijk onderzoek naar de relatie tussen de 'wire code' en karakteristieken van het patroon van blootstelling aan ELF EM velden (veldsterkte, tijdsduur) mogelijk opheldering kan geven over de gerapporteerde relatie. Dergelijk onderzoek vindt momenteel in de VS plaats. Daarbij dient volgens de commissie ook te worden nagegaan of er wellicht een relatie bestaat tussen de 'wire code' en andere factoren, zoals bijvoorbeeld de verkeersintensiteit.

Gelet op de onzekerheden in de interpretatie van de resultaten van het wetenschappelijk onderzoek en op het feit dat (althans in de Verenigde Staten) dit onderzoek op grote schaal wordt voortgezet, beveelt de commissie aan om de ontwikkelingen op dit gebied te blijven volgen en over vijf jaar een hernieuwde evaluatie van de wetenschappelijke gegevens te doen plaatsvinden.

In hoofdstuk 7 geeft de commissie een opsomming van een aantal lacunes in de kennis met betrekking tot de biologische effecten van blootstelling aan ELF EM velden, waarnaar wellicht in Nederland nader onderzoek zou kunnen worden gericht.

.....

- 2 Naast de interim richtlijnen van de International Non-ionizing Radiation Committee (INIRC) van de International Radiation Protection Association (IRPA) betreffende de beperking van blootstelling aan elektrische en magnetische velden van 50/60 Hz (Health Physics, 58, 113-122, 1990) zijn ook in diverse landen (voorlopige) richtlijnen vastgesteld. Gaarne wordt van de Gezondheidsraad vernomen of de huidige kennis van mogelijke effecten van extreem laag-frequente elektromagnetische velden op de gezondheid van de mens voldoende is voor het ontwikkelen van normen voor (maximale) blootstelling aan extreem laag-frequente elektromagnetische velden. Indien dit inderdaad het geval is, kan de interim richtlijn van de INIRC/IRPA wetenschappelijk gezien als uitgangspunt dienen voor overheidsbeleid?

Blootstelling aan ELF EM velden met extreem hoge veldsterkten kan resulteren in direct waarneembare negatieve effecten op de gezondheid. Dergelijke hoge veldsterkten komen niet in de woonomgeving voor, maar kunnen in bepaalde indus-

triële arbeidssituaties aanwezig zijn. De commissie vindt dit een reden om normen voor deze blootstelling te ontwikkelen. Zij stelt voor om de door de velden in het lichaam geïnduceerde stroomdichtheden daarbij als uitgangspunt te nemen. Deze benadering ligt ook ten grondslag aan de interim-richtlijn van het INIRC/IRPA. Naar de mening van de commissie bieden de in deze richtlijn voorgestelde grenswaarden in voldoende mate bescherming tegen mogelijke direct waarneembare effecten op de gezondheid.

.....

- 3 Het aantal in Nederland blootgestelde mensen aan extreem laag-frequente elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen en -kabels is onbekend. Eenzelfde conclusie kan getrokken worden met betrekking tot de veldsterkten waaraan deze groep mensen wordt blootgesteld. Ook de veldsterkten waaraan men in Nederland blootgesteld wordt ten gevolge van het gebruik van (huishoudelijke) apparaten is onbekend. Gaarne wordt van de Gezondheidsraad vernomen of de huidige kennis van mogelijke effecten van extreem laag-frequente elektromagnetische velden op de gezondheid van de mens aanleiding geeft tot het in kaart brengen van de veldsterkten waaraan de Nederlandse bevolking wordt blootgesteld ten gevolge van de bovengenoemde bronnen.

De commissie geeft in hoofdstuk 2 een beknopt overzicht van de veldsterkten die in Nederland optreden in de nabijheid van hoogspanningslijnen, hoogspanningskabels en elektrische huishoudelijke apparatuur. De resultaten van metingen en berekeningen geven aan dat in ons land de veldsterkten in de woonomgeving veroorzaakt door hoogspanningslijnen en door huishoudelijke apparatuur van dezelfde orde van grootte zijn. De veldsterkten direct onder, en dus ook die op grotere afstand van hoogspanningsleidingen in Nederland voldoen aan de criteria die zijn genoemd in de interim-richtlijn van het INIRC/IRPA. Op dit ogenblik acht de commissie het niet zinvol om de veldsterkten waaraan de Nederlandse bevolking is blootgesteld, in nader detail te bepalen. Het is namelijk volstrekt onduidelijk welke karakteristieken van het patroon van langdurige blootstelling aan lage veldsterkten (elektrische veldsterkte, magnetische fluxdichtheid, frequentie, tijdsduur) in enigerlei relatie zouden kunnen staan met de gezondheid.

.....

.....

3 Toelichting

Omgevingsfactoren, waartoe blootstelling aan stoffen, straling en de hier beschouwde ELF EM velden behoren, kunnen de gezondheid beïnvloeden in een mate die afhangt van de aard van de factor en de mate van blootstelling eraan. Ook andere factoren kunnen daarbij van belang zijn. Van sommige omgevingsfactoren is een schadelijke invloed op de volksgezondheid niet waarneembaar. Het is echter principieel onmogelijk om via wetenschappelijk onderzoek het bestaan van zo'n invloed volstrekt uit te sluiten.

In de huidige maatschappelijke aandacht voor de mogelijke invloed op de gezondheid van ELF EM velden kwam de nadruk vooral te liggen op een mogelijke relatie tussen blootstelling aan deze velden en het in verhoogde mate optreden van (bepaalde vormen van) kanker. Een dergelijke relatie kan men wetenschappelijk gezien als waarschijnlijk beschouwen indien zij - na eventueel in een (hypothese-genererend) epidemiologisch onderzoek naar voren te zijn gekomen - in hypothese-testend onderzoek is bevestigd en er voor zo'n relatie een plausibel biologisch mechanisme bestaat dat berust op de uitkomsten van laboratoriumonderzoek. Zo kan men voor zo'n relatie aanwijzingen vinden uit onderzoek naar het optreden van de betreffende effecten bij proefdieren.

De commissie meent dat met betrekking tot de uitkomsten van het verrichte epidemiologische onderzoek naar de effecten van blootstelling aan ELF EM velden deze voorwaarden niet vervuld zijn. Wel zijn in laboratoriumonderzoek interacties tussen ELF EM velden en biologische systemen aangetoond. Dit is niet verwonderlijk, omdat communicatie tussen cellen of celsystemen vaak gepaard gaat met elektrische verschijnselen. Wanneer de externe velden van voldoende sterkte zijn, zullen deze biologische systemen reageren als op een natuurlijke prikkel. Bij veldsterkten met een grootte die men in de leefomgeving aantreft, zijn deze interacties evenwel steeds omkeerbaar gebleken, dat wil zeggen dat er na uitschakeling van de bron geen waarneembaar blijvend effect was.

.....

.....

4 Samenvatting

De conclusies en aanbevelingen van de commissie kunnen als volgt worden samengevat:

.....

1 Er is onvoldoende wetenschappelijke grond om aan te nemen dat chronische blootstelling aan ELF EM velden met een lage veldsterkte, zoals die voorkomen in de woon- en werkomgeving, nadelige effecten op de gezondheid veroorzaakt. Een dergelijke blootstelling heeft geen aangetoonde invloed op het ontstaan of de ontwikkeling van kanker. Ook is niet gebleken dat zij een vroegtijdige beëindiging van de zwangerschap veroorzaakt of negatieve invloed uitoefent op de ongeboren vrucht.

.....

2 Blootstelling aan ELF EM velden met veldsterkten die aanzienlijk hoger zijn dan die in de woonomgeving heersen, maar die in bepaalde industriële arbeidssituaties kunnen voorkomen, kan direct waarneembare gezondheidsschade veroorzaken. De commissie beveelt daarom aan om normen te ontwikkelen voor de maximale blootstelling. Deze normen kunnen worden gebaseerd op de interim-richtlijnen ter zake van het INIRC/IRPA.

.....

3 Er is geen aanleiding om in detail de veldsterkten te bepalen waaraan de Nederlandse bevolking is blootgesteld.

.....

4 De wetenschappelijke ontwikkelingen op het gebied van effecten van blootstelling aan ELF EM velden in biologische systemen dienen gevolgd te worden. De commissie beveelt aan om over vijf jaar een hernieuwde evaluatie uit te voeren.

EXECUTIVE SUMMARY

of a report prepared by a committee of the Health Council of the Netherlands

EXTREMELY LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AND HEALTH

Report 1992/07, The Hague, The Netherlands
8 April 1992

1 Introduction

The transmission, distribution and use of electricity for domestic and industrial purposes are inherently associated with the generation of electromagnetic fields (EMF). These fields are generated by alternating currents and, hence, alternate at the same frequency, 50 Hz (or 60 Hz in North America). This frequency falls within the range of the Extremely Low Frequencies (ELF) of 0 - 300 Hz. The EMF, although their strength varies locally, are ubiquitous in our contemporary, industrialized environment. The public concern about possible adverse health effects of chronic exposure to ELF EMF that originated in the United States in the early nineteen eighties, has since spread to other countries.

This concern was largely triggered by the 1979 epidemiological study by Wertheimer and Leeper (Wer79) reporting a very weak relation between the 'wire code'*, a factor they

* The 'wire code' is the grouping into a limited number of categories of the entire set of components constituting the overhead electricity distribution system: the number of high and low voltage lines, their relative position, the localization of the step-down transformers, all in relation to the distance to a dwelling. This categorization is related to the EM field strength near the dwelling.

.....

considered to be an indicator for exposure to ELF EMF, and the mortality resulting from childhood leukemia. This report prompted an ever increasing number of experimental and epidemiological studies aimed at answering the questions of whether exposure to ELF EMF poses health risks and, if so, about the nature of the underlying biological mechanism.

Several major reports published in recent years summarize the ELF EMF research and consider the possible health effects of exposure. They mainly focus on the possible involvement of exposure to ELF EMF in the development of certain types of cancer. These publications included the report on ELF EMF effects published in May 1989 by the Office of Technology Assessment (OTA) of the US Congress (OTA89). The Environmental Protection Agency (EPA) issued in December 1990 a draft report (EPA90) which was subsequently strongly criticized. In The Netherlands a study prepared by the State University of Limburg for the Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and Environment was released in July 1991 (Sch91).

.....

2 Conclusions and recommendations

The ELF Electromagnetic Fields Committee of the Health Council of the Netherlands was installed in order advise the Dutch Minister of Housing, Physical Planning and Environment on the possibly adverse health effects of exposure to ELF EMF. The Committee evaluated scientific literature available as per November 1, 1991 concerning the effects and influence of ELF EMF on biological systems, including humans. The conclusions of the Committee are presented in this report.

The Committee has focused its conclusions on the effects in humans, and specifically on the effects caused by exposure to EMF generated by 50/60 Hz alternating currents. As the exposure of the general population to EMF of other frequencies in the ELF range is negligible, the discussion on possibly adverse health effects pertains to the ubiquitous 50/60 Hz EMF.

.....

The Committee gives an answer to three questions asked by the Dutch Minister of Housing, Physical Planning and Environment.

.....

The first question asked whether present scientific knowledge is indeed insufficient to determine the existence of a relationship between exposure to ELF EMF and adverse health effects and, should this be the case, what research might be needed to fill the gaps in this knowledge.

The Committee thinks that such results of the epidemiological studies as are now available do not justify the conclusion that there exists a relation between prolonged domestic or professional exposure to ELF EMF and adverse health effects. Present knowledge concerning the biological effects of ELF EMF furthermore does not clearly indicate the existence of such a relation. In other words, the Committee thinks that any evidence from currently available research is insufficient to support the hypothesis that exposure to ELF EMF generated by the electricity distribution system and by electric household appliances and industrial electrical equipment has any influence on the initiation or growth of malignancies, or on the course of pregnancy or fetal development.

The Committee recognizes that several epidemiological studies in the US have reported a relation between the configuration of overhead distribution lines (the 'wire code') and the incidence of childhood leukemia. This relation is in itself insufficient reason for the Committee to assume a causal relationship between exposure to ELF EMF and the incidence of leukemia (or other types of cancer). A relation with the measured field strength has not been found. According to the Committee further research into the relation between the wire code and the characteristics of the ELF EMF exposure pattern (e.g. field strength, duration of exposure) might clarify the observed relation. Research along these lines is now underway in the US. Furthermore it will have to be investigated whether a relation exists between wire codes and other factors such as traffic density.

.....

In view of the present uncertainties in the interpretation of the results of scientific research in this area, and as this research is being intensified, at least in the USA, the Committee recommends that monitoring of the developments in this field be continued and the data re-evaluated in five years.

The Committee lists a number of specific points regarding which knowledge on the biological effects of exposure to ELF EMF is lacking and which might warrant research in the Netherlands.

.....

The second question the Minister posed was whether present knowledge concerning the effects of ELF EMF on human health is sufficient to justify the development of exposure guidelines and, if so, whether the interim guidelines of the INIRC/IRPA (IRPA90) could serve as starting-point for policy making.

The Committee recognizes that exposure to ELF EMF with extremely high field strengths can result in acute effects. These may pose a potential health threat. Such high field strengths are not encountered in the domestic environment, but can be present in certain industrial work areas. The Committee considers that this is a reason to develop exposure standards. The Committee suggests that the approach used by INIRC/IRPA be followed and the standards based on the internal currents induced in the body by the ELF EMF. According to the Committee, compliance with the exposure limits proposed by INIRC/IRPA offers sufficient protection against possible acute adverse health effects.

.....

In his third question the Minister asks whether it would be relevant to gather information on the ELF EM field strengths to which the Dutch population is exposed.

In this report the Committee gives an overview of the field strengths in close proximity to high-power transmission lines, transmission cables and to electrical appliances. These data indicate that in The Netherlands the field strengths generated by these sources are of comparable magnitude. The field

.....

strengths directly underneath and, hence, also at some distance from transmission lines in The Netherlands comply with the criteria from the INIRC/IRPA interim guidelines. The Committee does not at present consider that there is a need for detailed determination of the ELF EM field strengths to which the Dutch population is exposed. The main argument for this position is that it is not known which characteristics of the pattern of chronic exposure to low field strengths (electric field strength, magnetic fluxdensity, frequency, duration of exposure) have a relation, if any, to health.

.....

3 Commentary to the recommendations

Environmental factors, that include exposure to chemical substances, ionizing radiation and ELF EMF, may influence human health. Whether there is any influence and, if so, to what extent, depends on the nature of the factor and on the extent of the exposure. The presence of other factors may also be important. Adverse effects of some environmental factors are not readily detectable and are basically impossible for scientific research to exclude with certainty.

In the present public awareness of the possible health effects of exposure to ELF EMF, special emphasis was placed on the alleged relation between exposure to these fields and an increase in the incidence of certain types of cancer. From a scientific point of view a relation of this type can be regarded as probable if it was determined in hypothesis-testing studies - possibly after appearing in an (hypothesis-generating) epidemiological study - and there exists a plausible biological mechanism based on the results of laboratory studies. Indications of such a relation for instance can be found in studies on the incidence of the effect in experimental animals.

In the opinion of the Committee the results of the epidemiological studies on the effects of exposure to ELF EMF do not fulfil the conditions stated. The Committee recognizes that interactions between ELF EMF and biological systems have been demonstrated in several laboratory studies. This is not

.....

surprising, since electrical phenomena are involved in communication between cells or cellular systems. When external fields are of sufficient strength these biological systems will show the same reaction to these as to an endogenous natural stimulus. However with field strengths that occur in the environment such interactions have always been reversible, i.e., did not result in observable permanent effects after the source of EMF was shut down.

.....

4 Summary

The conclusions and recommendations of the Committee can be summarized as follows:

.....

1 There is at present insufficient scientific proof that chronic exposure to ELF EMF with low field strengths as found in the domestic or professional environment results in adverse health effects. Such exposure neither influences the initiation or development of cancer, nor results in premature termination of pregnancy nor adversely influences fetal development.

.....

2 Exposure to ELF EMF with field strengths considerably higher than those that occur in the domestic environment but may be present in certain industrial work areas can result in acute health effects. The Committee therefore recommends the development of standards for the maximum exposure to ELF EMF. These standards could be based upon the interim guidelines of the INIRC/IRPA.

.....

3 There are no compelling reasons to determine in detail the ELF EM field strengths to which the Dutch population is exposed.

.....

4 Further developments regarding effects of exposure to ELF EMF should be followed. The Committee recommends a re-evaluation in five years.

.....

.....

1 ADVIESAANVRAAG, TAAKSTELLING, OPZET VAN HET ADVIES

.....

1.1 Adviesaanvraag

Naar aanleiding van het verschijnen van de rapporten van de OTA (OTA89) en van de EPA (EPA90) over de effecten van ELF EM velden op biologische systemen, in het bijzonder op de mens, en gelet op de groeiende ongerustheid over mogelijk negatieve gevolgen van blootstelling aan ELF EM velden voor de gezondheid, heeft de voorzitter van de Gezondheidsraad op 27 maart 1991 de commissie 'ELF elektromagnetische velden' geïnstalleerd, hierna te noemen 'de commissie'. Zij kreeg tot taak om een oordeel te geven over de mogelijke effecten van blootstelling aan ELF EM velden op de gezondheid. De samenstelling van de commissie is vermeld in bijlage A. Een op 27 augustus 1991 ontvangen adviesaanvraag van de minister van VROM heeft de voorzitter van de Raad eveneens ter beantwoording aan de commissie voorgelegd. De adviesaanvraag is weergegeven in bijlage B.

.....

1.2 Taakstelling

De commissie heeft besloten zich te beperken tot de effecten van blootstelling aan ELF EM velden met frequenties van 50 of 60 Hz. De reden hiervoor is dat bij de produktie, het transport en het gebruik van elektriciteit voor industriële en huishoudelijke doeleinden uitsluitend van wisselstroom met een frequentie van 50 Hz (in Noord-Amerika 60 Hz) gebruik wordt gemaakt. Blootstelling van de bevolking aan EM velden met andere frequenties is vrijwel verwaarloosbaar.

Blijkens de literatuur zijn bij de bestudering van de effecten van wisselvelden niet alleen velden met een sinusvormig verloop in de tijd, maar ook blokvormige, zaagtandvormige

.....

en gepulste velden toegepast. Er blijken verschillen te bestaan in de reacties van biologische systemen op verschillende veldvormen. Omdat de commissie zich beperkt tot de effecten van blootstelling aan de met de elektriciteitsvoorziening samenhangende (sinusvormige) 50/60 Hz-wisselvelden, bespreekt zij in dit advies alleen experimentele gegevens die verkregen zijn met sinusvormige velden.

De commissie heeft voorts besloten om zich wat haar conclusies betreft te beperken tot de mogelijke effecten bij de mens. Zij sluit daarmee aan bij de genoemde rapporten van de OTA en de EPA, en bij het rapport van de Rijksuniversiteit Limburg (Sch91). Weliswaar zijn in deze publikaties vele onderzoeken met proefdieren en met gekweekte biologische materialen beschreven, maar de conclusies zijn gericht op (mogelijke) effecten bij de mens.

In de discussie over de mogelijke schadelijke effecten van EM velden komen soms beeldbuizen naar voren als bronnen van deze velden. De commissie heeft afgezien van het beoordelen van de mogelijke risico's van het gebruik van beeldbuizen, omdat deze behalve ELF EM velden ook velden met hogere frequenties genereren, waaronder microgolven en ioniserende straling. Hierdoor is het niet goed mogelijk om een oordeel te vormen over eventuele schadelijke effecten van ELF EM velden alleen.

Ook statische elektrische en magnetische velden vallen in het ELF gebied. De met blootstelling aan deze velden samenhangende problematiek komt in dit advies niet aan de orde.

.....

1.3 Opzet van het advies

De commissie baseert haar advies op de gegevens uit de drie genoemde rapporten en op niet in die rapporten opgenomen meer recente publikaties (verschenen voor 1 november 1991). Zij geeft in dit advies vanuit een multidisciplinaire benadering haar eigen interpretatie van de gegevens.

De verdere opbouw van het advies is als volgt. Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van de bronnen van ELF elektrische en magnetische velden en van de veldsterkten die gemeten en

berekend zijn voor Nederlandse situaties. In hoofdstuk 3 geeft de commissie een kort overzicht van de interacties tussen ELF EM velden en biologische systemen. Hoofdstuk 4 is een samenvatting van de resultaten van experimenteel onderzoek op het gebied van de effecten van blootstelling van cellen of proefdieren aan ELF EM velden. De commissie geeft aan welke van die effecten mogelijk een rol spelen bij het ontstaan en de ontwikkeling van kanker en hoe aannemelijk dit is op grond van de nu bekende experimentele gegevens. In hoofdstuk 5 geeft zij een samenvatting van de resultaten van epidemiologisch onderzoek naar een mogelijke relatie tussen blootstelling aan ELF EM velden en vermindering van de gezondheid bij de mens. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies. In hoofdstuk 7 geeft de commissie aan op welke punten nader onderzoek naar de effecten van blootstelling van biologische systemen aan ELF EM velden verricht zou kunnen worden. Een literatuurlijst, een lijst met gebruikte afkortingen en een viertal bijlagen completeren het advies.

.....

.....

2 ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN: BRONNEN EN VELD-
STERKTEN

.....

2.1 Inleiding

De mens heeft altijd al blootgestaan aan natuurlijk voorkomende elektromagnetische (EM) velden, variërend van statische velden, zoals het aardmagnetisch veld en elektrische velden die ontstaan tijdens onweer, tot hoogfrequente kosmische EM straling. Daarnaast komen in een organisme ook EM velden voor ten gevolge van biologische processen, bijvoorbeeld bij de signaaloverdracht in het centraal zenuwstelsel. In de afgelopen 100 jaar zijn echter aan deze natuurlijke velden steeds meer door menselijk handelen opgewekte velden toegevoegd.

De natuurlijke EM velden zijn voornamelijk statische velden, terwijl de 'technische' velden vooral wisselvelden zijn met een frequentie van 50 Hz (in Noord-Amerika 60 Hz). Daarnaast worden EM velden gegenereerd met radiofrequenties (30 kHz - 300 MHz), televisiefrequenties (300 MHz - 3 GHz) en radarfrequenties (3 GHz - 300 GHz). De veldsterkte van een EM veld neemt snel af bij toenemende afstand tot de bron.

Transportsystemen zoals trein, tram en trolleybus gebruiken in Nederland gelijkstroom, waardoor statische EM velden ontstaan. In sommige andere landen rijden treinen op wisselstroom. Technische statische velden met vaak hoge veldsterkte komen ook voor in de industrie bij elektrolytische processen (bijvoorbeeld in aluminiumsmelterijen) en bij het gebruik van medische apparatuur (Stu86). Voorbeelden van deze laatste categorie zijn de kernspintomograaf, de kernspinspectroscop, medische cyclotrons en andere deeltjesversnellers voor therapeutisch gebruik.

.....

.....

2.2 Karakterisering van de velden

Uit het wetenschappelijk onderzoek naar de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden (waarvan de commissie in de hoofdstukken 4 en 5 van dit rapport een samenvatting geeft) blijkt dat het niet mogelijk is om in dit verband het begrip 'dosis' te hanteren. Het is daarom eveneens niet mogelijk om enigerlei grootheid te beschouwen als dosismaat. De gebruikelijke wijze van beschrijven van de velden is om uit te gaan van de sterkte van de twee veldcomponenten, het elektrische en het magnetische veld. De commissie sluit zich bij deze handelwijze aan. De onderliggende gedachte hierbij is dat, welke grootheid ook eventueel van belang blijkt te zijn bij de effecten van blootstelling aan ELF EM velden, de veldsterkte in elk geval een rol zal spelen. De commissie merkt wel op dat, voor zover er in onderzoek een relatie is gevonden tussen de veldsterkte en een effect, deze niet altijd het patroon heeft van een continue 'dosis-respons'-relatie, waarbij een hogere veldsterkte resulteert in een groter effect. In sommige onderzoeken is een 'venster'-effect gevonden, dat wil zeggen, dat bij hogere waarden van de veldsterkte een bij een lagere waarde optredend effect weer verdwijnt.

.....

Het elektrisch veld wordt gekarakteriseerd door de elektrische veldsterkte, uitgedrukt in de eenheid volt per meter (V/m). Het magnetisch veld wordt beschreven door de magnetische inductie - ook wel magnetische fluxdichtheid genoemd - met als eenheid de tesla (T). Een oude eenheid is de gauss ($1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$). De sterkte van een magneetveld is recht evenredig met de sterkte van de stroom waardoor het wordt opgewekt.

In het voorliggende advies gebruikt de commissie kortheidshalve voor de elektrische veldsterkte de aanduiding 'E-veld' en voor de magnetische fluxdichtheid de aanduiding 'B-veld'.

Beide veldsoorten worden behalve door hun sterkte gekarakteriseerd door een richting: het zijn vectorvelden. Op

.....

iedere plaats in de ruimte kan de veldrichting verschillend zijn. De positie van een individu zal in het dagelijks leven voortdurend veranderen ten opzichte van de veldrichtingen. Dit aspect van de EM velden krijgt in de literatuur overigens vrijwel geen aandacht. De derde en laatste karakteristiek van de EM wisselvelden is de frequentie. In het voorliggende advies worden uitsluitend velden met een frequentie van 50 of 60 Hz beschouwd.

.....

2.3 Grootte van elektrische en magnetische velden

.....

2.3.1 Natuurlijke velden

Het natuurlijke statische E-veld bedraagt bij mooi weer ongeveer 130 V/m, maar kan tijdens onweer oplopen tot 20 000 V/m (20 kV/m). Het natuurlijke E-veld bevat ook fluctuerende componenten in de spectrale band van 50 tot 60 Hz. Door toedoen van atmosferische invloeden varieert de sterkte van 10^{-4} tot 0,5 V/m (Ber88a).

Het natuurlijke statische magnetische veld, het aardmagnetische veld, verloopt van de magnetische polen naar de magnetische evenaar. Op onze breedte is de sterkte ongeveer 50 μ T (= 0,5 G). De sterkte van het natuurlijke B-veld in het frequentie-gebied van 50 tot 60 Hz is ongeveer 10^{-6} μ T (Ber88b).

.....

2.3.2 Technische wisselvelden

Afgezien van de beroepsmatige blootstelling aan technische velden (bijvoorbeeld van lassers, van werkers in de hoge-energietechnologie of in elektriciteitsbedrijven) staat de bevolking bloot aan EM velden die ontstaan ten gevolge van elektriciteitstransport en elektriciteitsgebruik in de woning en het kantoor of bedrijf.

.....

Elektrische wisselvelden van hoogspanningslijnen en -kabels

Het elektriciteitsdistributiesysteem is in Nederland gedeeltelijk bovengronds en gedeeltelijk ondergronds aangelegd. In de hierna volgende paragrafen gebruikt de commissie

.....

'lijnen' voor bovengrondse en 'kabels' voor ondergrondse verbindingen.

Aan een hoogspanningsmast zijn in het algemeen twee stroomcircuits aangebracht, aan weerszijden van de mast één. Elk circuit bestaat uit drie fasedraden of fasebundels*.

Het E-veld onder een hoogspanningslijn hangt af van:

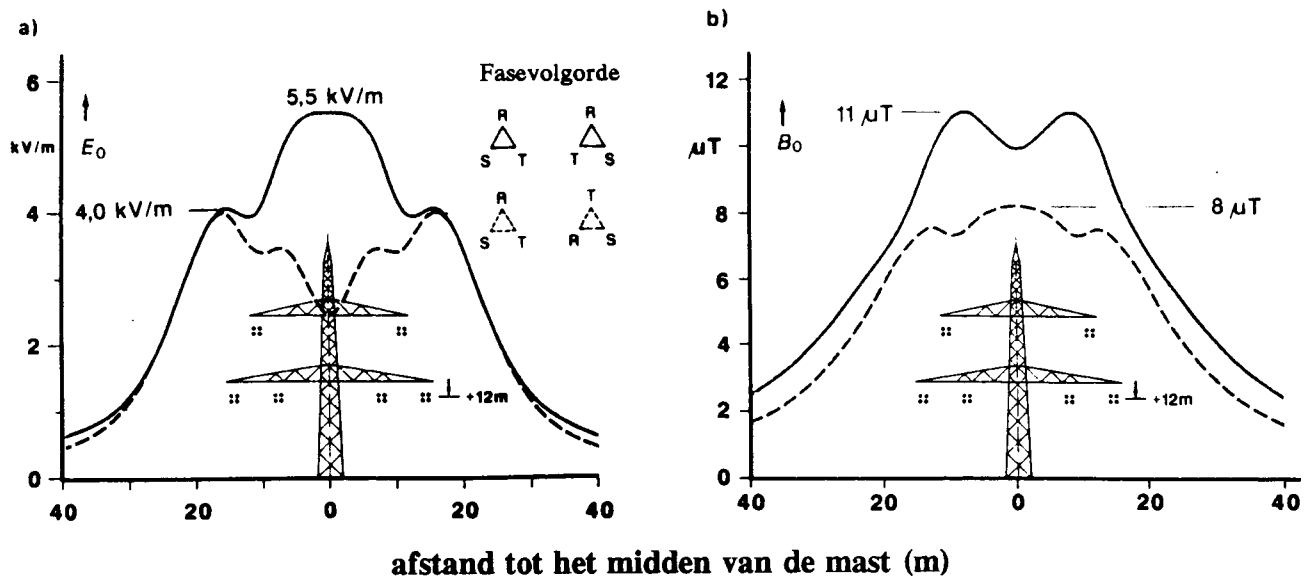
- de spanning op de lijn (in Nederland 110, 150, 220 of 380 kV)
- de mastvorm en de hoogte van de draden
- de volgorde van de fasedraden; als de volgorde aan de ene zijde van de mast het spiegelbeeld is van die aan de andere zijde, is het elektrisch veld midden onder de lijn sterker dan bij gelijke volgorde aan beide zijden (zie figuur 1)
- de afscherpende werking van vegetatie of gebouwen; bij transformatoren schermt het transformatorhuis het elektrisch veld grotendeels tot volledig af.

Tussen twee masten is het E-veld maximaal op het punt waar de draden het laagst hangen. Globale waarden van het ongestoorde E-veld onder een hoogspanningslijn, gemeten op een hoogte van één meter boven het maaiveld, zijn vermeld in tabel 1.

Elke hoogspanningslijn heeft een 'zakelijk-rechtstroom' (ZRS) waarbinnen bepaalde activiteiten (bouwen, rijden met kranen of hoge voertuigen, groei van bomen) aan voorwaarden zijn gebonden (NNI87). De breedte van de ZRS is afhankelijk van de mastvorm. Bij masten met de fasedraden boven elkaar is de strook smaller dan bij masten met de fasedraden

.....

* Om technische redenen wordt bij het transport en de distributie van elektriciteit vaak gebruik gemaakt van meer dan één lijn of kabel per circuit. In de verschillende lijnen of kabels verlopen de (50 Hz) wisselingen niet exact gelijk (in fase) maar zijn ten opzichte van elkaar in de tijd verschoven (uit fase). Dit verschil wordt bij dergelijke sinusvormige wisselingen uitgedrukt in graden, de grootte waarmee het verloop van een sinus in de tijd wordt beschreven. Eén sinus is 360 graden. Bij het gebruik van drie fasedraden bedraagt het onderlinge faseverschil 120 graden.



Figuur 1 De grootte van het E-veld (a) en van het B-veld (b) gemeten midden tussen twee masten onder een 380 kV-lijn met verschillende faseconfiguraties. De letters R, S en T duiden de drie fasen aan. (Vrij naar Kra90).

Tabel 1 Grootte van het E-veld op 1 m hoogte boven het maai-veld onder hoogspanningslijnen.

spanning (kV)	maximaal E-veld (kV/m)	E-veld op 30 m uit het hart van de lijn (kV/m)
380	5,5	1
220	5	0,5
150	3,5	0,25
110	2	0,1

.....

naast elkaar. Gemiddeld is de ZRS ongeveer 60 m breed. Aan de rand van de ZRS bedraagt het E-veld ongeveer 25 procent van het maximale E-veld onder de lijn.

Bomen en gebouwen schermen het E-veld af. Onder een boom of in een gebouw in de omgeving van een hoogspanningslijn bedraagt het E-veld 1 tot 10 procent van het ongestoorde veld op de betreffende plaats. In de grond wordt het E-veld vrijwel geheel onderdrukt. Veel ondergrondse elektriciteitskabels zijn voorzien van een aardscherm, waardoor er buiten de kabel geen E-veld aanwezig is. Bij kabels waarin een aardscherm afwezig is, zorgt de grond voor het afschermen van het E-veld.

In woningen waar elektriciteit met een spanning van 220 V wordt gebruikt, is het E-veld gemiddeld 0,001 - 0,01 kV/m (Ahl87). Dicht bij elektrische apparatuur is het hoger. Onder een elektrische deken kan de veldsterkte oplopen tot circa 0,5 kV/m (Kra90).

.....

Magnetische wisselvelden van hoogspanningslijnen en -kabels

Het B-veld ten gevolge van elektriciteitstransport of -gebruik is niet afhankelijk van de spanning, maar van de stroomsterkte. Hierdoor varieert het B-veld sterk in de tijd, in evenredigheid met het elektriciteitsverbruik.

In Nederland bestaan de meeste hoogspanningslijnen uit twee circuits die onder normale omstandigheden beide tot ten hoogste de helft van het technisch maximum worden belast. Alleen als één circuit uitvalt, zal het andere circuit kortdurend nagenoeg volledig worden belast. Als de vraag naar elektriciteit kleiner is, dan is de stroomsterkte in beide circuits evenredig lager. De gemiddelde belasting van de 380 kV-lijnen is 15 tot 25 procent van het maximum per circuit. Voor 150 kV-lijnen is dit 30 tot 40 procent. Het B-veld onder een 380 kV-lijn is in het algemeen hoger dan onder bijvoorbeeld een 150 kV-lijn omdat de transportcapaciteit van een 380 kV-lijn in termen van stroomsterkte groter is. Het B-veld is verder, evenals het E-veld, afhankelijk van mastvorm, hoogte van de draden en volgorde van de fasedraden (zie figuur 1),

.....

Tabel 2 Berekende grootte van het B-veld onder hoogspanningslijnen.

spanning (kV)	maximaal B-veld (μ T)	B-veld op 30 m uit het hart van de lijn (μ T)
380	6,5 - 20	3 - 10
220	10 - 14	3 - 5
150	3 - 17	0,6 - 3
110	3 - 12	0,3 - 1,5

.....

maar wordt niet door vegetatie of gebouwen afgeschermd.

De KEMA in Arnhem heeft de B-velden onder lijnen aan verschillende masttypen en met verschillende transportcapaciteiten berekend. Het overzicht in tabel 2 geldt voor de situatie dat beide circuits van de hoogspanningslijnen voor de helft van het maximum zijn belast. Bij metingen onder een 150 kV-lijn (waarbij de belasting van de lijn op elk meettijdscip bekend was) bleken de gemeten waarden lager te zijn dan de berekende waarden (Pet90). De verklaring hiervoor is, dat bij de berekeningen wordt uitgegaan van de, in de praktijk zelden voorkomende, meest ongunstige situatie.

Aan de rand van de ZRS is het B-veld 30 tot 35 procent van het maximaal gemeten B-veld.

Op 30 cm afstand van een transformatorhuisje kan het B-veld 10 - 15 μ T bedragen (Her87).

.....

Hierboven is vermeld dat het elektrisch veld van ondergrondse elektriciteitskabels door een in de kabel aanwezig aardscherm of door de bodem volledig wordt afgeschermd. Voor het magnetisch veld geldt dit niet. De grootte van het B-veld boven het maaiveld in de omgeving van een ondergrondse elektriciteitskabel hangt af van de stroomsterkte in de kabel, alsmede van het type en de liggingcondities van de kabel.

Het magnetisch veld van kabels in distributienetten waarin de drie fasedraden tot één kabel zijn samengevoegd, is relatief zwak. Onder normale omstandigheden, dat wil zeggen

wanneer er geen kabels buiten bedrijf zijn en andere kabels dus geen extra stroom transporteren, is het B-veld boven dergelijke kabels op één meter boven het maaiveld ten hoogste 1 μT .

Kabels in transportnetten bestaan om technische redenen per circuit uit drie afzonderlijke fasekabels, vergelijkbaar met de drie fasedraden of -bundels per circuit van een bovengrondse verbinding. Berekend is dat boven een dubbelcircuit van 150 kV-transportkabels, waarvan de in totaal zes fasekabels 1 m diep in de grond liggen met tussenruimten van 0,5 m, bij een belasting van beide circuits met de helft van het maximum, het B-veld recht boven de kabels op één meter boven het maaiveld maximaal 33 μT bedraagt. Als drie fasekabels in één sleuf zijn gelegd met onderlinge afstanden van 0,15 m is het B-veld bij een belasting van 50 procent ten hoogste 7,5 μT . Het B-veld neemt snel af met toenemende afstand tot de kabel. Incidenteel en kortdurend kunnen transportkabels zwaarder worden belast. De stroomsterkte wordt dan hoger, wat tot gevolg heeft dat het B-veld toeneemt. Evenals bij bovengrondse hoogspanningslijnen is de gemiddelde belasting van hoogspanningskabels echter lager dan de helft van het maximum.

In Nederland is het distributienet met spanningen van 50 kV en lager vrijwel geheel ondergronds uitgevoerd. Transportverbindingen met een spanning van 110 kV en hoger worden ondergronds gelegd als bovengrondse aanleg bezwaarlijk is. In Nederland bevindt zich ongeveer acht procent (350 km) van de totale lengte van het hoogspanningstransportnet ondergronds. Hiervan ligt ongeveer 20 procent in bewoonde gebieden, maar in verband met de bereikbaarheid nooit onder woonhuizen.

.....

Magnetische velden in de woonomgeving

Gauger (Gau84) heeft magnetische velden rondom huishoudelijke apparatuur gemeten als functie van de afstand. Zijn resultaten hebben betrekking op de Amerikaanse situatie, dat wil zeggen een 60 Hz/110 V-elektriciteitsvoorziening. In tabel 3 zijn deze meetresultaten door de commissie omgerekend naar

Tabel 3 Magnetische velden van 50 Hz/220 V huishoudelijke apparaten, berekend uit gegevens van Gauger (Gau84).

Blootstellingsduur minder dan circa 15 minuten per dag

apparaat	afstand (cm)	B-veld (μ T)
scheerapparaat	< 3	5 - 1000
blikopener	30	2 - 15
mixer	30	0,3 - 3
haardroger	30	0,1 - 5
magnetron	50	1 - 3
boormachine	30	1 - 2
cirkelzaag	30	0,05 - 0,5
broodrooster	30	0,05 - 0,5
koffiezetapparaat	30	0,05
elektrische oven	100	< 0,02

Blootstellingsduur tussen circa 15 minuten en 1 uur per dag

apparaat	afstand (cm)	B-veld (μ T)
strijkijzer	30	0,5 - 1,5
TL-bureaulamp	30	0,2 - 1
stofzuiger	100	0,1 - 1
fornuis	50	0,05 - 0,5
vaatwasmachine	100	0,03 - 0,15
wasmachine	100	0,01 - 0,1
droogmachine	100	0,01 - 0,02

Blootstellingsduur meer dan 1 uur per dag

apparaat	afstand (cm)	B-veld (μ T)
elektrische deken*	10	0,5 - 2,5
kleuren-TV	100	0,01 - 0,1
ventilatorkachel	100	0,01 - 0,1
ventilator	100	0,01 - 0,1
TL-verlichting	200	0,01 - 0,03
koelkast	100	< 0,02

* (Pre88)

de in Nederland gebruikte 50 Hz/220 V en ingedeeld naar de lengte van de blootstellingsduur.

Uit de tabel blijkt dat de apparaten die sterke magnetische velden kunnen veroorzaken, in het algemeen slechts gedurende korte tijd in gebruik zijn. Sommige scheerapparaten geven een relatief sterk veld, maar slechts een gering deel van het lichaam wordt aan dit veld blootgesteld. Apparaten die langdurig in gebruik zijn, veroorzaken in het algemeen zwakke velden.

.....

In de rapporten van de EPA (EPA90) en van het OTA (OTA89) is de blootstelling aan EM velden in enkele figuren samengevat. Door Schreiber en Swaen (Sch91) zijn deze figuren aangevuld met twee tabellen en een toelichting in de tekst. Al deze gegevens zijn voornamelijk gebaseerd op de Amerikaanse situatie en geven geen goed beeld van de Nederlandse situatie.

Het B-veld in een Amerikaanse woning ligt globaal tussen 0,02 en 2 μT (Ahl87). Er zijn geen metingen bekend van de sterkte van magnetische velden in Nederlandse woningen. Aangenomen kan worden dat de orde van grootte gelijk is aan die van het B-veld in Amerikaanse woningen. Wellicht is in Nederlandse woningen het B-veld gemiddeld kleiner dan dat in Amerikaanse woningen, daar er zich in de VS in de directe nabijheid van de meeste woningen bovengrondse distributielijnen en transformatoren bevinden, waardoor er een duidelijke bijdrage is van het distributienet aan het B-veld in deze woningen.

Relatief hoge B-velden kunnen zich plaatselijk voordoen in ruimten met tweeweg-schakelaars (bijvoorbeeld boven en onderaan de trap) (Sil89). In kamers met elektrische verwarming via nachtstroom-warmteopslag (in Duitsland niet ongevoelbaar) kan het magnetisch veld meer dan 10 μT bedragen (Kra90).

Aangezien bouwmaterialen een magnetisch veld nauwelijks afschermen, kan het magnetisch veld van een hoogspanningslijn het totale B-veld in een woning onder of op korte afstand van de lijn in belangrijke mate bepalen. De sterkte

van het B-veld aan de rand van de ZRS van een 150 kV-hoogspanningslijn bedraagt maximaal 0,6 - 3 μ T (tabel 2). Dit is vergelijkbaar met de sterkte van het B-veld van elektrische dekens, maar groter dan dat van huishoudelijke apparatuur die langdurig in gebruik is (tabel 3).

.....

.....

3 ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN: WISSELWERKING MET
 BIOLOGISCHE SYSTEMEN

.....

3.1 Elektromagnetische eigenschappen van biologische weefsels

De stroomdichtheden binnen het lichaam die samenhangen met externe elektrische velden, zijn afhankelijk van de specifieke elektrische weerstand van de biologische weefsels. De stroomdichtheid is een vectorgrootheid, met als eenheid ampère per vierkante meter (A/m^2). Voor het lichaam als geheel bedraagt de specifieke weerstand ongeveer $5 \Omega \cdot m$ (ohm.meter), maar tussen weefsels onderling bestaan er verschillen tot een factor 10 (bijvoorbeeld bloed in hartholtes heeft een lagere, en bot- en vetweefsels hebben een hogere specifieke weerstand).

De magnetische eigenschappen van biologische weefsels zijn vrijwel gelijk aan die van lucht. De aanwezigheid van een biologisch object in een magneetveld beïnvloedt de lokale sterkte van het B-veld daarom praktisch niet.

.....

3.2 Wisselwerking tussen uitwendige EM velden en weefsels

.....

3.2.1 Elektrische velden

De wisselwerking van een elektrisch veld met een organisme kan zowel direct als indirect zijn.

Bij plaatsing van een mens in een statisch elektrisch veld ontstaat aan het lichaamsoppervlak een elektrische ladingverdeling. Deze lading veroorzaakt op zich weer een elektrisch veld met een zodanige grootte en verdeling dat het elektrisch veld binnenin het lichaam hierdoor wordt geneutraliseerd. De inwendige veldsterkte is dus nul. Bij een wisselveld doet zich aan het lichaamsoppervlak, de huid, een voort-

urende wisseling van de ladingsdichtheid voor. Hierdoor lopen er stromen door het lichaam. Ten gevolge van de elektrische weerstand van de weefsels kunnen deze stromen niet lopen zonder de aanwezigheid van elektrische velden in het lichaam (Ber88a).

In de literatuur over dit onderwerp zijn vrijwel alle beschouwingen gebaseerd op metingen aan een in een homogeen elektrisch veld rechtop staande proefpersoon in elektrisch contact met de grond. De stroomdichtheid in het lichaam wordt berekend door de waargenomen stroomsterkte in de verbinding tussen proefpersoon en aarde te delen door het oppervlak van de doorsnede van het lichaam. Een 60 Hz-elektrisch veld van 10 kV/m resulteert bijvoorbeeld ter hoogte van de hals in een stroomdichtheid van ongeveer 5 mA/m² (Kau80).

De elektrische veldsterkten die resulteren in stroomdichtheden in het lichaam die aanleiding geven tot fysiologische effecten (tabel 4) liggen ver boven de hoogste veldsterkten die in de gebruikelijke woon- of werkomgeving aanwezig kunnen zijn, namelijk de maximale veldsterkten die direct onder een hoogspanningslijn gemeten worden (tabel 1). Deze externe elektrische velden zijn derhalve, voor wat de directe effecten betreft, geen bedreiging voor de gezondheid.

.....

Tabel 4 Effecten veroorzaakt in het menselijk lichaam door verschillende stroomdichtheden (Ber88b).

stroomdichtheid (mA/m ²)	effect
< 1	geen effecten aangetoond
1 - 10	geringe fysiologische effecten
10 - 100	duidelijke fysiologische effecten
100 - 1000	effecten met mogelijk nadelige gevolgen voor de gezondheid
> 1000	acuut gevaar voor de gezondheid door hartfibrillatie

De indirecte wisselwerking van elektrische velden kan op verschillende manieren plaats vinden. Door toedoen van sterke elektrische wisselvelden kunnen grote, niet-gearde voorwerpen (bijvoorbeeld een metalen hek, een vrachtauto) als een condensator opgeladen worden. Wanneer een mens (of dier) zo'n voorwerp aanraakt, kan er een kortsluitstroom gaan lopen. Ook is het mogelijk dat er, bij voldoende oplading, vonkontladingen ontstaan.

Een derde voorbeeld van indirecte wisselwerking is beïnvloeding van de werking van elektronische implantaten, zoals pacemakers. Volgens een rapport van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO84) leveren 50 Hz-elektrische velden met veldsterkten kleiner dan 2,5 kV/m geen gevaar op voor de werking van pacemakers.

In dit advies komen de effecten van dergelijke indirecte wisselwerkingen niet aan de orde.

.....

3.2.2 Magnetische velden

Naast de door de ELF wisselspanning veroorzaakte elektrische velden, worden door de wisselstroom magnetische velden gegenereerd. De commissie heeft in de literatuur geen aanwijzingen gevonden voor een directe wisselwerking tussen externe magneetvelden en biologische weefsels. Een indirecte interactie is echter eenvoudig aantoonbaar. Deze berust op de binnen het lichaam door de wisselingen van het magneetveld geïnduceerde elektrische stromen.

Door de complexiteit van de elektrische eigenschappen van de weefsels is het niet eenvoudig om aan te geven wat het mathematisch verband is tussen een extern magneetveld en de grootte en richting van de hierdoor in het lichaam opgewekte stroomdichtheden. Ter bepaling van een orde van grootte wordt in de literatuur wel uitgegaan van een - sterk vereenvoudigde - beschrijving van het lichaam als een homogeen geleidende bol. Bij plaatsing hiervan in een homogeen magnetisch veld met frequentie f ontstaan kringstromen rond een as van de bol parallel aan de richting van het veld. De stroomdichtheid verloopt sinusvormig in de tijd. De amplitude (maximale grootte)

van de kringstromen (J_m) neemt recht evenredig toe met de afstand tot de as en is gelijk aan

$$J_m = \pi \cdot f \cdot r \cdot B_m / \rho,$$

waarin B_m de amplitude van het B-veld is, r de afstand tot de as, en ρ de elektrische weerstand van de bol.

Bij een frequentie f van 50 Hz, en voor de in 3.1 genoemde waarde van $5 \Omega \cdot m$ voor de specifieke weerstand ρ , volgt hieruit dat de amplitude van de kringstroom aan het oppervlak van een bol met een straal van 0,1 m (ongeveer de straal van het hoofd) wordt gegeven door:

$$J_m = \pi \cdot B_m.$$

Deze relatie maakt het mogelijk de grootte te berekenen van de stroomdichtheid die het gevolg is van een B-veld van (bijvoorbeeld) 100 μT , een waarde die aanzienlijk groter is dan die van veldgroottes zoals in de woon- of werkomgeving voorkomen (zie tabellen 2 en 3). De stroomdichtheid J_m is in dit geval 314 $\mu A/m^2$. De vraag rijst nu waarmee deze waarde vergeleken zou kunnen worden. Hiervoor zijn drie verschillende benaderingen mogelijk.

De eerste benadering is vergelijking met de stroomdichtheden die voorkomen bij natuurlijke processen. Als voorbeeld hiervan kan de stroomdichtheid dienen die samengaat met het depolarisatieproces binnen de hartspierwand. Deze bedraagt ongeveer 55 A/m^2 (Oos89). Een tweede vergelijkingsmogelijkheid biedt de sterkte van een kunstmatige prikkel (door middel van een elektrode) die nodig is om weefsels aan te zetten tot een actie die vergelijkbaar is met een die van nature voorkomt, bijvoorbeeld samentrekken van een spier. Bij gebruik van een elektrode met een straal van 0,1 mm is de prikkeldrempel ongeveer 10 μA en de resulterende stroomdichtheid in de orde van grootte van 30 A/m^2 . Een derde benadering is vergelijking met de door het INIRC/IRPA voorgestelde richtlijn voor een maximale stroomdichtheid in het lichaam van 10 mA/m^2

(IRPA90) (zie bijlage C en tabel 4). In deze richtlijn wordt bijvoorbeeld voor een kortdurende blootstelling van het gehele lichaam een maximum waarde van 5000 μT voor de sterkte van het B-veld voorgesteld. Deze waarde correspondeert met een in het hoofd geïnduceerde stroomdichtheid van ongeveer 10 mA/m^2 .

De hierboven berekende maximale waarde van de door een B-veld van 100 μT opgewekte stroomdichtheid ligt dus in alle drie de gevallen ver beneden de fysiologisch effectieve, dan wel maximaal aanvaardbare waarde.

.....

Evenals bij elektrische velden het geval is, kan de werking van pacemakers worden beïnvloed door magnetische velden. De drempelwaarde voor een dergelijke beïnvloeding is sterk afhankelijk van het type pacemaker en van de manier waarop hij is geïmplanteerd. Sommige gevoelige pacemakers kunnen worden beïnvloed door een 50 Hz-magnetisch veld met een sterkte van 50 μT . Bijna alle pacemakers worden beïnvloed door velden van 500 μT (Ber88b).

.....

Uit de bovenstaande beschouwingen kan worden geconcludeerd dat er geen essentieel verschil bestaat tussen de effecten van uitwendige elektrische en magnetische velden op biologische systemen. Beide typen velden veroorzaken, zij het volgens verschillende patronen lopende, elektrische stromen in het lichaam.

.....

.....

4 ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN: EFFECTEN OP
 BIOLOGISCHE SYSTEMEN

.....

4.1 Inleiding

Het rapport van Schreiber en Swaen (Sch91) bevat, evenals het concept-rapport van de EPA (EPA90) en het rapport van het OTA (OTA89), een overzicht van de effecten van blootstelling aan ELF EM wisselvelden met relatief lage veldsterkten - en derhalve lage geïnduceerde stroomdichtheden - op biologische systemen. Het laboratoriumonderzoek op dit gebied kenmerkt zich door een grote verscheidenheid in de experimentele opzet met betrekking tot de frequentie, de veldsterkte en het verloop van het veld in de tijd. Behalve sinusvormige velden, zijn blokvormige en zaagtandvormige velden toegepast. In sommige onderzoeken zijn verschillen gevonden tussen de effecten van gepulste en van sinusvormige velden (Goo91). In hoofdstuk 2.2 heeft de commissie aangegeven dat zij zich in dit advies beperkt tot de effecten van blootstelling aan sinusvormige velden met frequenties van 50 of 60 Hz, zoals die ontstaan bij de produktie en het transport van elektriciteit. In het hiernavolgende overzicht van de resultaten van laboratoriumonderzoek bespreekt zij daarom alleen die onderzoeken waarbij sinusvormige velden werden toegepast.

Bij elk besproken effect geeft de commissie één of meer karakteristieke voorbeelden. Het valt buiten het kader van dit advies om een volledig overzicht van alle onderzoeken te geven.

.....

4.2 Effecten op celniveau

.....

4.2.1 Transport van ionen

Calciumionen hebben in de cel een groot aantal uiteen

lopende functies. Zij spelen een rol bij de overdracht van extracellulaire signalen, de afgifte van secretieproducten en de regulering van intracellulair transport. Daarom is het voor het functioneren van de cel van groot belang dat de concentratie van calciumionen in de cel, die gewoonlijk ongeveer 100 000 maal lager is dan erbuiten, op het juiste niveau gehandhaafd blijft. Hiervoor zorgen onder meer zogenaamde ionenpompen, complexe eiwitmoleculen die zorgen voor een actief transport van calciumionen door de celmembraan. Een te sterke stijging van de calciumconcentratie in de cel leidt tot celdood, een lichte stijging leidt tot verhoging van cellulaire activiteit, in het bijzonder van de secretie (bijvoorbeeld in zenuwcellen de afgifte van neurotransmitters), en een daling leidt tot inactivatie van de cel (Sie89).

Bij geïsoleerd hersenweefsel (cerebrale cortex) van kippe-embryo's leidde blootstelling aan ELF EM velden tot een significante uitstroom van calciumionen uit de cellen. Het effect vertoonde een complexe afhankelijkheid van de frequentie (Bla88).

.....

4.2.2 DNA-structuur, -synthese en -transcriptie

Het DNA is het molecuul in de chromosomen dat de informatie bevat van de erfelijke eigenschappen, nodig voor het functioneren van de cel. Beschadiging van DNA-moleculen kan leiden tot afwijkingen in het functioneren van de cel en - in het uiterste geval - tot verandering in een tumorcel of tot celdood.

Blootstelling aan ELF EM velden blijkt bij menselijke witte bloedcellen in vitro (dat wil zeggen, in weefselkweek) niet te leiden tot chromosoomafwijkingen in de vorm van breuken en uitwisseling van chromosoomdelen (Coh86a, Ros89). Wel is in enkele gevallen een significante verhoging van de aanmaak van DNA (de synthese) en de transcriptie-activiteit (het aflezen van de code van het DNA) aangetoond, die leidde tot een verhoogde aanmaak van bepaalde eiwitten en tot de vorming van veranderde eiwitten (Lib84, Goo87). Tevens is een versneling van de celdelingscyclus gevonden (Ros89).

.....

Deze verschijnselen hoeven niet op een directe invloed van ELF EM velden te wijzen. Mogelijk zijn zij deels het gevolg van lokale temperatuurverhoging. Voorts leiden de gevonden effecten niet noodzakelijkerwijs tot de inactivatie of het afsterven van cellen, of tot de vorming van tumorcellen.

.....

4.2.3 Invloed op hormonen en neurotransmitters

Hormonen en andere chemische boodschappers (neurotransmitters, groeifactoren, etcetera) grijpen op hun doelwitten (de cellen) aan via specifieke receptoren. Dit zijn gespecialiseerde eiwitten die zich op de celmembraan bevinden. Deze receptoren zetten het signaal om in een cellulaire respons, via complexe 'vertaalsystemen' in de cel.

Naar de effecten van blootstelling aan ELF EM velden op de werking van receptoren en de daarmee verbonden processen in de cel is weinig onderzoek verricht. De gevoeligheid van in vitro gekweekte bijniercellen voor het adrenocorticotroop hormoon (ACTH) uit de hypofyse bleek toe te nemen door blootstelling aan ELF EM velden. De bijniercellen vertoonden een verhoogde aanmaak en afgifte van corticosteron, een verschijnsel dat, wanneer het in het lichaam optreedt, wijst op een verhoogde stress-respons van het gehele organisme. Bij deze bevindingen was sprake van een 'venster': alleen bij bepaalde veldsterkten en blootstellingstijden kon een effect worden aangetoond (Lym83, Lym87).

.....

4.2.4 Immuunrespons

Het immuunsysteem draagt zorg voor de afweer van het lichaam tegen ziektekiemen en berust op de werking van witte bloedcellen. Het staat in nauw contact met de hersenen, de hypofyse en de bijnier, waarbij wederzijdse beïnvloeding plaats vindt.

Tot nu toe is geen effect van blootstelling aan ELF EM velden op de werkzaamheid van witte bloedcellen bij de afweer aangetoond. Wel bleek in vitro blootstelling aan een elektrisch veld de celdodende activiteit van T-lymfocyten, een bepaald type witte bloedcellen, te verminderen. De grootte van

.....

het effect vertoonde hierbij een relatie met de sterkte van het veld (Lyl88).

.....

4.2.5 Effect op kankercellen

Er zijn geen effecten van blootstelling aan ELF EM velden op de delingsactiviteit van in vitro gekweekte tumorcellen aangetoond. Wel bleek dat bij blootstelling aan 60 Hz-velden met een sterkte van 1 V/m de concentratie van ornithine-decarboxylase (ODC) verdubbelde (Byu87, Cai86). ODC speelt een rol bij de regulering van groeiprocessen. Een sterke verhoging van de ODC-concentratie van enige honderden malen treedt op wanneer rustende cellen tot deling worden gebracht door een chemische tumorpromotor (Mic91).

.....

4.3 Onderzoek met proefdieren

.....

4.3.1 Gedragstudies

Gedrag is in beginsel erfelijk bepaald. Soms kunnen in deze 'gedrags-programma's' onder invloed van uitwendige factoren veranderingen optreden die leiden tot aanpassingen van het gedrag.

Volgens enkele onderzoeken heeft continue blootstelling aan ELF EM velden een negatief effect op het leervermogen van ratten. Dit effect is echter slechts van korte duur (ongeveer een uur) en treedt alleen op wanneer het wisselveld wordt gecombineerd met een statisch veld (Tho86a, Tho86b).

.....

4.3.2 Hormonen en centraal zenuwstelsel

Het functioneren van lichaamscellen, organen en het gehele organisme vertoont verschillende ritmen. Het circa-diaanse ritme, veranderingen met een periode van 24 uur, is hiervan een belangrijk voorbeeld. Ontregeling van dit ritme heeft een sterke invloed op fysiologische en emotionele functies (bijvoorbeeld de voortplanting of emotionele depressie).

Het hormoon melatonine uit de epifyse (pijnappelklier; dorsaal hersenaanhangsel) reguleert hersenfuncties en de afgifte van hormonen uit andere klieren. 's Nachts geeft de epi-

.....

fyse meer melatonine af dan overdag en is de melatonine-spiegel in het bloed hoger. Bij ratten is gevonden dat de afgifte kan worden verstoord door blootstelling aan ELF EM velden (Wil81). Het is derhalve mogelijk (maar niet bewezen) dat blootstelling aan deze velden via verstoring van de regulerende werking van melatonine kan leiden tot depressie en miskramen (Wil89). Omdat de epifyse ook een stof produceert die de groei van tumorcellen kan remmen (Das67), is bovendien verondersteld dat verstoring van de melatonine-afgifte kan leiden tot kanker (Ste87). Ook dit is niet bewezen.

.....

4.3.3 Bloed en immuunsysteem

Er is geen effect geconstateerd van een blootstelling van enige maanden aan ELF EM velden op de werking van het immuunsysteem bij proefdieren (Rag83).

.....

4.3.4 Voortplanting, groei en ontwikkeling

In een aantal onderzoeken zijn veranderingen gevonden in de groei en de orgaanontwikkeling van de proefdieren bij langdurige blootstelling aan ELF EM velden (Rom87, Sik87). Deze effecten traden echter niet consequent in alle volgende generaties op en bleken bovendien grotendeels niet te reproduceren in andere onderzoeken. Effecten op de voortplanting zijn niet gevonden.

.....

4.4 De mogelijke rol van ELF EM velden bij het ontstaan van kanker

In deze paragraaf beschouwt de commissie de hierboven beschreven gegevens over de effecten van ELF EM velden op biologische systemen in het licht van de kennis over de ontwikkeling van kanker zoals beschreven in bijlage D.

.....

4.4.1 ELF EM velden en initiatie

ELF EM velden hebben niet genoeg energie om covalente chemische bindingen te verbreken of op een andere manier de structuur van DNA te ontwrichten. Daarom is het onwaarschijnlijk dat deze velden mutaties (permanente en overerfbare ver-

anderingen in het DNA) kunnen veroorzaken en daarmee een proces in gang kunnen zetten (initiëren) dat tot kanker leidt. In 4.2.2 is aangegeven dat een mutageen effect van blootstelling aan ELF EM velden niet gevonden is, evenmin als verstoring van processen die betrokken zijn bij het herstel van beschadigd DNA.

.....

4.4.2 ELF EM velden en gen-expressie, celproliferatie en differentiatie

De werking van stoffen die de ontwikkeling van kanker bevorderen, kent in het algemeen een drempeldosis. Als ELF EM velden de groei van gemuteerde cellen op een overeenkomstige wijze beïnvloeden, zal een dergelijk effect mogelijk beperkt zijn tot hoge veldsterkten. Onderzoeken naar het effect van ELF magnetische velden op de delingsactiviteit van normale en gemuteerde cellen leverden een verscheidenheid aan resultaten op (zie 4.2.2 en 4.2.5). Afhankelijk van de intensiteit van de velden en het celsysteem was het effect remmend, stimulerend, of afwezig. De benodigde veldsterkten waren echter aanzienlijk groter dan de in de woonomgeving gebruikelijke. Dit maakt een bijdrage van ELF EM velden aan het uitgroeien van celpopulaties in het proces dat tot kanker leidt, onder normale omstandigheden onwaarschijnlijk.

.....

4.4.3 ELF EM velden en verstoring van informatie-overdracht

Verscheidene auteurs menen dat de werking van ELF EM velden op biologische systemen niet geïnterpreteerd dient te worden volgens het zogeheten toxicologisch model (Fre90, Gol91). Dit model behelst de veronderstelling dat er een dosis-responsrelatie is, waarbij een hogere dosis een groter effect veroorzaakt. De commissie heeft eerder in dit advies al opgemerkt dat een dergelijke relatie niet bekend is. Genoemde auteurs suggereren dat de werking van ELF EM velden op biologische systemen berust op het verstoren van de overdracht van informatie door het aanbrengen van een specifiek storend signaal. Dit zou het bestaan van de 'vensters' bij de waargenomen effecten kunnen verklaren. Het zwakke punt in deze hypothese

is dat het, zoals de commissie al eerder heeft gesteld, niet is aangetoond dat een (kort of lang durende) verandering in een aantal cellulaire processen leidt tot een permanente verandering van een cel van goedaardig naar kwaadaardig. Ook deze gedachtengang leidt dus niet tot een aannemelijk model voor een directe of indirecte betrokkenheid van blootstelling aan ELF EM velden bij het ontstaan van kanker.

.....

4.5 Conclusies

.....

1 De huidige wetenschappelijke kennis en inzichten leiden niet tot een aannemelijk model voor het optreden van schade aan de gezondheid ten gevolge van blootstelling aan ELF EM velden met een sterkte die gebruikelijk is in de woon- of werkomgeving.

.....

2 Er zijn verscheidene effecten van blootstelling aan ELF EM velden op biologische processen waargenomen, zowel in in vitro gekweekte cellen als in gehele organismen. De interpretatie van veel gegevens is echter moeilijk omdat er soms sprake is van 'vensters' en omdat resultaten met gekweekte cellen niet zonder meer of soms zelfs geheel niet van toepassing hoeven te zijn op gehele organismen.

.....

.....
.....
5 EPIDEMIOLOGISCH ONDERZOEK.....
5.1 Inleiding

De commissie geeft in dit hoofdstuk een beschrijving van het epidemiologisch onderzoek naar de effecten van blootstelling aan ELF EM velden, voorafgegaan door een beschrijving van enkele methoden en technieken en mogelijkheden en beperkingen van epidemiologisch onderzoek. De reden voor de uitgebreide aandacht voor dit onderwerp is, dat de maatschappelijke onrust over ELF EM velden gevoed is door de uitkomsten van enkele epidemiologische onderzoeken, zonder dat in de openbare discussie deze resultaten kritisch werden beschouwd in het licht van de beperkingen van dergelijk onderzoek.

.....
5.1.1 Wat is epidemiologie?

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

.....
5.1.2 Methoden van epidemiologisch onderzoek

Er bestaan verscheidene benaderingen voor het opzetten en uitvoeren van epidemiologisch onderzoek. Het merendeel van de studies die de commissie in dit advies bespreekt, zijn patiënt-controle-onderzoeken. Bij dit type onderzoek is de ziekte het uitgangspunt. Bij een volgens bepaalde criteria gese-

lecteerde groep patiënten wordt een groep controlepersonen gezocht die op een aantal relevante kenmerken zo goed mogelijk overeenstemt met de groep van de 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.

Een tweede epidemiologisch instrument, toegepast bij een aantal andere in dit advies beschreven onderzoeken, is het cohortonderzoek. Hierbij gaat men uit van de blootstelling. 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 voorkomen van een bepaalde ziekte in de groep blootgestelden kan een aanwijzing zijn voor een oorzakelijk verband met de gekozen blootstellingsfactor.

De epidemiologie steunt sterk op de statistische analyse van gegevens. De resultaten kunnen worden uitgedrukt in grootheden die een schatting geven van het relatieve risico. Het relatieve risico (RR) is de verhouding tussen de kans op het optreden van een bepaalde ziekte in de groep blootgestelden en die kans in de groep niet-blootgestelden. Indien er geen invloed is van de blootstelling, is het RR gelijk aan 1. Schattingen van het RR hebben altijd een bepaalde onzekerheid, die tot uitdrukking komt in de bij zo'n schatting te bepalen betrouwbaarheidsgrenzen voor een zekere, vrij te kiezen, onbetrouwbaarheidsdrempel (meestal: 5 procent). Ligt het getal 1 niet binnen de beide betrouwbaarheidsgrenzen dan spreekt men van een significante uitkomst. De betekenis daarvan is dat de uitspraak 'het werkelijke relatieve risico verschilt van 1' ten hoogste met een kans van 5 procent (algemener: een kans die hoogstens gelijk is aan de gekozen onbetrouwbaarheidsdrempel) onjuist is. De relatie heet dan statistisch aangetoond met een betrouwbaarheid van 95 procent.

De commissie gebruikt in dit advies de term 'associa-

tie' indien de verkregen schatting van het RR groter of kleiner is dan 1. Deze term op zich duidt niet op een (aangetoond) oorzakelijk verband. Significantie van een associatie kan hiervoor een aanwijzing zijn (maar niet meer dan dat).

.....

5.1.3 Problemen bij epidemiologisch onderzoek

Er zijn talloze problemen bij het epidemiologisch onderzoek die de validiteit of waarde (niet te verwarren met de statistische betrouwbaarheid) van de uitkomsten kunnen aantasten. Deels kan met deze problemen rekening worden gehouden, deels is dit niet mogelijk.

Een belangrijk punt is, dat er naast de onderzochte factor doorgaans nog vele andere factoren zijn die mogelijkerwijs een invloed uitoefenen op het ontstaan van de ziekte. Het is dus altijd een vereiste om deze factoren te identificeren en te trachten hun invloed te bepalen of uit te sluiten.

Het onderzoek aan ELF EM velden biedt een goed voorbeeld van de mogelijke invloed van andere factoren. Savitz en medewerkers vonden een zwakke associatie tussen het voorkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de nabijheid van elektriciteitslijnen (Sav88). In dezelfde onderzoeksgroep werd echter een sterkere associatie gevonden tussen de verkeersdichtheid en leukemie (Sav89a) en tussen het roken van één van beide ouders en leukemie (Joh91).

Een ander probleem bij het trekken van conclusies uit de resultaten van epidemiologisch onderzoek is, dat er ook vertekening plaats kan vinden doordat alleen resultaten worden gepubliceerd die in een bepaalde richting wijzen ('publicatie-bias').

.....

5.2 Blootstelling aan ELF EM velden in de woonomgeving

In tabel 5 geeft de commissie een overzicht van het gepubliceerde epidemiologische onderzoek met betrekking tot de blootstelling aan ELF EM velden in de woonomgeving. Voor elk van de onderzoeken is aangegeven of er volgens de auteurs een (al of niet significante) positieve associatie is gevonden met het voorkomen van bepaalde vormen van kanker, dat wil zeggen,

een relatief risico groter dan 1. In de desbetreffende kolom duidt '+' op een door de auteurs gevonden significante positieve associatie, '=' op een niet-significante positieve associatie en '-' op het ontbreken van een positieve associatie.

.....

5.2.1 Relatie met kanker

De eerste epidemiologische onderzoeken naar de mogelijke niet direct-waarneembare gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan ELF EM velden stammen uit het eind van de jaren zeventig. Wertheimer en Leeper publiceerden in 1979 de resultaten van een patiënt-controle-onderzoek gericht op het opsporen van factoren die een rol spelen in het ontstaan van leukemie bij kinderen (Wer79). Kinderen die waren overleden aan leukemie, bleken in meer gevallen in de directe nabijheid van distributielijnen van het elektriciteitsnet gewoond te hebben dan kinderen uit de controlegroep. Als maat voor de blootstelling aan ELF EM velden werd de 'wire code' gebruikt. Deze codering behelst het indelen in een beperkt aantal klassen van het totaal van componenten van het (in de VS bovengronds lopende) 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 de woning (Wer82, Sav88, Lee91). Deze klasseindeling is zodanig, dat er een zekere relatie bestaat met de sterkte van het EM veld bij de woning. Op grond van metingen werd vastgesteld dat een 'high-current configuration' gemiddeld met een hoger B-veld gepaard gaat dan een 'low-current configuration' (Wer82, Sav88). De 'wire code' is in een aantal epidemiologische onderzoeken gebruikt als surrogaat voor de sterkte van het magnetisch veld in de woning.

De resultaten van het onderzoek van Wertheimer en Leeper baarden groot opzien in de Verenigde Staten en hebben ertoe geleid dat ook andere onderzoekers zich met deze materie zijn gaan bezighouden. Zo deed Fulton een vergelijkbaar onderzoek in de buurt van New York (Ful80). In dit patiënt-controle-onderzoek werd geen associatie gevonden tussen het wonen in de nabijheid van distributielijnen van het elektriciteitsnet

en het voorkomen van leukemie bij kinderen. Enkele jaren later vond Tomenius in Zweden wèl een associatie tussen veronderstelde blootstelling aan ELF EM velden en kanker bij kinderen (Tom82, Tom86). Ook Savitz vond in een patiënt-controle-onderzoek bij kinderen een verband tussen de 'wire code' en het voorkomen van leukemie (Sav88). Dit verband bleek statistisch niet significant te zijn. Een associatie tussen de gemeten veldsterkten en kanker kwam uit dit onderzoek niet naar voren. Overeenkomstige resultaten zijn onlangs gerapporteerd uit een patiënt-controle-onderzoek in Californië (Lon91). Het wonen in de nabijheid van elektriciteitsdraden met een hoge stroomsterkte was geassocieerd met een geringe, niet-significante verhoging van het voorkomen van leukemie bij kinderen. De onderzoekers vonden geen positieve associatie met de sterkte van het magnetisch veld gemiddeld over 24 uur of gemeten op bepaalde tijdstippen.

Voor een relatie tussen blootstelling aan ELF EM velden en het optreden van kanker bij volwassenen bieden de resultaten van epidemiologisch onderzoek nog minder steun. Slechts in één onderzoek is een significant positieve associatie gevonden tussen het wonen in de nabijheid van elektriciteitsleidingen en het voorkomen van kanker (Wer82). McDowall rapporteerde ook een dergelijke associatie, maar deze was niet significant (McD86), en Coleman publiceerde eenzelfde bevinding met betrekking tot leukemie (Col85, Col89). Ook deze associatie was niet significant. Severson vond geen associatie tussen leukemie en blootstelling aan ELF EM velden (Sev88). In Nederland is door Schreiber (Sch90a) geen associatie gevonden tussen het wonen in de nabijheid van een hoogspanningsleiding en het voorkomen van kanker in het algemeen, van leukemie, of van hersentumoren. In Engeland vond Youngson eveneens geen associatie tussen een dergelijke blootstelling aan ELF EM velden en leukemie (You91).

Elektrische dekens kunnen een belangrijke bron van langdurige blootstelling aan ELF EM velden binnenshuis zijn (zie tabel 3). Er is echter geen associatie aangetoond tussen het gebruik van dergelijke dekens en de incidentie van leuke-

.....
mie (Pre88, Lon91), kanker aan de testis (Ver90) of borstkan-
ker (Ven91).

.....

5.2.2 Kanttekeningen

Bieden de onderzoeksresultaten aanwijzingen voor het bestaan van een relatie tussen blootstelling aan ELF EM velden en de incidentie van kanker, in het bijzonder leukemie bij kinderen? De commissie meent van niet. Het merendeel van de onderzoeken heeft een aantal methodologische onvolkomenheden (Sav89b) waardoor de gerapporteerde conclusies minder valide zijn. In het concept-rapport van de EPA (EPA90) zijn deze onvolkomenheden voor elk van de in dat rapport genoemde onderzoeken aangegeven. In het algemeen is er, vooral in de eerste onderzoeken, te weinig rekening gehouden met andere factoren dan blootstelling aan ELF EM velden. Voorts is van belang dat een verondersteld verband tussen blootstelling aan deze velden en het voorkomen van kanker wel bleek wanneer de 'wire code', maar niet wanneer de gemeten sterkte van de velden gebruikt werd als maat voor de blootstelling. Verder zijn de bevindingen in hun totaliteit inconsistent, omdat er associaties worden geclaimd met steeds weer andere vormen van kanker*.

In tabel 5 is voor de verschillende onderzoeken, naast een samenvatting van de onderzoeksgegevens en de resultaten, door middel van een korte beschrijving van de foutenbronnen een indicatie gegeven van de validiteit van de resultaten op grond van mogelijke methodologische onvolkomenheden. De resultaten van een aantal epidemiologische onderzoeken, vooral die waarin een (al of niet significante) positieve associatie werd gevonden, zijn zwaar benadrukt in de bewijsvoering voor een vermeende invloed van blootstelling aan ELF EM velden op het optreden van kanker. De commissie is van mening dat dit, gezien de methodologische onvolkomenheden, niet terecht is.

.....
* De Science Advisory Board (SAB) van de EPA komt in een recent verschenen rapport tot dezelfde conclusies (SAB92). Deze adviesraad geeft een kritisch en op onderdelen negatief oordeel over het concept ELF-rapport van de EPA (EPA90). Met name acht zij de conclusie uit dit rapport dat ELF EM velden mogelijk een carcinogene werking hebben, onjuist.

.....

.....

5.2.3 Relatie met overige effecten

Naast een relatie tussen blootstelling aan ELF EM velden en het voorkomen van bepaalde vormen van kanker, zijn ook relaties met andere effecten gerapporteerd.

Voor vroegtijdige beëindiging van de zwangerschap is een niet-significante positieve associatie gevonden met het gebruik van elektrische dekens (Wer86) en met de aanwezigheid van elektrische plafondverwarming (Wer89a).

Een verband tussen blootstelling aan ELF EM velden en de algemene gezondheidstoestand kon niet worden aangetoond (Str70), terwijl een door Perry gerapporteerde niet-significante associatie met zelfmoord (Per81) in een later onderzoek niet werd bevestigd (McD86). Blootstelling aan ELF EM velden afkomstig van een hoofdkabel voor elektriciteit in een flatgebouw zou positief geassocieerd zijn met het voorkomen van diverse ziekten (Per88), en een zwakke associatie is gevonden tussen ELF EM velden en wiegedood (Eck76).

Voor deze eveneens in tabel 5 opgenomen onderzoeken geldt, nog meer dan voor die waarin de relatie met kanker is onderzocht, dat de validiteit doorgaans gering is wegens onvolkomenheden in de opzet of de uitvoering.

.....

5.3 Beroepsmatige blootstelling

.....

5.3.1 Relatie met kanker

Naast de effecten van blootstelling aan ELF EM velden in de woonomgeving zijn de mogelijke gevolgen van beroepsmatige blootstelling onderzocht. In sommige van deze onderzoeken is een verhoogde sterfte aan leukemie, hersentumoren of borstkanker gevonden, in andere weer niet. Een uitgebreid overzicht van deze onderzoeken is opgenomen in het rapport van de EPA (EPA90).

.....

5.3.2 Kanttekeningen

Behalve de methodologische onvolkomenheden die zijn aangegeven in 5.2, vertoont het onderzoek naar de beroepsmati-

ge blootstelling nog enkele specifieke tekortkomingen. Allereerst is de blootstelling geklassificeerd op grond van de beroepsomschrijving. Dit betekent dat alle beroepen die ook maar enigszins met elektriciteit te maken hebben, als één groep zijn beschouwd. Metingen of zelfs maar schattingen van de werkelijke veldsterkten en blootstellingsduur zijn in de meeste gevallen niet gedaan. Daardoor wordt er bijvoorbeeld aan voorbijgegaan dat elektriciëns meestentijds werken met elektrisch 'dood' materiaal, dat wil zeggen dat er geen elektrische of magnetische velden aanwezig zijn (Sch91). Verder is weinig of geen aandacht besteed aan blootstelling van de werknemers aan andere agentia, bijvoorbeeld organische oplosmiddelen. Zo zou, althans in de VS, bij werkers aan telefoonlijnen of distributielijnen van het elektriciteitsnet blootstelling aan uitlaatgassen van grote invloed kunnen zijn omdat die lijnen daar bovengronds en in de directe nabijheid van wegen lopen.

.....

5.4 Meta-analyses

Meta-analyse is een methode om de resultaten van afzonderlijke epidemiologische onderzoeken te combineren om tot algemener geldende uitspraken te komen. Een dergelijke analyse voegt op zichzelf geen nieuwe gegevens toe, maar kan wel een ordening van de resultaten totstandbrengen. Soms bestaat de meta-analyse louter uit een opsomming van de resultaten van afzonderlijke onderzoeken, waarbij men het rekenkundig gemiddelde beschouwt als de beste schatter van het relatieve risico. In andere gevallen past men op grond van bepaalde kwaliteitscriteria een weging toe, of besluit men zelfs om onderzoeken die niet voldoen aan bepaalde criteria buiten beschouwing te laten. Er bestaan verschillen van inzicht over het nut van meta-analyses en over de te volgen procedures.

Een meta-analyse op het gebied van ELF EM velden en kanker is gepubliceerd door Schreiber (Sch90b). Volgens die analyse is in de woonomgeving het relatief risico voor leukemie 1,9, terwijl het voor beroepsgroepen met mogelijke blootstelling aan ELF EM velden 1,2 bedraagt. In beide gevallen is de positieve associatie significant. De waarde van het rela-

tief risico voor beroepsgroepen stemt overeen met de uitkomst van een meta-analyse uitgevoerd door Theriault (The90).

Wegens de in 5.2 bedoelde methodologische onvolkomenheden in de opzet en uitvoering van de verschillende epidemiologische onderzoeken, is de commissie van oordeel dat de resultaten van meta-analyses met de gegevens uit deze onderzoeken met de nodige terughoudendheid moeten worden gezien. De positieve resultaten van onderzoeken met methodologische onvolkomenheden (bijvoorbeeld het ontbreken van metingen van het B-veld) of die waarin uitsluitend een associatie met de 'wire code' is gevonden, spelen volgens haar een te zware rol.

.....

5.5 Conclusies

De resultaten van het epidemiologisch onderzoek rechtvaardigen niet de aanname van een verband tussen blootstelling aan ELF EM velden en een verhoging van het risico op het krijgen van kanker. Het merendeel van de onderzoeken heeft methodologische onvolkomenheden. De resultaten laten geen consistent beeld zien en zijn in het algemeen niet reproduceerbaar gebleken in herhaald onderzoek.

De commissie concludeert daarom dat het verrichte epidemiologisch onderzoek onvoldoende consistente aanwijzingen geeft voor het bestaan van gezondheidsrisico's als gevolg van langdurige blootstelling aan ELF EM velden met veldsterkten zoals die normaal in de hedendaagse samenleving voorkomen.

Tabel 5 Epidemiologisch onderzoek - blootstelling in woonhuizen.

Auteur	K/ V*	Opzet onderzoek	Eindpunt/associatie**	Opmerkingen
Relatie met kanker				
Wer79	K	patiënt-controle; < 19 jr, overleden aan kanker 1950-1979 in Colorado, VS, woonadres in Denver, CO of omgeving	kanker algemeen : + leukemie : + lymfomen : ± CNS*** tumoren : ±	blootstelling bepaald aan de hand van 'wire code' en deze niet bepaald zonder voorkennis patiënt/-controle
Ful80	K	patiënt-controle; < 21 jr, diagnose leukemie 1964-1978, Rhode Island Hospital, VS	leukemie : --	meerdere adressen van patiënten vs 1 adres voor controles; daardoor verkeerde classificatie van blootstelling; blootstelling bepaald aan de hand van 'wire code'
Mye85	K	patiënt-controle; diagnose kanker 1970-1979, geboren in Yorkshire, Engeland	kanker algemeen : ± leukemie en lymfomen : ± solide tumoren : ±	slechte keuze van controles; alleen geboorte-adres; te weinig patiënten per classificatie; naar schatting 15% patiënten niet opgespoord; blootstelling berekend aan de hand van belasting van lijnen
Tom82 Tom86	K	patiënt-controle; < 19 jr, diagnose kanker 1950-1973, Stockholm en omgeving; Zweedse kankerregistratie	B-veld $\geq 0,3 \mu\text{T}$: kanker algemeen : ± id., 1 adres : + lymfomen : ± CNS tumoren : +	te laag algemeen risico voor leukemie: waarschijnlijk onderschatting aantal patiënten; B-veld gemeten voor ingang woning
Sav88	K	patiënt-controle; diagnose kanker 1976-1983, wonend in Denver, Colorado, VS, of omgeving; centrale kankerregistratie	kanker algemeen : + leukemie : ± lymfomen : ± hersentumoren : +	alleen relatie met 'wire code', niet met in woning gemeten B-veld; weinig meetgegevens; t.g.v. selectiecriteria controles minder mobiel; sterkere relatie tussen verkeersintensiteit en kanker (Sav89) en roken ouders en kanker (Joh91)
Sav90	K	idem	enkele combinaties van kanker algemeen of specifieke kanker met bepaalde apparaten : ± meeste combinat. : --	pré- en postnatale blootstelling door huishoudelijke apparatuur (onder meer elektrische dekens); geen metingen B-veld; weinig gebruik: lage aantallen per subgroep
Lon91	K	patiënt-controle; diagnose leukemie 0-10 jr, 1980-1987, wonend in district Los Angeles, Californië, VS; centrale kankerregistratie	leukemie met: 'wire code' : + gemeten B-veld : -- huish. app. : --	alleen relatie met 'wire code', niet met in woning gemeten B-veld (24 uren of puntmetingen); ook relatie tussen leukemie en het gebruik van wierook, haardroger en verfspuiten door de vader (mogelijk recall bias)
Wer82	V	patiënt-controle; overlijdensverklaringen 1967-1975, 4 gebieden in Colorado, VS; adres minimaal 4 jr voor diagnose bewoond	kanker algemeen : +/±/-- afhankelijk van leeftijd, urbanisatie	blootstelling aan de hand van 'wire code', slechts 28% van hoogste classificatie (Very High Current Config.) had een B-veld van $>0,3 \mu\text{T}$; ongewone patiëntselectie en analyse

* Kind/volwassene

** Karakterisering van de resultaten door de auteur:

- + : significant positieve associatie
- ± : niet-significant positieve associatie
- : geen positieve associatie

*** Zie afkortingenlijst

Tabel 5 Vervolg.

Auteur	K/ V*	Opzet onderzoek	Eindpunt/associatie**	Opmerkingen
McD86	V	cohort 1971-1983; woning < 50 m van elektrische installaties of < 30 m van bovengrondse leiding; East Anglia, Engeland	kanker algemeen : ± sommige specifieke kankers o.a. leukemie : ± afhankelijk van groep/sexe	geen blootstelling gemeten, alleen nabijheid; lage aantallen patiënten
Col85 Col89	V	patiënt-controle; incidentie leukemie 1965-1980, 4 wijken van Zuid Londen; nabijheid bovengrondse lijnen	leukemie : ±	lage aantallen patiënten (lijnen vnl. ondergronds); mogelijk andere bronnen van blootstelling; selectie van controles uit patiënten met solide tumoren
	K	idem, subgroep	leukemie : ±	lage aantallen patiënten
Sev88	V	patiënt-controle; diagnose ANLL**, 20-79 jr, 1981-1984, 3 districten in staat Washington, VS; centrale kankerregistratie	ANLL** 'wire code' : -- gemeten B-veld : --	1 type leukemie; ca. 35% steekproef populatie geen respons; lage aantallen patiënten; recall bias mogelijk; overleden patiënten vs levende controles
Wer89b	V	idem	ANLL 'wire code' : ±	nieuwe analyse gegevens Sev88: combinatie twee laagste en twee hoogste 'wire codes'
Pre88	V	patiënt-controle; diagnose AML of CML** 20-79 jr, 1979-1985, district Los Angeles, CA, VS; centrale kankerregistratie	AML of CML** : --	blootstelling door elektrische dekens; onderzoek niet specifiek gericht op ELF EM velden; klimaat te warm, daardoor weinig gebruik elektrische dekens
Sch90a	V	cohort 1956-1981; minimaal 5 jr in de buurt van hoogspanningslijn gewoond, vergeleken voor < 100 m en > 100 m; Maastricht	kanker algemeen : -- leukemie : -- hersentumoren : --	blootstelling beperkt gemeten, alleen nabijheid; lage aantallen patiënten
Ver90	V	patiënt-controle; diagnose testiskanker 1981-1984, staat Washington, VS; centrale kankerregistratie	gebruik 25-120 mnd testiskanker : ± seminoma : -- non-seminoma : ±	blootstelling door elektrische dekens; geen metingen; mogelijk andere bronnen van EM velden
You91	V	patiënt-controle; diagnose leukemie of lymfoma > 15 jr, 1983-1985, Yorkshire, Engeland; registratie leukemiën en lymfomen	afstand tot hoogspanningslijn < 50 m : ± B-veld > 0,3 µT : ±	B-veld berekend aan de hand van gemiddelde belasting van de lijn gedurende 5 jr voor diagnose; mogelijk blootstelling aan andere EM velden
Ven91	V	patiënt-controle; diagnose post-menopauze borstkanker, 41-85 jr, 1987-1989, 2 districten in de staat New York, VS	frequent gebruik : ± overige : --	blootstelling door elektrische dekens; geen metingen; laag percentage responders; mogelijk recall bias

* Kind/volwassene

** Karakterisering van de resultaten door de auteur:

- + : significant positieve associatie
- ± : niet-significant positieve associatie
- : geen positieve associatie

*** Zie afkortingenlijst

Tabel 5 Vervolg.

Auteur	K/ V*	Opzet onderzoek	Eindpunt/associatie**	Opmerkingen
Relatie met spontane abortus				
Wer86	V	patiënt-controle; populatie: alle geboortemeldingen in 1982 uit 2 ziekenhuizen in Denver, CO, VS; registratie voorafgaande zwangerschappen 1975-1981	sterke relatie met seizoensafhankelijk gebruik	blootstelling door elektrische dekens of verwarmd waterbed; mogelijk directe invloed van warmte
Wer89a	V	patiënt-controle; populatie: alle geboorten uit geboorteregister Eugene/Springfield, Oregon, VS, in 1983 en 1985	ratio spontane abortus vóór 20 wk in populatie met vs populatie zonder verwarming sterk gecorreleerd met seizoensafhankelijke temperatuurveranderingen	blootstelling door elektrische plafondverwarming (B-veld ca. 0,1 μ T); populaties met en zonder verschillend; mogelijk seizoensafhankelijke verschillen in confounders
Relatie met overige effecten				
Str70	V	wonen in directe omgeving hoogspanningslijn	geen verschil in wonen < 25 m of 25-125 m	algemene gezondheid
Per81	V	patiënt-controle; wonen in de nabijheid van hoogspanningslijn of -kabel	zelfmoord : --	metingen B-veld tot 10 jr later uitgevoerd; biologische hypothese ontbreekt
McD86	V	cohort 1971-1983; woning < 50 m van elektrische installaties of < 30 m van bovengrondse leiding; East Anglia, Engeland	zelfmoord : --	geen blootstelling gemeten, alleen nabijheid; lage aantallen patiënten
Per88	V	patiënt-controle; bewoners hoogbouw flats Wolverhampton, Engeland, opgenomen in ziekenhuis	voor diverse ziekten verschil tussen wonen in flats 'dichtbij' of 'ver weg'	positie flat t.o.v. hoofdkabel elektriciteit; totaal aantal personen in flats niet bekend; geen metingen
Eck76	K	incidentie wiegedood in Hamburg, Duitsland, 1961-1967	hogere incidentie nabij spoorwegen en lagere verdiepingen van hoogbouw-flats	onvolledige gegevens

* Kind/volwassene

** Karakterisering van de resultaten door de auteur:

+ : significant positieve associatie

\pm : niet-significant positieve associatie

-- : geen positieve associatie

*** Zie afkortingenlijst

.....

.....

6 CONCLUSIES

.....

6.1 Acute effecten

In hoofdstuk 3 heeft de commissie betoogd dat er met betrekking tot de biologische effecten van blootstelling geen essentieel verschil bestaat tussen elektrische en magnetische velden. Het gaat in beide gevallen om de door de velden opgewekte stroom in het lichaam, al lopen de stromen veroorzaakt door elektrische en magnetische velden in verschillende patronen. Tevens is in hoofdstuk 3 aangegeven dat velden met een voldoende hoge sterkte, die in bepaalde industriële arbeidssituaties kunnen voorkomen, stroomdichtheden teweeg kunnen brengen die een fysiologische invloed kunnen hebben.

Op grond van deze overwegingen komt de commissie tot de conclusie dat richtlijnen gewenst zijn voor maximale blootstelling aan 50/60 Hz-EM velden ter voorkoming van acute nadelige effecten op de gezondheid. De commissie onderschrijft het door het INIRC/IRPA voorgestelde uitgangspunt van een maximale stroomdichtheid in het lichaam van 10 mA/m^2 . De commissie meent dat de door het INIRC/IRPA voorgestelde normen (zie bijlage C) voldoende veiligheid garanderen en zij beveelt aan deze normen te laten dienen als basis voor overheidsbeleid op dit terrein.

.....

6.2 Chronische effecten

In de hoofdstukken 4 en 5 van dit advies heeft de commissie aangegeven welke biologische effecten zijn gevonden bij langdurige blootstelling aan ELF EM velden met een lage veldsterkte. Zij signaleert dat in epidemiologisch onderzoek in de Verenigde Staten in een aantal gevallen een positieve associatie is gerapporteerd tussen de 'wire code', een indeling in

klassen van het totaal van onderdelen van het bovengrondse elektriciteitsdistributienet, en het voorkomen van bepaalde vormen van kanker, in die zin dat deze ziekte relatief vaker voorkwam bij personen die woonden in de nabijheid van configuraties die mogelijk resulteerden in een meer dan gemiddelde magnetische veldsterkte. De commissie wijst er echter op dat een positieve associatie tussen de gemeten magnetische veldsterkte en het voorkomen van kanker niet is aangetoond. Het experimentele onderzoek geeft tot op heden ook geen aanwijzingen voor een mogelijke invloed van 50/60 Hz-EM velden op het ontstaan van kanker.

Uit de resultaten van experimenteel onderzoek concludeert de commissie dat er momenteel ook geen aanwijzingen zijn dat blootstelling aan ELF EM velden met een lage veldsterkte andere nadelige effecten op de gezondheid kan hebben of de ontwikkeling van de ongeboren vrucht nadelig zou beïnvloeden. In hoofdstuk 4 heeft zij aangegeven dat enkele effecten van een dergelijke blootstelling tot fysiologisch meetbare veranderingen zouden kunnen leiden. Het is echter volstrekt onduidelijk welke de gevolgen hiervan voor de gezondheid van een organisme zouden zijn.

De commissie concludeert op grond van de huidige wetenschappelijke kennis en inzichten, dat niet aangetoond kan worden dat een korte of langdurige blootstelling aan ELF EM velden met de (relatief lage) veldsterkten die gebruikelijk zijn in de woon- of werkomgeving en nadelige invloed op de gezondheid heeft.

.....
.....
7 SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK.....
7.1 Inleiding

In zijn adviesaanvraag stelt de minister de vraag of de huidige kennis onvoldoende is voor het vaststellen van een relatie tussen blootstelling aan ELF EM velden en nadelige effecten op de gezondheid. De commissie heeft in de voorgaande hoofdstukken van dit advies betoogd dat zo'n relatie niet vastgesteld is. Anderzijds heeft zij benadrukt in de toelichting in het Advies in Hoofdpijnen (pg 16) dat het onder alle omstandigheden afwezig zijn van een interactie niet via wetenschappelijk onderzoek vastgesteld kan worden. Wel heeft de commissie aangegeven dat op een groot aantal gebieden nog kennis ontbreekt danwel incompleet is. Zij acht meer onderzoek daarom wenselijk. In de VS zal in de komende jaren het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van ELF EM velden sterk uitgebreid worden, terwijl er ook in Europa een toename van de inspanningen op dit terrein zal zijn. De commissie beveelt aan om deze ontwikkelingen nauwgezet te blijven volgen.

De minister vraagt verder welk wetenschappelijk onderzoek, bijvoorbeeld in Nederland, mogelijk, en eventueel noodzakelijk is, om de onzekerheden en lacunes in de wetenschappelijke kennis te verminderen. De commissie geeft in dit hoofdstuk een opsomming van onderwerpen en vragen waarover wetenschappelijk onderzoek verricht zou kunnen worden en waarvan zij verwacht dat inpassing in lopend onderzoek in Nederland zonder onnodig veel extra inspanning kan plaats vinden.

.....
7.2 Experimenteel onderzoek

Bij alle experimenten is het van belang om na te gaan of er een effect is van de golfvorm (sinusoïde, gepulst, blok-vormig etcetera) en of een eventueel effect afhankelijk is van

.....

de frequentie, veldsterkte of de blootstellingsduur, met andere woorden, of er 'vensters' zijn met grotere effecten. Pas nadat hierover inzicht is verkregen, zal het misschien mogelijk zijn om het effect te beoordelen van specifieke blootstellingcondities aan 50 (of 60) Hz-wisselvelden samenhangend met het transport en de distributie van elektriciteit.

Eveneens is het van belang dat alle in vitro waargenomen effecten ook in het intacte organisme worden bestudeerd.

.....

Transport van ionen

Aangezien een veranderde concentratie van calciumionen in de cel grote gevolgen kan hebben voor het functioneren van de cel, is de uitstroom van calciumionen potentieel een belangrijk mechanisme voor beïnvloeding van een biologisch systeem door ELF EM velden. Veel vragen zijn nog onbeantwoord, bijvoorbeeld:

- Is calciumefflux specifiek voor bepaalde delen van de hersenen? Kan dit verschijnsel ook in andere celtypen dan zenuwcellen en bij andere proefdieren dan kippe-embryo's worden aangetoond?
- Wat is het mechanisme van het effect van ELF EM velden op de calciumefflux? Kan een mechanisme van interferentie met biologische frequenties (Ler91) plausibel worden gemaakt?
- Is het effect reversibel, d.w.z. herstelt de intracellulaire calciumconcentratie zich weer na beëindiging van de blootstelling aan ELF EM velden?
- Wat zijn de effecten van blootstelling aan ELF EM velden op andere ionen in de cel?

Genexpressie

Wat is de invloed van blootstelling aan ELF EM velden op de expressie van specifieke genen, bijvoorbeeld al of niet geactiveerde oncogenen?

Hormoon- en neurotransmittergevoeligheid

De mogelijke effecten van blootstelling aan ELF EM

velden op receptoren voor neuropeptiden (de zeer belangrijke regulatoren van uiteenlopende hersenfuncties, zoals gedrag, geheugen en emoties) zijn grotendeels onbekend.

Immuunrespons

Zijn de verkregen resultaten van experimenten met betrekking tot de invloed van blootstelling aan ELF EM velden op de remming van de celdodende activiteit van T-lymfocyten reproduceerbaar? Treedt een dergelijke remming ook op in het intacte organisme? Wat is de mogelijke invloed van blootstelling aan ELF EM velden op de relatie tussen enerzijds het immuunsysteem, en anderzijds de hersen, de hypofyse en de bijnier?

Effect op kankercellen

Uitbreiding van de beperkte kennis over mogelijke effecten van blootstelling aan ELF EM velden op alle parameters voor tumorcelgroei (onderscheid tussen verschillende celtypen, relatie met organisme, werking van immuunsysteem) is gewenst.

Hormonen

Blootstelling aan ELF EM velden zou, via een effect op de afgifte van melatonine door de epifyse, belangrijke organen en levensfuncties kunnen beïnvloeden. Een mechanisme van werking van ELF EM velden op de epifyse is niet bekend. Onderzoek zou uitgevoerd kunnen worden aan een goed gedefinieerd model (bijvoorbeeld bij amfibiën de epifyse-hersen-hypofyse-as).

Voortplanting, groei, ontwikkeling

Op dit terrein is er behoefte aan studies aan perinatale modellen: effecten op de ontwikkeling van het centraal zenuwstelsel kunnen latent zijn en pas op latere leeftijd, onder bijzondere omstandigheden, aan het licht treden.

.....

7.3 Epidemiologisch onderzoek

Het is in Nederland goed mogelijk om een patiënt-controle-onderzoek te doen naar de relatie tussen blootstelling

aan ELF EM-velden en leukemie bij kinderen. Veel van de hiervoor benodigde gegevens kunnen verkregen worden uit de in ons land bestaande centrale registratie van jonge leukemiepatiënten.

Daarnaast verdient het verrichten van een retrospectief cohort-onderzoek overweging. Een cohort mensen die vroeger op een kleine afstand van een hoogspanningslijn gewoond hebben kan in de tijd gevolgd worden om vast te stellen of het sterftepatroon in die groep afwijkt van dat van de rest van de Nederlandse bevolking.

.....

7.4 Stroomdichtheid in het lichaam

Zoals de commissie in hoofdstuk 3 heeft beschreven, ontbreekt nog een gedetailleerde beschrijving van de stroomdichtheden die door externe magneetvelden in het lichaam worden opgewekt. De complexiteit van het lichaam als elektrische volumegeleider (inhomogeniteit, complexe vorm) heeft zo'n beschrijving tot nu toe in de weg gestaan. Moderne numerieke methoden voor de oplossing van dit mathematisch-fysische probleem zijn evenwel inmiddels (ook in Nederland) beschikbaar. Inzet van deze technieken zal bijdragen aan inzicht in de lokale effecten binnen het lichaam.

LITERATUUR

- Ahl87 Ahlbom A, Albert EN, Fraser-Smith AC, e.a. Biological effects of powerline fields. New York State Power Lines Project, final report. New York: New York State Power Lines. Sci Adv Panel, 1987.
- Ber88a Bernhardt JH. Extremely low frequency (ELF) electric fields. In: Repacholi MH, red. Non-ionizing radiations. Physical characteristics, biological effects and health hazard assessment. London: International Radiation Protection Association, 1988: 235-53.
- Ber88b Bernhardt JH. Extremely low frequency (ELF) magnetic fields. In: Repacholi MH, red. Non-ionizing radiations. Physical characteristics, biological effects and health hazard assessment. London: International Radiation Protection Association, 1988: 273-89.
- Bla88 Blackman CF, Benane SG, Elliott DJ, e.a. Influence of electromagnetic fields on the efflux of calcium ions from brain tissue in vitro: a three-model analysis consistent with the frequency response up to 510 Hz. Bioelectromagnetics 1988; 9: 215-27.
- Byu87 Byus CV, Pieper SE, Adey WR. The effects of low-energy 60 Hz environmental electromagnetic fields upon the growth-related enzyme ornithine decarboxylase. Carcinogenesis 1987; 8: 1385-9.
- Cai86 Cain CD, Malto MC, Jones RA, e.a. Effects of 60 Hz fields on ornithine decarboxylase activity in bone cells and fibroblasts. Contractor's review meeting. Denver: U.S. Department of Energy Storage and Distribution and the Electric Power Research Institute Health Studies Program, New York State Department of Health, 1986.
- Col85 Coleman M, Bell CMJ, Taylor HL, e.a. Leukemia and electromagnetic fields: a case-control study. In: Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology. London: IEE, 1985: 122-3. (Conference publication no. 257).

-
- Col89 Coleman MP, Bell CMJ, Taylor HL, e.a. Leukemia and residence near electricity transmission equipment: a case-control study. *Br J Cancer* 1989; 60: 793-8.
- Coh86a Cohen MM, Kunska A, Astemborski JA, e.a. Effect of low-level, 60 Hz electromagnetic fields on human lymphoid cells: I. Mitotic rate and chromosome breakage in human peripheral lymphocytes and lymphoblastoid cell lines. *Bioelectromagnetics* 1986; 7: 415-23.
- Coh86b Cohen MM, Kunska A, Astemborski JA, e.a. Effect of low-level, 60 Hz electromagnetic fields on human lymphoid cells: II. Sister-chromatid exchanges in peripheral lymphocytes and lymphoblastoid cell lines. *Mutat Res* 1986; 172: 177-84.
- Das67 Das-Gupta TK, Terz J. Influence of pineal gland on the growth and spread of melanoma in the hamster. *Cancer Res* 1967; 27: 1306.
- Eck76 Eckert EE. Plötzlicher und unerwarteter Tod im Kleinkindesalter und elektromagnetische Felder. *Med Klin* 1976; 71: 1500-5.
- EPA90 Environmental Protection Agency. Evaluation of the potential carcinogenicity of electromagnetic fields. Washington: US Environmental Protection Agency, 1990; publikatie nr EPA/600/6-90/005B, external review draft.
- Far84 Farber E. The multistep nature of cancer development. *Cancer Res* 1984; 44: 4217-23.
- Fea90 Fearon ER, Vogelstein B. A genetic model of colorectal tumorigenesis. *Cell* 1990; 61: 759-67.
- Fou69 Foulds L. Neoplastic development, volume I. London: Academic Press, 1969.
- Fou75 Foulds L. Neoplastic development, volume II. London: Academic Press, 1975.
- Fre90 Frey AH. Is a toxicological model appropriate as a guide for biological research with electromagnetic fields? *J Bioelectr* 1990; 9: 233-4.
- Ful80 Fulton JP, Cobb S, Preble L, e.a. Electrical wiring configuration and childhood cancer in Rhode Island. *Am J Epidemiol* 1980; 111: 292-6.
- Gau84 Gauger JR. Household appliance magnetic field survey. Arlington: ITT Research Institute, Naval Electronic Systems Command, 1984; publikatie nr EO 6549-3.
- Gol91 Goldberg RB, Creasey WA. A review of cancer induction by extremely low-frequency electromagnetic fields - Is there a plausible mechanism. *Med Hypotheses* 1991; 35: 265-74.

-
- GR84 Gezondheidsraad: Commissie NMR. Interim advies inzake nuclear magnetic resonance. Den Haag: Gezondheidsraad, 1984; publikatie nr 1984/5.
- GR86 Gezondheidsraad: Commissie NMR. Magnetische resonantie spectroscopie. Den Haag: Gezondheidsraad, 1986; publikatie nr 1986/1.
- Goo87 Goodman R, Abbott J, Henderson AS. Transcriptional patterns in the *Sciara coprophila*. *Bioelectromagnetics* 1987; 8: 1-8.
- Goo91 Goodman R, Henderson AS. Transcription and translation in cells exposed to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Bioelectrochem Bioenerg* 1991; 25: 335-55.
- Her87 Héroux P. 60 Hz Electric and magnetic fields generated by a distribution network. *Bioelectromagnetics* 1987; 8: 135-48.
- IRPA90 International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association. Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. *Health Phys* 1990; 58: 113-22.
- Joh91 John EM, Savitz DA, Sandler DP. Prenatal exposure to parents' smoking and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1991; 113: 133-43.
- Kra90 Krause N. Umgebungsfeldstärke in Freizeit und Beruf. In: Haubrich HJ, red. Sicherheit im elektromagnetischen Umfeld. Berlin: VDE Verlag, 1990: 23-46.
- Kau80 Kaune WT, Phillips RD. Comparison of the coupling of grounded humans, swine and rats to vertical, 60 Hz electric fields. *Bioelectromagnetics* 1980; 1: 117-29.
- Ler91 Lerchl A, Reiter RJ, Howes KA, e.a. Evidence that extremely low-frequency Ca²⁺ cyclotron resonance depresses pineal melatonin synthesis in vitro. *Neurosci Lett* 1991; 124: 213-5.
- Lee91 Leeper E, Wertheimer N, Savitz D, e.a. Modification of the 1979 Denver wire code for different wire or plumbing types. *Bioelectromagnetics* 1991; 12: 315-8.
- Lib84 Liboff AR, Williams T, Strong DM, e.a. Time-varying magnetic fields: effect on DNA synthesis. *Science* 1984; 223: 818-20.
- 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: 923-37.

-
- Lyl88 Lyle DB, Ayotte RD, Sheppard AR, e.a. Suppression of T-lymphocyte cytotoxicity following exposure to 60-Hz sinusoidal electric fields. *Bioelectromagnetics* 1988; 9: 303-13.
- Lym83 Lymangrover JR, Keku E, Seto YJ. 60-Hz Electric field alters the steroidogenic response of rat adrenal tissue in vitro. *Life Sci* 1983; 32: 691-6.
- Lym87 Lymangrover JR, Keku E, Hsieh ST, e.a. Direct power frequency electric field effects on mammalian endocrine tissue. *Environ Res* 1987; 43: 157-67.
- McD86 McDowall ME. Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. *Br J Cancer* 1986; 53: 271-9.
- Mic91 Michaelson SM. Household magnetic fields and childhood leukemia: a critical analysis. *Pediatrics* 1991; 88: 630-5.
- Mye85 Myers A, Cartwright RA, Bonnell JA, e.a. Overhead power lines and childhood cancer. In: *Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology*. London: IEE, 1985: 125-30. (Conference Publication no 257).
- NNI87 Nederlands Normalisatie Instituut. NEN 1060. Bovengrondse hoogspanningslijnen. Rijswijk: Nederlands Normalisatie Instituut, 1987.
- Oos89 van Oosterom A. Cell models - macroscopic source descriptions. In: MacFarlane PW, Lawrie TTV, red. *Comprehensive electrocardiology*; vol 1. Oxford: Pergamon Press, 1989: 155-79.
- OTA89 Office of Technology Assessment. Biological effects of power frequency electric and magnetic fields - Background paper. Washington: USGPO, 1989; publikatie nr OTA-BP-E-53.
- Per81 Perry FS, Reichmanis M, Marino AA, e.a. Relation between suicide and the electromagnetic field of overhead power lines. *Health Phys* 1981; 41: 267-77.
- Per88 Perry FS, Pearl L. Power frequency magnetic field and illness in multi-story blocks. *Public Health* 1988; 102: 11-8.
- Pet90 Pettinga JJ. Metingen van het 50 Hz elektromagnetische veld van de 150 kV bovengrondse lijn Arnhem - Apeldoorn. Arnhem: KEMA 1990; publikatie nr 00331-DZO 90-1084.
- Pre88 Preston-Martin S, Peters JM, Yu MC, e.a. Myelogenous leukemia and electric blanket use. *Bioelectromagnetics* 1988; 9: 207-13.

-
- Rag83 Ragan HA, Buschbom RL, Pipes MJ, e.a. Haematologic and serum chemistry studies in rats exposed to 60 Hz. Bioelectromagnetics 1983; 4: 79-90.
- Rom87 Rommereim DN, Kaune WT, Buschbom RL, e.a. Reproduction and development in rats chronically exposed to 60 Hz electric fields. Bioelectromagnetics 1987; 8: 243-58.
- Ros89 Rosenthal M, Obe G. Effects of 50-Hz electromagnetic fields on the proliferation and on chromosomal alterations in human peripheral lymphocytes untreated or pretreated with chemical mutagens. Mutat Res 1989; 210: 329-35.
- SAB92 Environmental Protection Agency. Science Advisory Board. An SAB report: Potential carcinogenicity of electric and magnetic fields. Review of the ORD's Potential carcinogenicity of electromagnetic fields by the Radiation Advisory Committee's Nonionizing Electric and Magnetic Fields Subcommittee. Washington: US Environmental Protection Agency, 1992; publikatie nr EPA-SAB-RAC-92-013.
- 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: 21-38.
- Sav89a Savitz DA, Feingold L. Association of childhood cancer with residential traffic density. Scand J Work Environ Health 1989; 15: 360-3.
- Sav89b Savitz DA, Pearce NE, Poole C. Methodological issues in the epidemiology of electromagnetic fields and cancer. Epidemiol Rev 1989; 11: 59-78.
- Sav90 Savitz DA, John EM, Kleckner RC. Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. Am J Epidemiol 1990; 131: 763-73.
- Sch79 Scherer E, Emmelot P. Multihit kinetics of tumor cell formation and risk assessment of low doses of carcinogen. In: Griffin AC, Shaw CR, red. Carcinogens: Identification and mechanisms of action. New York: Raven Press, 1979: 337-64.
- Sch89 Scherer E, Bax J, Woutersen RA. Pathogenic interrelationship of focal lesions, nodules, adenomas and carcinomas in the multistage evolution of azaserine-induced rat pancreas carcinogenesis. In: Travis CC, red. Biologically based methods for cancer risk assessment. New York: Plenum Publishing Corporation, 1989: 41-54.
- Sch90a Schreiber GH, Meijers JMM, Swaen GMH. A retrospective cohort study of electromagnetic fields (ELF) exposure and cancer mortality. Niet-gepubliceerde gegevens, 1990.

-
- Sch90b Schreiber GH, Meijers JMM, van Vliet K, e.a. Biologische effecten van laagfrequente electromagnetische golfvelden. T Soc Gezondheidsz 1990; 68; 215-24.
- Sch91 Schreiber GH, Swaen GMH. Gezondheidsrisico's van blootstelling aan extreem laag-frekwente elektromagnetische velden. Den Haag: Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1991. (Stralenbescherming nr 51).
- Sev88 Severson RK, Stevens RG, Kaune WT, e.a. Acute nonlymphocytic leukemia and residential exposure to power frequency magnetic fields. Am J Epidemiol 1988; 128: 10-20.
- Sie89 Siegel GJ, Agranoff BW, Albers RW, e.a. Basic neurochemistry. New York: Raven Press, 1989.
- Sik87 Sikov MR, Rommereim JL, Beamer RL, e.a. Developmental studies of Hanford miniature swine exposed to 60 Hz electric fields. Bioelectromagnetics 1987; 8: 229-42.
- Sil89 Silva M, Hummon N, Rutter D, e.a. Power-frequency magnetic fields in the home. IEEE Trans Power Deliv 1989; 4: 465-78.
- Ste87 Stevens RG. Electric power use and breast cancer: a hypothesis. Am J Epidemiol 1987; 125: 556-61.
- Sti90 Stimmer H. Niederfrequente elektromagnetische Felder. In: Unterlagen zum Seminar Elektromagnetische Felder Oberösterreichischen Kraftwerke AG, 1990: 19-34.
- Str70 Strumza MV. Influence sur la santé humaine de la proximité des conducteurs de l'électricité a haute tension. Arch Mal Prof 1970; 31: 269-76.
- Stu86 Stuchly MA. Human exposure to static and time-varying magnetic fields. Health Phys 1986; 51: 215-25.
- The90 Theriault G. Cancer risks due to exposure to electromagnetic fields. In: Band P, red. Occupational cancer epidemiology. Berlijn: Springer Verlag, 1990: 166-80. (Recent results in cancer research).
- Tho86a Thomas RL, Schrot J. Investigation of potential behavioural effects of exposure to 60 Hz electromagnetic fields. Albany: Wadsworth laboratories, 1986.
- Tho86b Thomas RL, Schrot J, Liboff AR. Low intensity magnetic fields alter operant behaviour in rats. Bioelectromagnetics 1986; 7: 349-57.

-
- Tom82 Tomenius L, Hellström L, Enander B. Electrical constructions and 50-Hz magnetic field at the dwellings of tumour cases (0-18 years of age) in the county of Stockholm. In: Proceedings of the International Symposium on Occupational Health and Safety in Mining and Tunneling. Praag, 1982: 101.
- Tom86 Tomenius L. 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm County. Bioelectromagnetics 1986; 7: 191-207.
- Ven91 Vena JE, Graham S, Hellmann R, e.a. Use of electric blankets and risk of postmenopausal breast-cancer. Am J Epidemiol 1991; 134: 180-5.
- Ver90 Verreault R, Weiss NS, Hollenbach KA, e.a. Use of electric blankets and risk of testicular cancer. Am J Epidemiol 1990; 131: 759-62.
- Wer79 Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configuration and childhood cancer. Am J Epidemiol 1979; 109: 273-84.
- Wer82 Wertheimer N, Leeper E. Adult cancer related to electrical wires near the home. Int J Epidemiol 1982; 11: 345-55.
- Wer86 Wertheimer N, Leeper E. Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development. Bioelectromagnetics 1986; 7: 13-22.
- Wer89a Wertheimer N, Leeper E. Fetal loss associated with two seasonal sources of electromagnetic field exposure. Am J Epidemiol 1989; 129: 220-4.
- Wer89b Wertheimer N, Leeper E. RE: Acute nonlymphocytic leukemia and residential exposure to power frequency magnetic fields. Am J Epidemiol 1989; 130: 423-5.
- Wil81 Wilson BW, Anderson LE, Hilton DI, e.a. Chronic exposure to 60 Hz electric fields: effects on pineal function in the rat. Bioelectromagnetics 1981; 7: 239-42.
- Wil89 Wilson BW, Stevens RG, Anderson LE. Neuroendocrine mediated effects of electromagnetic field exposure: possible role of the pineal gland. Life Sci 1989; 45: 1319-32.
- WHO84 World Health Organization. Extremely low frequency (ELF) fields. Geneva: World Health Organization, 1984. (Environmental Health Criteria 35).
- You91 Youngson JHAM, Clayden AD, Myers A, e.a. A case control study of adult hematological malignancies in relation to overhead powerlines. Br J Cancer 1991; 63: 977-85.

.....

.....

.....

LIJST VAN AFKORTINGEN

.....

SI eenheden:

A	ampère, eenheid van elektrische stroom
m	meter, eenheid van lengte
s	seconde, eenheid van tijd

.....

Afgeleide eenheden en grootheden:

V	volt, eenheid van elektrische spanning
V/m	volt per meter, grootte-eenheid van de elektrische veldsterkte
E	elektrische veldsterkte (in V/m)
A/m ²	ampère per vierkante meter, grootte-eenheid van elektrische stroomdichtheid
J	elektrische stroomdichtheid (in A/m ²)
T	tesla, eenheid van magnetische fluxdichtheid (in V.s/m ²); maat voor de magnetische veldsterkte
G	gauss, vroegere eenheid van magnetische fluxdichtheid (1 G = 10 ⁴ T)
B	magnetische fluxdichtheid (in T)
Ω	ohm, eenheid van elektrische weerstand
ρ	rho, elektrische specifieke weerstand (in Ω.m)
Hz	hertz, aantal trillingen per seconde, eenheid van frequentie
f	frequentie (in Hz)
J _m	amplitude van een sinusvormig in de tijd fluctuerende stroomdichtheid
B _m	amplitude van het sinusvormig magnetisch veld
r	straal van een cirkel of bol (in m)

.....

.....

Overige afkortingen:

E-veld	elektrische veldsterkte
B-veld	magnetische veldsterkte
EM	elektromagnetisch
ELF	extreem laagfrequent: EM trillingen met frequenties tussen 0 en 300 Hz
OTA	Office of Technology Assessment, het wetenschappelijk bureau van het Amerikaanse Congres
EPA	Environmental Protection Agency, het milieubureau van de Amerikaanse federale overheid
INIRC	International Non-ionizing Radiation Committee
IRPA	International Radiation Protection Association
ODC	ornithine decarboxylase, een regulerende factor bij groeiprocessen
DNA	desoxy-ribonucleïnezuur, drager van de code voor de erfelijke eigenschappen
ANLL	acute non-lymfocyttaire leukemie
AML	acute myeloïde leukemie
CML	chronische myeloïde leukemie
CNS	central nervous system, centraal zenuwstelsel

.....

Gebruikte voorvoegsels:

μ	micro, 10 ⁻⁶
m	milli, 10 ⁻³
c	centi, 10 ⁻²
k	kilo, 10 ³
M	mega, 10 ⁶
G	giga, 10 ⁹

.....

.....

A SAMENSTELLING VAN DE COMMISSIE

.....

voorzitter

- prof dr A van Oosterom, hoogleraar medische fysica
Laboratorium voor Medische Fysica en Biofysica, Katholieke Universiteit Nijmegen

overige leden

- drs FBJ Koops, bioloog
Afdeling Milieuonderzoek, KEMA, Arnhem
- prof dr ir PCT van der Laan, hoogleraar hoogspanningstechniek
Vakgroep Hoogspanningstechniek en Electromagnetic Compatibility, Technische Universiteit Eindhoven
- dr H Pauw, stralingsdeskundige
Afdeling Stralingshygiëne, Nederlandse Philips Bedrijven BV, Eindhoven
- prof dr EW Roubos, hoogleraar experimentele dierkunde
Vakgroep Experimentele Dierkunde II, Katholieke Universiteit Nijmegen
- dr E Scherer, bioloog (vanaf 27 mei 1991)
Sectie Chemische Carcinogenese, Het Nederlands Kanker Instituut, Amsterdam
- dr GMH Swaen, epidemioloog
Capaciteitsgroep Arbeidsgeneeskunde, Rijksuniversiteit Limburg, Maastricht

adviseurs

- dr DWG Jung, fysicus
Directie Stoffen, Veiligheid en Straling, Directoraat-Generaal Milieubeheer, Ministerie van VROM, Leidschendam

.....

- dr WF Passchier, fysisch-chemicus (vanaf 1 mei 1991)
Gezondheidsraad, Den Haag

secretaris

- dr WF Passchier, fysisch-chemicus (tot 1 mei 1991)
Gezondheidsraad, Den Haag
- dr E van Rongen, radiobioloog (vanaf 1 mei 1991)
Gezondheidsraad, Den Haag

.....

De administratieve ondersteuning werd verzorgd door mw R Aksel-Gauri. Belangrijke redactionele bijdragen werden geleverd door drs AB Leussink, stafmedewerker van de Gezondheidsraad.

.....

.....

B DE ADVIESAANVRAAG

.....

In een brief van 26 augustus 1991, kenmerk DGM/DS/MBS nr. 15891005, verzocht de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer de voorzitter van de Gezondheidsraad advies uit te brengen over de gezondheidsrisico's van extreem laag-frequente elektromagnetische velden.

De adviesaanvraag luidde als volgt:

.....

Naar aanleiding van kamervragen (Nijhuis en Braams, 05-02-1988, nr. 2878803610; Verspaget en Vriens-Auerbacht, 25-02-1988, 2878804080; Braams en Nijhuis, 16-03-1988, 2878804720) en vragen van de vaste Commissie voor Milieubeheer (brief 21-12-1988 kenmerk 88-20 MB; brief 19-04-1989 kenmerk 89-11-MB) inzake elektromagnetische staling rond zenderparken heeft de toenmalige Minister van VROM een onderzoek naar de economische schade en hinder van elektromagnetische straling toegezegd. Daarnaast hebben recente publicaties, met name in de U.S.A. (onder andere het rapport van het Office of Technology Assessment (OTA) van het Amerikaans Congres (1989) en het conceptrapport van de U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 1990)), gezorgd voor een toenemende onrust onder de Nederlandse bevolking met betrekking tot gezondheidsrisico's van extreem laag-frequente (ELF) elektromagnetische (EM) velden. Met name de velden rond hoogspanningslijnen en -kabels waren aanleiding voor vragen naar de mogelijke gezondheidsrisico's van extreem laag-frequente elektromagnetische velden.

De Directie Stralenbescherming heeft, naar aanleiding van bovengenoemde vragen, een aantal onderzoeken naar de effecten van niet-ioniserende straling uit laten voeren. De resultaten van deze onderzoeken zullen worden gebruikt als onderbouwing voor eventuele normstelling voor niet-ioniserende straling.

Eén van deze onderzoeken had betrekking op de gezondheidsrisico's voor mensen bij blootstelling aan extreem laag-frequente (ELF) elektromagnetische (EM) velden en betrof het, op basis van recente wetenschappelijke gegevens, inventariseren van de mogelijke relatie(s) tussen blootstelling aan dergelijke velden en de effecten daarvan, met name de effecten op de gezondheid van de mens. Bovendien had dit onderzoek tot doel om het ontstaan van, de verspreiding van en de blootstelling aan ex-

.....

treem laag-frequente elektromagnetische velden in Nederland in kaart te brengen.

Naar aanleiding van de resultaten van het bovengenoemde, door de Vakgroep Arbeidsgeneeskunde, Milieugezondheidskunde en Toxicologie van de Rijksuniversiteit Limburg uitgevoerde onderzoek stel ik het op prijs om het advies van de Gezondheidsraad te verkrijgen over een drietal, hieronder te noemen, onderwerpen. De Raad wordt daarbij verzocht om naast de conclusies en aanbevelingen van genoemd onderzoek ook de conclusies en aanbevelingen van het OTA rapport en het EPA conceptrapport te betrekken in haar advies.

1. Recente epidemiologische gegevens hebben tot nu toe geen éénduidige relatie kunnen leggen tussen de kans op sterfte door tumorinductie en de blootstelling aan ELF elektromagnetische velden. Bovendien ontbreekt een éénduidige relatie tussen de waargenomen effecten op cellulair nivo, de waargenomen effecten op mens en dier en daadwerkelijke gezondheidseffecten. Gaarne wordt van de Gezondheidsraad vernomen of de huidige kennis inderdaad onvoldoende is voor het vaststellen van dergelijke relaties. Indien dit inderdaad het geval is, welk wetenschappelijk onderzoek is dan, bijvoorbeeld in Nederland, mogelijk, en eventueel noodzakelijk, om de onzekerheden en lacunes in de wetenschappelijke kennis te verminderen?
2. Naast de interim richtlijnen van de International Non-ionizing Radiation Committee (INIRC) van de International Radiation Protection Association (IRPA) betreffende de beperking van blootstelling aan elektrische en magnetische velden van 50/60 Hz (Health Physics, 58, 113-122, 1990) zijn ook in diverse landen (voorlopige) richtlijnen vastgesteld. Gaarne wordt van de Gezondheidsraad vernomen of de huidige kennis van mogelijke effecten van extreem laag-frequente elektromagnetische velden op de gezondheid van de mens voldoende is voor het ontwikkelen van normen voor (maximale) blootstelling aan extreem laag-frequente elektromagnetische velden. Indien dit inderdaad het geval is, kan de interim richtlijn van de INIRC/IRPA wetenschappelijk gezien als uitgangspunt dienen voor overheidsbeleid?
3. Het aantal in Nederland blootgestelde mensen aan extreem laag-frequente elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen en -kabels is onbekend. Eenzelfde conclusie kan getrokken worden met betrekking tot de veldsterkten waaraan deze groep mensen wordt blootgesteld. Ook de veldsterkten waaraan men in Nederland blootgesteld wordt ten gevolge van het gebruik van (huishoudelijke) apparaten is onbekend. Gaarne wordt van de Gezondheidsraad vernomen of de huidige kennis van mogelijke effecten van extreem laag-frequente

.....

elektromagnetische velden op de gezondheid van de mens
aanleiding geeft tot het in kaart brengen van de veld-
sterkten waaraan de Nederlandse bevolking wordt bloot-
gesteld ten gevolge van de bovengenoemde bronnen.

Ik stel het op prijs het advies van de Gezondheidsraad voor
eind 1991 te mogen ontvangen.

wg
De Minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,
J.G.M. Alders

.....

.....

.....

.....

C INIRC/IRPA INTERIM-RICHTLIJNEN

.....

C.1 Inleiding

Het International Non-ionizing Radiation Committee (INIRC) van de International Radiation Protection Association (IRPA) baseert zijn richtlijnen op een maximale stroomdichtheid in het lichaam van 10 mA/m^2 . Dit resulteert in de volgende waarden voor de maximale elektrische veldsterkte en magnetische fluxdichtheid (IRPA90).

.....

C.2 Beroepsbevolking

.....

C.2.1 Elektrische velden

- Continue blootstelling gedurende de werkdag (8 uur) aan maximaal 10 kV/m.
- Kortdurende blootstelling aan maximaal 30 kV/m, waarbij het produkt van de blootstellingstijd in uren en de veldsterkte in kV/m gedurende een werkdag niet meer mag zijn dan 80 (bijvoorbeeld blootstelling aan een veld van 20 kV/m is toegestaan gedurende maximaal 4 uur).

.....

C.2.2 Magnetische velden

- Continue blootstelling gedurende de werkdag aan maximaal 500 μT .
- Kortdurende blootstelling van het gehele lichaam aan 5000 μT gedurende maximaal 2 uur per dag.
- Blootstelling van alleen ledematen is toegestaan tot 25000 μT .

.....

.....

C.3 Algemene bevolking

.....

C.3.1 Elektrische velden

- Geen continue blootstelling aan meer dan 5 kV/m. Deze grenswaarde geldt voor openbare ruimten waarin naar redelijke verwachting een belangrijk deel van de dag publiek aanwezig kan zijn.
- Blootstelling aan 5 - 10 kV/m moet worden beperkt tot enkele uren per dag.
- Indien noodzakelijk kunnen velden boven 10 kV/m worden toegestaan gedurende enkele minuten per dag, mits de geïnduceerde stroomdichtheid in het lichaam niet groter is dan 2 mA/m^2 en voorzorgen zijn genomen om indirecte gevaarlijke effecten te voorkomen.

.....

C.3.2 Magnetische velden

- Geen continue blootstelling aan meer dan 100 μT . Deze grenswaarde geldt voor gebieden waar publiek een belangrijk deel van de dag kan doorbrengen.
- Blootstelling aan 100 - 1000 μT moet beperkt blijven tot enkele uren per dag.
- Indien noodzakelijk kunnen blootstellingen aan velden boven 1000 μT gedurende enkele minuten per dag worden toegestaan.

.....

C.4 Samenvatting

De richtlijnen zijn samengevat in tabel C.1.

Tabel C.1 Overzicht voorlopige richtlijnen van het INIRC/IRPA voor blootstelling aan elektrische en magnetische velden. De vermelde getallen gelden als toelaatbaar maximum.

	elektrisch veld (kV/m)	magnetisch veld (μ T)
Beroepsbevolking		
- gehele dag	10	500
- korte duur	30 (t x kV/m \leq 80)	5000 (2 uur/dag)
- ledematen	--	25000
Algemene bevolking		
- gehele dag	5	100
- enkele uren/dag	10	1000
- enkele min/dag	> 10	> 1000

.....

.....

.....

D HET ONTSTAAN EN DE ONTWIKKELING VAN KANKER ALS MEER-
STAPSPROCES

.....

De meeste vormen van kanker ontwikkelen zich gedurende een lange periode uit celpopulaties die gekenmerkt worden door een toenemende mate van verandering van het DNA, de drager van de 'code' voor de erfelijke eigenschappen (Fou69, Far84). In elke cel is een aantal DNA-moleculen aanwezig als belangrijkste onderdeel van de chromosomen. Het DNA in een chromosoom kan beschouwd worden als een aaneenschakeling van een groot aantal eenheden, genen genaamd. Een gen is een gedeelte van het DNA dat de volledige code voor de opbouw van een eiwitmolecuul bevat, te zamen met een start- en een stopcode voor het aflezen van de informatie. Een verandering in de code, in de vorm van een puntmutatie (een kleine, permanente verandering), een verwisseling van twee stukjes DNA (recombinatie) of het verlies van een stukje DNA (deletie) kan er voor zorgen dat het desbetreffende eiwit zijn normale functie niet meer kan uitoefenen. Is het eiwit een enzym en dus verantwoordelijk voor de sturing van een bepaalde biochemische reactie, dan kan een heel proces in de cel, bijvoorbeeld de celdeling, ontregeld worden.

Kanker is een verzamelnaam voor een aantal ziekten die alle gekenmerkt worden door een ontregeling van de celdeling. Het ontstaan en de ontwikkeling van kanker, de carcinogenese, is een proces dat uit verscheidene stappen bestaat. Mutaties in specifieke genen spelen hierbij een belangrijke rol. Voor enkele typen tumoren die bij de mens voorkomen is een reeks betrokken genen geïdentificeerd (Fea90). Met name zijn twee soorten genen met een tegengestelde werking van belang: de oncogenen en de tumor-suppressorgenen. Onder normale omstan-

digheden zijn oncogenen betrokken bij de regeling van de celdeling. Zij kunnen bij verhoogde expressie of in geactiveerde toestand bijdragen aan de carcinogenese door gedeeltelijke ontregeling van de celdeling. Activatie houdt in dat het door een oncogen gecodeerde eiwit door een (punt)mutatie in de betreffende DNA code zich in een niet meer regelbare, geactiveerde toestand bevindt. De tumor-suppressorgenen hebben een blokkerende werking op de carcinogenese. Bij deze genen is het juist de inactivering die bevorderend werkt op de carcinogenese. Deze inactivering kan tot stand komen door puntmutaties of deleties.

Veranderingen in de normale werking van oncogenen en tumor-suppressorgenen kunnen in verschillende fasen van de carcinogenese een rol spelen. De oorspronkelijk in de experimentele huidcarcinogenese geïntroduceerde eenvoudige onderverdeling in een éénmalige initiatie en éénmalige promotie lijkt daarom op mechanistische gronden niet meer toepasbaar.

De kritieke gebeurtenissen in de carcinogenese worden door diverse bekende en onbekende factoren geïnduceerd. Voorbeelden van milieufactoren die de carcinogenese bevorderen, zijn kankerverwekkende stoffen en ioniserende straling. De kans op accumulatie van een aantal onafhankelijk van elkaar optredende mutaties in één cel is echter uitermate laag. Doordat gemuteerde cellen delen, neemt het aantal cellen met een mutatie toe. Daarmee neemt ook de kans op een volgende verandering in een cel met een mutatie toe. Celdeling en remming van terminale differentiatie (de ontwikkeling van een cel tot een toestand waarin zij niet meer deelt maar slechts een bepaalde functie uitoefent) zijn daarom, naast modificaties en mutaties in het DNA, uiterst belangrijke factoren in het ontstaan van kanker.