

RIVM rapport 610050 007

**Magnetische velden van hoogspanningslijnen  
en leukemie bij kinderen**

M. van der Plas, D.J.M. Houthuijs, A. Dusseldorp,  
R.M.J. Pennders en M.J.M. Pruppers

april 2001

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van project M/610050/01/NI 'Beleidsondersteuning niet-ioniserende en ioniserende straling', mijlpaal 'magnetische velden hoogspanningslijnen'.

## Abstract

In response to the conclusion of the Health Council of the Netherlands that ‘there is a reasonably consistent association between the occurrence of leukaemia in children and residence near overhead power lines’ the Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) requested RIVM to investigate what the consequences would be for the Netherlands if this association was found to be a result of a causal relationship between the strength of the magnetic fields due to these lines and the occurrence of leukaemia in children. Until now, experimental research has failed to indicate any plausible biological mechanism that supports a causal relationship between exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the occurrence of any form of cancer.

RIVM considers the results of two recently published pooled analyses a better starting point for describing the risk of leukaemia in children than the information from the individual studies or from meta-analyses performed previously. In the RIVM study values for the relative risk as a function of the magnetic field were derived from these two pooled analyses. The exposure situation in the Netherlands was determined using estimates of the magnetic field at several distances from the power lines. The additional individual risk and potential number of extra cases of leukaemia in children were calculated on the basis of the number of persons living within these distances. The additional individual risk in the RIVM study is defined as the risk children run of developing leukaemia due to living in a certain magnetic field near a power line.

There are uncertainties about the form of the dose-response relationship. Therefore, the relative risk can only be concluded to be possibly elevated at field strengths somewhere above between 0.2  $\mu\text{T}$  and 0.5  $\mu\text{T}$ . On the basis of the results of the two pooled analyses, the additional individual risk for children who live in areas where the magnetic field exceeds 0.3 to 0.4  $\mu\text{T}$  to develop leukaemia was found in the Netherlands to be  $3 \times 10^{-5}$  per year at the most. There are uncertainties in the number of children living in these magnetic fields, partly because of uncertainties in the estimates of the magnetic field as a function of the distance from power lines. When these estimates are used, the number of extra cases of the total 110 new cases each year is estimated at 0.2 to 1 per year.

Since the total exposure to all sources of extremely low-frequency magnetic fields in the Netherlands is insufficiently known, further investigation of this exposure is recommended.

# Inhoud

## Samenvatting 4

### 1 Inleiding 5

1.1 Aanleiding en vraagstelling 5

1.2 Afbakening en werkwijze 6

### 2 Epidemiologische studies 7

2.1 Inleiding 7

2.2 Karakterisering van de blootstelling in epidemiologische studies 8

2.3 De ‘pooled analysis’ van Ahlbom *et al.* 9

2.4 De ‘pooled analysis’ van Greenland *et al.* 10

2.5 De meta-analyses van Wartenberg 12

### 3 Blootstelling in Nederland 14

3.1 Magnetische velden van hoogspanningslijnen 14

3.2 Aantal blootgestelde kinderen 16

3.3 Andere bronnen van magnetische velden 18

### 4 Risicoberekeningen 20

### 5 Discussie 23

### 6 Conclusies en aanbevelingen 26

### Referenties 27

### Bijlage 1 Verzendlijst 30

### Bijlage 2 Regelgeving in binnen- en buitenland 31

## Samenvatting

Naar aanleiding van de conclusie van de Gezondheidsraad dat ‘er sprake is van een redelijk consistente associatie tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen’ heeft het ministerie van VROM aan RIVM gevraagd wat de consequenties voor Nederland zijn als deze associatie het resultaat is van een causale relatie tussen de sterkte van het magnetische veld van deze lijnen en het optreden van leukemie bij kinderen. Uit experimenteel onderzoek komen vooralsnog geen aanwijzingen voor enig plausibel biologisch mechanisme dat een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan extreem laagfrequente magnetische velden en het optreden van enigerlei vorm van kanker ondersteunt.

RIVM acht vanuit epidemiologisch oogpunt de resultaten van de recent verschenen ‘pooled analyses’ van Ahlbom *et al.* en van Greenland *et al.* een beter uitgangspunt voor de beschrijving van het risico op het krijgen van leukemie dan de informatie uit de afzonderlijke studies of uit eerder uitgevoerde meta-analyses. In het RIVM-onderzoek zijn uit de twee ‘pooled analyses’ waarden van het relatieve risico als functie van het magnetische veld afgeleid. De blootstellingssituatie in Nederland is bepaald op basis van schattingen van het magnetische veld op diverse afstanden tot de hoogspanningslijnen. Uit tellingen van het aantal personen dat binnen deze afstanden woont, zijn het toegevoegde individuele risico en het potentiële aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen berekend. Met het begrip toegevoegd individueel risico wordt het risico op het krijgen van leukemie door kinderen als gevolg van het wonen bij een bepaalde waarde van het magnetische veld afkomstig van een hoogspanningslijn bedoeld.

Er zijn onzekerheden over de vorm van de eventuele blootstelling-responsrelatie. Derhalve kan uit epidemiologisch onderzoek alleen worden geconcludeerd dat het relatieve risico mogelijk is verhoogd bij veldsterkten hoger dan ergens tussen 0,2 en 0,5  $\mu\text{T}$ . Op basis van de resultaten van Ahlbom *et al.* en Greenland *et al.* blijkt voor Nederland het toegevoegde individuele risico op het krijgen van leukemie door kinderen in gebieden met magnetische veldsterkten boven 0,3 à 0,4  $\mu\text{T}$  maximaal ongeveer  $3 \cdot 10^{-5}$  per jaar te bedragen. Er zijn onzekerheden in het aantal kinderen dat bij deze veldsterkten woont, onder andere door de onzekerheden in schattingen van de magnetische veldsterkte als functie van de afstand tot de hoogspanningslijnen. Gebruik makend van deze schattingen, wordt het aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen geschat op 0,2 tot 1 per jaar op een totaal van circa 110 nieuwe gevallen per jaar.

Voor de Nederlandse bevolking is onvoldoende bekend hoe groot de blootstelling aan het totaal aan bronnen van extreem laagfrequente magnetische velden is. Het verdient daarom aanbeveling deze blootstelling nader te onderzoeken.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en vraagstelling

Bij de opwekking, het transport en het gebruik van elektriciteit ontstaan elektrische en magnetische velden met een frequentie van 50 Hz. Deze frequentie is typerend voor de elektriciteitsvoorziening in Europa. De velden komen voor in elektriciteitscentrales, bij bovengrondse lijnen en ondergrondse kabels voor transport en distributie van elektriciteit, in verdeelstations, bij transformatorhuisjes en bij elektrische huishoudelijke apparatuur zoals elektrische dekens, scheerapparaten en stofzuigers. De velden van bovenleidingen van het openbaar vervoer zijn statische velden, maar in de nabije toekomst zullen de spoorwegen deels op 50 Hz wisselstroom overgaan (Betuwelijn en hogesnelheidslijnen).

Wertheimer en Leeper publiceerden in 1979 de resultaten van een epidemiologisch onderzoek waaruit bleek dat kinderen woonachtig in de nabijheid van hoogspanningslijnen mogelijk een verhoogd risico op kanker hebben [1]. Sindsdien hebben diverse onderzoekers en commissies in binnen- en buitenland deze associatie onderzocht.

De Gezondheidsraad concludeerde in 1992 dat er onvoldoende wetenschappelijke grond was om aan te nemen dat chronische blootstelling aan extreem laagfrequente (ELF) elektromagnetische velden met een lage veldsterkte, zoals die voorkomen in de woon- en werkomgeving, nadelige effecten op de gezondheid veroorzaakt [2]. Omdat er destijds nog veel onduidelijkheid was en in diverse landen onderzoeksprogramma's werden of reeds waren opgezet, adviseerde de Gezondheidsraad om na vijf jaar de literatuurgegevens opnieuw te evalueren. Hierop werd in 1997 de commissie 'ELF elektromagnetische velden' geïnstalleerd en in het advies van 7 maart 2000, getiteld 'Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz)', is het resultaat van de werkzaamheden van de commissie vastgelegd [3]. De commissie heeft zijn advies deels gebaseerd op rapporten van de Amerikaanse National Research Council (NRC) en het Amerikaanse National Institute of Environmental Health Services (NIEHS) [4, 5].

Ten aanzien van langetermijneffecten concludeert de commissie in het advies dat 'op basis van recente gegevens niet wetenschappelijk kan worden vastgesteld dat er een relatie bestaat tussen blootstelling aan met de elektriciteitsvoorziening samenhangende elektromagnetische velden en het vóórkomen van bepaalde vormen van kanker'. Wel wordt op basis van resultaten van epidemiologische studies in de Verenigde Staten en Scandinavië geconcludeerd dat 'er, in het totaal van de resultaten van epidemiologisch onderzoek, in aanmerking genomen de sterke en zwakke punten van de verschillende onderzoeken, sprake is van een redelijk consistente associatie tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen, zowel hoogspannings- als distributielijnen'. Tevens stelt de commissie dat 'uit de veelheid van experimenteel onderzoek geen aanwijzingen komen voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan ELF elektromagnetische velden en het optreden van enigerlei vorm van kanker. Evenmin heeft dit onderzoek aanwijzingen gegeven voor enig plausibel biologisch mechanisme dat een dergelijk verband bij de mens zou kunnen verklaren. Er is dus geen verklaring voor de in het epidemiologisch onderzoek gevonden associaties. Het is mogelijk dat een of meer andere factoren dan blootstelling aan ELF elektromagnetische velden verantwoordelijk zijn voor de gevonden associaties' [3].

Naar aanleiding van de conclusie van de commissie van de Gezondheidsraad heeft de afdeling Straling, Nucleaire en Bioveiligheid van de Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling van het ministerie van VROM in maart 2000 aan RIVM gevraagd welke gebieden in de epidemiologische onderzoeken als 'in de buurt wonen van' worden aangemerkt, wat de toegevoegde individuele risico's op het krijgen van leukemie door kinderen in deze gebieden zijn overeenkomstig deze onderzoeken, en in hoeverre de gegevens vertaalbaar zijn naar de Nederlandse situatie in termen van risicocontouren [6]. Het verschijnen van twee zogenaamde 'pooled analyses' vormde aanleiding voor het ministerie om in november 2000 aanvullende vragen te stellen over de invloed van de conclusies van deze publicaties op de eerdere bevindingen en of op basis van deze publicaties nieuwe conclusies kunnen worden getrokken voor de Nederlandse situatie [7].

Het voorliggende rapport bevat antwoorden op deze vragen. Delen van dit rapport zijn reeds eerder in de vorm van brieffrapporten aan de opdrachtgever gerapporteerd [8, 9].

## 1.2 Afbakening en werkwijze

In het onderzoek is alleen het mogelijke optreden van leukemie bij kinderen die wonen nabij hoogspanningslijnen beschouwd. Het eventueel optreden van andere effecten op de gezondheid evenals het optreden van leukemie bij volwassenen is niet onderzocht.

De antwoorden op de vragen blijven beperkt tot bovengrondse hoogspanningslijnen met een spanning van 110, 150, 220 en 380 kV. Ondergrondse kabels en distributielijnen zijn in het onderzoek niet meegenomen omdat gegevens over de locatie en de diepte onvoldoende bekend waren. Desalniettemin vormen zij onderdeel van de reeks van bronnen van magnetische velden. Het is nog onvoldoende bekend in welke mate deze bronnen een rol spelen in de totale blootstelling aan magnetische velden van de Nederlandse bevolking.

In het onderzoek zijn de oorspronkelijke studies naar het optreden van leukemie bij kinderen en hun meta-analyses en 'pooled analyses' bestudeerd en geëvalueerd. Daaruit zijn waarden van het relatieve risico als functie van het magnetische veld afgeleid. De blootstellingssituatie in Nederland is bepaald op basis van schattingen van KEMA van het magnetische veld op diverse afstanden tot de hoogspanningslijnen [10]. Uit tellingen van het aantal personen dat binnen deze afstanden woont, zijn het toegevoegde individuele risico en het potentiële aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen berekend.

De resultaten in dit rapport gelden uitsluitend als het in epidemiologisch onderzoek waargenomen verband tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en de blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen oorzakelijk is én de resultaten uit buitenlandse studies naar de Nederlandse situatie vertaald kunnen worden.

## 2 Epidemiologische studies

### 2.1 Inleiding

De commissie van de Gezondheidsraad geeft in zijn advies van maart 2000 aan dat ze zich deels heeft gebaseerd op rapporten van de Amerikaanse National Research Council (NRC) en van het Amerikaanse National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) [4, 5, 11]. De commissie gaat in zijn advies in op de resultaten van acht epidemiologische onderzoeken uit de Verenigde Staten en Scandinavië. De kwaliteit van deze acht studies wordt in het NIEHS Working Group Report aangeduid als voldoende om te worden gebruikt in een evaluatie van een mogelijk verband tussen leukemie bij kinderen en de blootstelling aan magnetische velden. Ter beantwoording van de vragen van het ministerie van VROM zijn in eerste instantie de acht afzonderlijke publicaties, het NIEHS Working Group Report en een meta-analyse van Wartenberg *et al.*, uitgevoerd in opdracht van het NIEHS, geëvalueerd op kwantitatieve informatie over het mogelijke verband tussen leukemie bij kinderen en de blootstelling aan magnetische velden [1, 11-19].

In het najaar van 2000 verschenen vervolgens twee publicaties, van Ahlbom *et al.* en Greenland *et al.*, met de resultaten van een ‘pooled analysis’ van diverse eerder gepubliceerde onderzoeken naar de relatie tussen magnetische velden en het optreden van leukemie bij kinderen [20, 21]. Een ‘pooled analysis’ is een gecombineerde statistische analyse van originele gegevens uit een aantal epidemiologische studies. Deze publicaties zijn eveneens voor beantwoording van de vragen van het ministerie van VROM bestudeerd en geëvalueerd.

De publicaties van Ahlbom *et al.* en Greenland *et al.* hebben belangrijke meerwaarden ten opzichte van de meta-analyse van Wartenberg *et al.* [19-21]. Het resultaat van een meta-analyse is op minder informatie gebaseerd dan een ‘pooled analysis’ omdat in een meta-analyse de uitkomsten van diverse onderzoeken het uitgangspunt zijn, terwijl bij een ‘pooled analysis’ individuele gegevens van cases en controles worden gebruikt. Wartenberg *et al.* konden in hun meta-analyse op basis van de voorliggende onderzoeksuitkomsten slechts het relatieve risico van blootstelling aan magnetische velden hoger dan 0,2  $\mu\text{T}$  uitdrukken ten opzichte van de referentiegroep met een blootstelling lager dan 0,2  $\mu\text{T}$  en met diverse aannames een blootstelling-responsrelatie afleiden. Dit in tegenstelling tot de twee ‘pooled analyses’, die zijn gebaseerd op de individuele gegevens van de onderzoeksdeelnemers uit de diverse studies. Derhalve bieden de ‘pooled analyses’ meer mogelijkheden om de gegevens van verschillende studies nader te uniformeren, om eenduidig keuzes te maken voor de blootstellingcategorieën, om verschillende blootstellingsmaten te combineren en de verschillen daartussen te evalueren, om factoren te bestuderen die verschillen in uitkomsten van studies mogelijk kunnen verklaren en om een meer betrouwbare evaluatie van een mogelijke blootstelling-responsrelatie uit te voeren. Zodoende zijn de resultaten van Ahlbom *et al.* en van Greenland *et al.*, die overigens gedeeltelijk op dezelfde epidemiologische studies zijn gebaseerd, vanuit het oogpunt van de epidemiologie een beter uitgangspunt voor een nadere beschrijving van het mogelijke risico van magnetische veldsterkten dan de informatie uit afzonderlijke studies of uit eerder uitgevoerde meta-analyses. De resultaten op basis van de meta-analyses van Wartenberg komen daarom in dit rapport slechts summier aan de orde (zie paragraaf 2.5), terwijl de resultaten van de ‘pooled analyses’ uitgebreid worden behandeld (zie paragraaf 2.3 en 2.4).

## 2.2 Karakterisering van de blootstelling in epidemiologische studies

Elektriciteitstransport vindt plaats via bovengrondse hoogspanningslijnen en via ondergrondse hoogspanningskabels. In Nederland bestaat het elektriciteitstransportnet met spanningen van 110 kV en hoger voor circa 90% uit bovengrondse hoogspanningslijnen en voor ongeveer 10% uit ondergrondse kabels [22]. De sterkte van het magnetische veld hangt onder andere af van de afstand tot de hoogspanningslijn en van de stroomsterkte.

In dit rapport wordt met de afstand tot een hoogspanningslijn de afstand bedoeld tot de hartlijn waarop de masten staan en wordt de sterkte van het magnetische veld in microtesla ( $\mu\text{T}$ ) uitgedrukt. Strikt genomen is de tesla de eenheid voor de magnetische fluxdichtheid. Het magnetische veld neemt af bij toenemende afstand tot de hoogspanningslijn.

Het vaststellen van de blootstelling in epidemiologisch onderzoek is niet eenvoudig. De blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen wordt op verschillende manieren gekarakteriseerd: met wire codes, de afstand tot de hoogspanningslijn, metingen van de actuele magnetische veldsterkte (meestal in woningen) en met de berekende magnetische veldsterkte.

### 1 *Wire codes*

In Amerikaanse studies wordt veel gebruik gemaakt van wire codes als surrogaat voor de mate van blootstelling aan magnetische velden. Wire codes hebben vooral betrekking op bovengrondse distributielijnen langs woningen. In Nederland bevindt het gehele distributiesysteem zich ondergronds. Woningen worden ingedeeld in twee, vier of vijf klassen (indeling verschilt tussen studies), zogenaamde ‘current configurations’ op basis van het soort en het aantal bovengrondse hoogspannings- en distributielijnen binnen een zekere afstand tot de woning [1, 23]. Soms zijn ook ondergrondse lijnen en/of de afstand tot verdeelstations of transformatoren in de classificatie opgenomen. Uit in de VS verrichte metingen blijkt dat de magnetische veldsterkte in woningen oploopt van ‘low current configurations’ naar ‘ordinary high or very high current configurations’ (OHCC of VHCC), maar dat er wel een aanzienlijke overlap in de verdelingen van de sterkte van de magnetische velden tussen de verschillende configuratieklassen is [11].

### 2 *Afstand tot hoogspanningslijn*

Diverse onderzoeken gebruiken als blootstellingsmaat de afstand tot elektrische installaties zoals transformatoren, verdeelstations, hoogspannings- en distributielijnen. Afstand blijkt in de directe nabijheid van hoogspanningslijnen een redelijke maat voor de blootstelling te zijn [11]. De veldsterkte op een bepaalde afstand van een lijn is echter afhankelijk van het stroomtransport, dat per lijn sterk kan variëren.

### 3 *Metingen van actuele magnetische veldsterkte*

De blootstelling in de woning wordt ook vastgesteld met kortdurende (‘spot’) metingen van de actuele magnetische veldsterkte in één of meer vertrekken of met 24-uurs metingen in de slaapkamer en/of woonkamer. De gemeten velden zijn afkomstig van bronnen binnen en buiten de woning, waaronder hoogspanningslijnen.



#### 4 Berekende magnetische veldsterkte

De berekende magnetische veldsterkte wordt doorgaans vastgesteld voor een ieder van de onderzoeksdeelnemers. Berekende velden geven de veldsterkte ten gevolge van hoogspanningslijnen, maar niet van andere bronnen. Het gaat dan om de tijdgewogen gemiddelde blootstelling aan magnetische velden, berekend op basis van informatie over de stroomsterkten en de uitvoering van hoogspanningslijnen - ook die in het verleden - en over de afstand van de woning tot de lijn.

### 2.3 De ‘pooled analysis’ van Ahlbom *et al.*

Ahlbom *et al.* namen in hun ‘pooled analysis’ negen studies op met 24- of 48-uurs gemeten magnetische veldsterkten of met berekende magnetische veldsterkten. Zes studies zijn afkomstig uit Europa [15-18, 24, 25], één uit de Verenigde Staten [14], één uit Nieuw-Zeeland [26, 27] en één uit Canada [28]. In deze onderzoeken zijn in totaal 13.647 kinderen betrokken, waarvan 3247 cases en 10.400 controles.

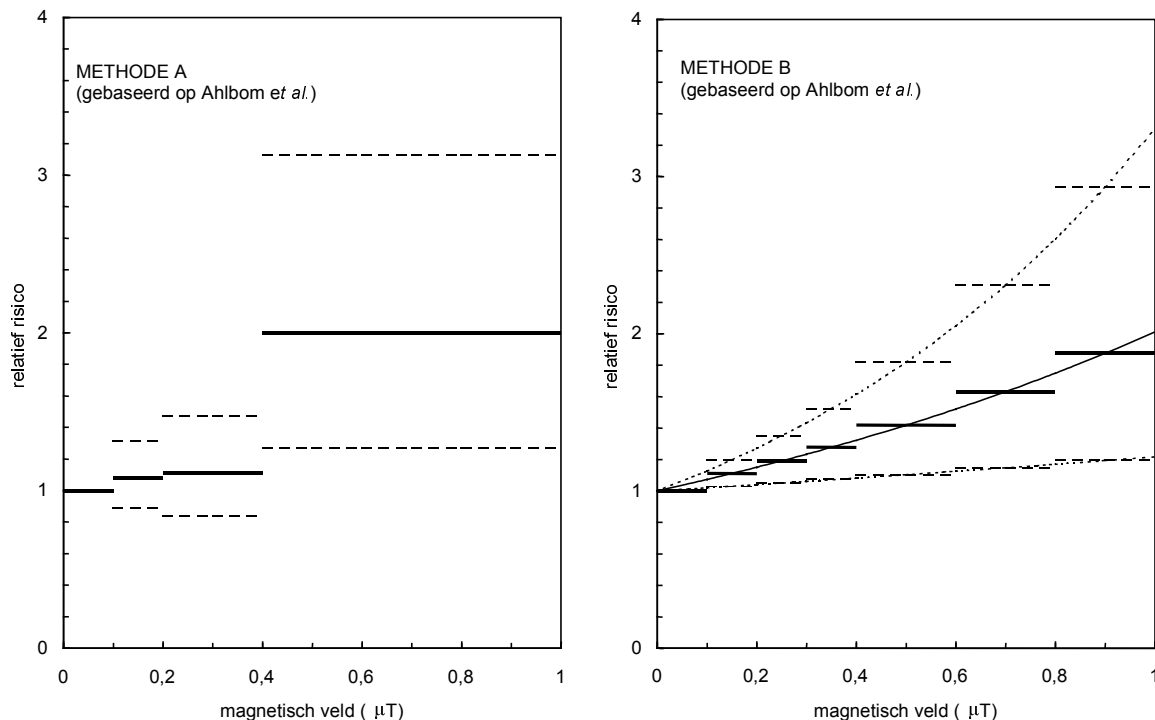
Vóóraf stelden de auteurs vier blootstellingscategorieën vast: 0-0,1  $\mu\text{T}$  (referentiegroep, 12.725 kinderen); 0,1-0,2  $\mu\text{T}$ ; 0,2-0,4  $\mu\text{T}$  en hoger dan 0,4  $\mu\text{T}$ . Hierbij werd uitgegaan van de gemiddelde blootstelling in het jaar voorafgaand aan de diagnose voor de cases en voor de controles de blootstelling ten tijde van de corresponderende leeftijd.

De 565 kinderen die waren blootgesteld aan velden van 0,1-0,2  $\mu\text{T}$  hadden een relatief risico van 1,08 [95% betrouwbaarheidsinterval 0,89-1,31] ten opzichte van de referentiegroep en 251 kinderen, blootgesteld aan magnetische veldsterkten van 0,2-0,4  $\mu\text{T}$ , een relatief risico van 1,11 [0,84-1,47]. Voor 106 kinderen met een blootstelling aan magnetische veldsterkten hoger dan 0,4  $\mu\text{T}$  werd een relatief risico van 2,00 [1,27-3,13] voor leukemie vastgesteld. Deze blootstelling-responsrelatie is in dit rapport toegepast (methode A, zie Figuur 1). Het relatieve risico behorende bij de hoogste blootstellingscategorie voor studies met berekende velden en voor studies met gemeten velden afzonderlijk bedroeg eveneens circa 2. Dit geeft aan dat de resultaten niet afhankelijk zijn van de gekozen blootstellingsmaat. Correctie van de resultaten voor leeftijd, geslacht, sociaal-economische status, woningtype, verkeer, urbanisatie of mobiliteit beïnvloedde volgens Ahlbom *et al.* de relatieve risico's slechts in geringe mate.

Tevens onderzochten Ahlbom *et al.* of een blootstelling-responsrelatie opgesteld kon worden waarbij het relatieve risico ( $r$ ) continu toeneemt bij hogere blootstelling. Deze analyse leverde een toename van het relatieve risico op met 1,15 [1,04-1,27] per 0,2  $\mu\text{T}$  toename in het magnetische veld ( $B$ ):  $r = 1,15^{B/0,2}$ . Deze continue blootstelling-responsrelatie is in dit rapport benaderd met een aantal blootstellingscategorieën (methode B, zie Figuur 1). Daarbij is het relatieve risico beneden 0,1  $\mu\text{T}$  gelijk aan 1 verondersteld.

Ahlbom *et al.* noemen o.a. selectiebias, de onzekerheden in de gebruikte blootstellingsmaten en de kleine aantallen kinderen in de hoogste blootstellingscategorie als factoren die mogelijk van invloed zijn op de uitkomsten van de ‘pooled analysis’. Verder stellen de auteurs dat er geen aanwijzingen zijn gevonden in dierexperimenteel en laboratoriumonderzoek die wijzen op een etiologische rol van magnetische velden in het ontstaan van leukemie. Zij geven aan dat toekomstige epidemiologische onderzoeken alleen van waarde zullen zijn wanneer er voldoende onderzoeksdeelnemers met blootstellingsniveaus boven 0,4  $\mu\text{T}$  in aanwezig zijn en er adequaat met mogelijke selectiebias en mogelijke versturende variabelen wordt omgegaan.

Ahlbom *et al.* concluderen dat hun onderzoek laat zien dat magnetische velden tot  $0,4 \mu\text{T}$  relatieve risico's nabij het 'no-effect' niveau met zich meebrengen, terwijl voor de kinderen met een blootstelling aan magnetische velden hoger dan  $0,4 \mu\text{T}$  (0,8% van het totale aantal kinderen) het relatieve risico ongeveer 2 bedraagt. Ahlbom *et al.* achten het onwaarschijnlijk dat deze vertweevoudiging is toe te schrijven aan het toeval. De auteurs sluiten hun publicatie af met de conclusie dat er geen verklaring voor het verhoogde risico is en dat selectiebias een deel van de verhoging zou kunnen verklaren.



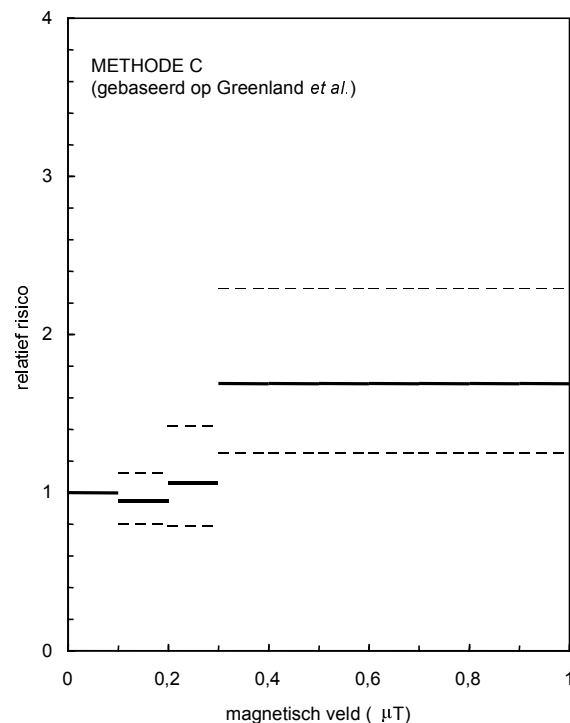
Figuur 1 Relatief risico (—) en 95% betrouwbaarheidsinterval (----) als functie van de sterkte van het magnetische veld volgens methode A (links) en methode B (rechts). In methode B is de continue blootstelling-responsrelatie benaderd met een aantal blootstellingscategorieën met elk een eigen relatief risico (—). Voor het relatieve risico boven  $1,0 \mu\text{T}$  is aangenomen dat dit gelijk is aan het relatieve risico tussen  $0,8$  en  $1,0 \mu\text{T}$ .

## 2.4 De 'pooled analysis' van Greenland *et al.*

Greenland *et al.* hebben de originele gegevens gebruikt van 12 studies met individuele schattingen voor de blootstelling op basis van gemeten of berekende magnetische velden van in totaal 9.740 kinderen. Ten opzichte van de 'pooled analysis' van Ahlbom *et al.* zijn 8 studies identiek, de studie van UKCCS [25] is niet gebruikt en nieuw zijn de studies van Tomenius en Coghill *et al.* [29, 30] uit Europa en die van Savitz *et al.* en London *et al.* uit de Verenigde Staten [12, 13].

Voor 229 kinderen met een blootstelling aan magnetische veldsterkten hoger dan  $0,3 \mu\text{T}$  werd een relatief risico vastgesteld van 1,69 [1,25-2,29] ten opzichte van de referentiegroep van 8420 kinderen blootgesteld aan magnetische veldsterkten lager dan  $0,1 \mu\text{T}$ . De 847 kinderen blootgesteld aan velden tussen  $0,1$  en  $0,2 \mu\text{T}$  hadden een relatief risico van 0,95 [0,80-1,12] en 244 kinderen blootgesteld aan magnetische veldsterkten tussen  $0,2$  en  $0,3 \mu\text{T}$  een relatief risico van 1,06 [0,79-1,42] ten opzichte van de referentiegroep (methode C, zie Figuur 2).

Vergelijkbare resultaten werden verkregen na correctie voor leeftijd en geslacht of na ‘spline’ regressieanalyse. Er werd geen verschil in het relatieve risico van de hoogste blootstellingcategorie gevonden tussen studies met berekende of met gemeten magnetische velden, of tussen Noord-Amerikaanse of Noord-Europese studies.



*Figuur 2 Relatief risico (—) en 95% betrouwbaarheidsinterval (----) als functie van de sterkte van het magnetische veld volgens methode C.*

Greenland *et al.* bekeken ook de vorm van de mogelijke blootstelling-responsrelatie. Evenals bij de statistische analyse met blootstellingcategorieën is er een kleine of geen associatie tussen blootstelling en leukemie beneden de 0,2 μT en enige samenhang wanneer veldsterkten hoger dan 0,3 μT met lagere veldsterkten worden vergeleken. De onzekerheidsmarges in de blootstelling-responsrelatie blijken nog zo groot dat de data in principe met verschillende relaties (lineair, exponentieel, etc.) kunnen worden beschreven.

Op basis van de verkregen blootstelling-responscurve en informatie over de verdeling van magnetische veldsterkten in 987 woningen in de Verenigde Staten berekenden Greenland *et al.* het attributieve percentage leukemiegevallen. Dit percentage is het gedeelte van de leukemie-incidentie dat samenhangt met de blootstelling aan magnetische velden wanneer wordt aangenomen dat de associatie ook daadwerkelijk oorzakelijk is. Het attributieve percentage in de Verenigde Staten bedroeg 3%\* met een 95% betrouwbaarheidsinterval van -2% tot 8% met een referentiegroep blootgesteld aan veldsterkten oplopend tot 0,15 μT. Greenland *et al.* verwachten in Noord-Europese landen een lager attributief percentage omdat de blootstelling aan magnetische velden daar lager is.

\* Om het attributieve risico te schatten gebruikten Greenland *et al.* een methode waarvan de details pas later dit jaar in de literatuur zullen worden beschreven [57]. Zodoende was het niet mogelijk deze methode in dit rapport toe te passen. Daarnaast hebben Greenland *et al.* informatie over de verdeling van magnetische veldsterkten over woningen in de VS op basis van een survey. Deze informatie is voor Nederland niet beschikbaar.

Greenland *et al.* sommen een reeks van factoren op die de resultaten van hun ‘pooled analysis’ mogelijk hebben beïnvloed, zoals het niet corrigeren voor de invloed van verkeer, luchtverontreiniging en sociaal-economische status, de keuze van en de onzekerheden in de blootstellingsmaat, selectie en publicatie bias, of factoren die problemen bij de interpretatie ervan opleveren, zoals de onzekere vorm van de blootstelling-responsrelatie. Zij geven aan dat, mochten er daadwerkelijk effecten onder  $0,2 \mu\text{T}$  optreden, deze waarschijnlijk te klein zijn om met alleen epidemiologisch onderzoek vast te stellen. De resultaten van hun ‘pooled analysis’ wijzen in de richting van associaties boven  $0,3 \mu\text{T}$ . De auteurs geven echter aan dat er nog onvoldoende gegevens zijn, zodat ze nu niet meer bieden dan een vaag gevoel over de vorm van de associatie en de mogelijke oorzaken ervan. Greenland *et al.* concluderen dan ook dat meer gegevens over mogelijke effecten bij hogere veldsterkten nodig zijn om stelliger uitspraken te doen over de associatie tussen de blootstelling aan magnetische velden en de incidentie van leukemie.

## 2.5 De meta-analyses van Wartenberg

In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk is reeds aangegeven dat de resultaten van ‘pooled analyses’ zoals die van Ahlbom *et al.* en Greenland *et al.* inhoudelijk de voorkeur verdienen boven de resultaten van meta-analyses. Omdat in het RIVM-onderzoek in eerste instantie de meta-analyses van Wartenberg *et al.* zijn gebruikt, wordt in deze paragraaf een korte toelichting op deze analyses gegeven.

Wartenberg heeft in de periode 1997-2001 verschillende meta-analyses van de effecten van elektromagnetische velden gepubliceerd. De resultaten van zijn eerste meta-analyse zijn opgenomen in het rapport van de Amerikaanse National Research Council [4]. Deze meta-analyse werd verder bewerkt en verscheen in 1998 in een peer-reviewed tijdschrift [31]. De derde meta-analyse werd in rapportvorm uitgegeven; de resultaten ervan zijn samengevat in de rapportage van de NIEHS Working Group [11, 19]. Deze laatste meta-analyse is na uitbreiding met vier epidemiologische studies die in 1998 en 1999 zijn verschenen, in 2001 eveneens in een peer-reviewed tijdschrift gepubliceerd [32].

In eerste instantie is voor de RIVM-berekeningen gebruik gemaakt van de in rapportvorm uitgebrachte resultaten van Wartenberg *et al.* [8, 19]. Indertijd is door RIVM de keuze gemaakt voor deze berekeningen alleen die studies te gebruiken die de Gezondheidsraad in zijn rapport kenmerkte als zijnde van voldoende kwaliteit, en alleen studies te gebruiken die berekende magnetische velden als blootstellingsmaat hanteerden. Het eerste briefrapport is zodoende gebaseerd op de resultaten van een meta-analyse van vier Scandinavische studies [8].

Uit de resultaten van de vier Scandinavische studies leidden Wartenberg *et al.* twee blootstelling-responsrelaties af. Allereerst werd er een relatief risico van 1,65 [0,94-2,87] berekend voor kinderen blootgesteld aan berekende veldsterkten boven  $0,2 \mu\text{T}$  ten opzichte van kinderen blootgesteld aan velden onder  $0,2 \mu\text{T}$ . Dit resultaat is goed vergelijkbaar met de schattingen van Ahlbom en Greenland. Daarnaast berekenden Wartenberg *et al.*, onder een aantal aannamen, voor de afzonderlijke studies een blootstelling-responsrelatie, hetgeen nog niet eerder was gebeurd in meta-analyses van de mogelijke effecten van magnetische velden. In de meta-analyse van deze afzonderlijke blootstelling-responsrelaties nam het relatieve risico ( $r$ ) toe met 1,22 [0,98-1,52] per  $0,1 \mu\text{T}$  toename in het (berekende) magnetische veld ( $B$ ):  $r = 1,22^{B/0,1}$ . Deze continue blootstelling-responsrelatie komt in mindere mate overeen met de resultaten van Ahlbom *et al.* (relatief risico van 1,07 per  $0,1 \mu\text{T}$  toename). Derhalve

wijken de schattingen uit het eerste briefrapport af van de schattingen die in dit rapport worden gepresenteerd [8]. Het resultaat van Wartenberg wijkt mogelijk af omdat in de Scandinavische studies, in tegenstelling tot in de Amerikaanse studies, slechts een gering deel van de bevolking aan magnetische velden boven  $0,2 \mu\text{T}$  is blootgesteld en hiermee in de aannamen bij de afleiding van de continue blootstelling-responsrelatie mogelijk onvoldoende rekening is gehouden.

## **3 Blootstelling in Nederland**

### **3.1 Magnetische velden van hoogspanningslijnen**

Het magnetische veld is het hoogst midden tussen twee masten waar de draden het laagst hangen. Bij de masten hangen de draden hoger en bedraagt de magnetische veldsterkte ongeveer de helft van de veldsterkte midden tussen twee masten. Bij toenemende afstand tot een hoogspanningslijn speelt de plaats ten opzichte van de masten een afnemende rol.

De sterkte van het magnetische veld onder een hoogspanningslijn neemt toe met de sterkte van de getransporteerde stroom. De spanning waarbij de stroom wordt getransporteerd, speelt hierbij geen rol. De maximale stroomsterkte is afhankelijk van de transportcapaciteit.

Magnetische velden worden anders dan elektrische velden nauwelijks door bouwmaterialen, bomen of struiken in sterkte gereduceerd. In een woning verschilt het magnetische veld van een hoogspanningslijn nauwelijks van het magnetische veld dat op dezelfde plaats zonder woning zou heersen. Hierdoor is het magnetische veld goed te berekenen mits er voldoende gegevens over de hoogspanningslijn en het stroomtransport bekend zijn.

Voor de schatting van het aantal blootgestelde kinderen waren onder andere gegevens nodig over de sterkte van magnetische velden van hoogspanningslijnen. Deze velden kunnen met modelberekeningen worden bepaald als informatie over onder andere stroomsterkte, configuratie van de lijnen en fasevolgorde bekend is. In het kader van deze studie was het niet mogelijk deze gegevens te verzamelen. In plaats hiervan zijn schattingen door KEMA van magnetische velden in Nederland gehanteerd. Deze schattingen zijn uitgevoerd om aan te geven dat de veldsterkten nabij hoogspanningslijnen onder alle omstandigheden ruim onder de door de Gezondheidsraad geadviseerde grenswaarde blijven. Ten aanzien van de verschillende factoren die van invloed zijn op het magnetische veld is steeds voor de situatie met de hoogste veldsterkte gekozen. De werkelijke veldsterkten kunnen in veel gevallen lager liggen.

KEMA heeft voor de vier voorkomende typen hoogspanningslijnen en verschillende transportcapaciteiten magnetische velden berekend [10]. De meeste hoogspanningslijnen bestaan uit twee circuits die beide tot maximaal de helft van het technische maximum worden belast [2]. Tabel 1 vermeldt voor die situatie de waarden voor het magnetische veld op 1 m boven het maaiveld op de plaats waar de draden het laagst hangen.

De sterkte van het magnetische veld afkomstig van een hoogspanningslijn kan door een groot aantal factoren variëren. Het masttype, de hoogte van de mast en van de draden zijn mede bepalend voor de sterkte van het veld. In Nederland zijn circa 18 verschillende masttypen in gebruik die in hoogte kunnen verschillen. Tevens kunnen de magnetische velden van verschillende circuits elkaar versterken of verzwakken, afhankelijk van de fasevolgorde. Aangezien de maximum transportcapaciteit binnen elk type hoogspanningslijn kan verschillen, is in Tabel 1 een bandbreedte voor het magnetische veld gegeven: de werkelijke waarde ligt waarschijnlijk binnen deze bandbreedte [10]. In het vervolg van dit rapport noemen we de ondergrens de ‘lage schatting voor het magnetische veld’ en de bovengrens de ‘hoge schatting voor het magnetische veld’.

*Tabel 1 De lage en hoge schatting voor het magnetische veld op diverse afstanden tot het hart van de lijn: op 1 m boven het maaiveld en bij maximale belasting van de lijnen (bron: KEMA [10]).*

type hoogspanningslijn	magnetisch veld in $\mu\text{T}$			
	onder de draden	30 m	50 m	100 m
380 kV	6,5 - 20	3 - 10	2 - 6	0,5 - 1,5
220 kV	10 - 17	3 - 5	2 - 4	0,5 - 1
150 kV	3 - 15	0,6 - 4	0,4 - 3	0,2 - 1
110 kV	3 - 12	0,3 - 2	0,2 - 1	0,1 - 0,5

De belasting van een hoogspanningslijn is afhankelijk van de elektriciteitsvraag en varieert in de loop van de dag en met de seizoenen. De gemiddelde belasting, gemiddeld over het hoogspanningsnet, werd door KEMA geschat op ongeveer 60% van de maximale belasting, maar kan per hoogspanningsverbinding sterk verschillen [10]. De berekeningen in dit rapport zijn uitgevoerd met 60% van de waarden van het magnetische veld in Tabel 1. Op basis van de gegevens in Tabel 1 is met behulp van een exponentiële functie geschat bij welke minimale en maximale afstand veldsterkten tussen 0,1 en 1  $\mu\text{T}$  worden bereikt. Dit vergt extrapolatie van de gegevens uit Tabel 1 naar afstanden groter dan 100 m. De resultaten zijn in Tabel 2 vermeld.

*Tabel 2 Schatting van de minimale en maximale afstanden tot de hoogspanningslijn waarop het magnetische veld diverse waarden 1,0, 0,4, 0,3 en 0,2  $\mu\text{T}$  bereikt.*

type hoogspanningslijn	afstand in m			
	1,0 $\mu\text{T}$	0,4 $\mu\text{T}$	0,3 $\mu\text{T}$	0,2 $\mu\text{T}$
380 kV	50 - 100	90 - 130	100 - 140	120 - 160
220 kV	60 - 80	90 - 110	100 - 120	110 - 140
150 kV	10 - 80	40 - 110	50 - 120	70 - 140
110 kV	10 - 50	30 - 80	40 - 90	50 - 100

De schattingen in Tabel 2 zijn vergeleken met gegevens uit de literatuur: zie Tabel 3. Met uitzondering van de afstanden die door Grandolfo worden gemeld, komen deze waarden redelijk overeen met de ondergrenzen vermeld in Tabel 2.

Tabel 3 *Magnetische veldsterkten bij hoogspanningslijnen.*

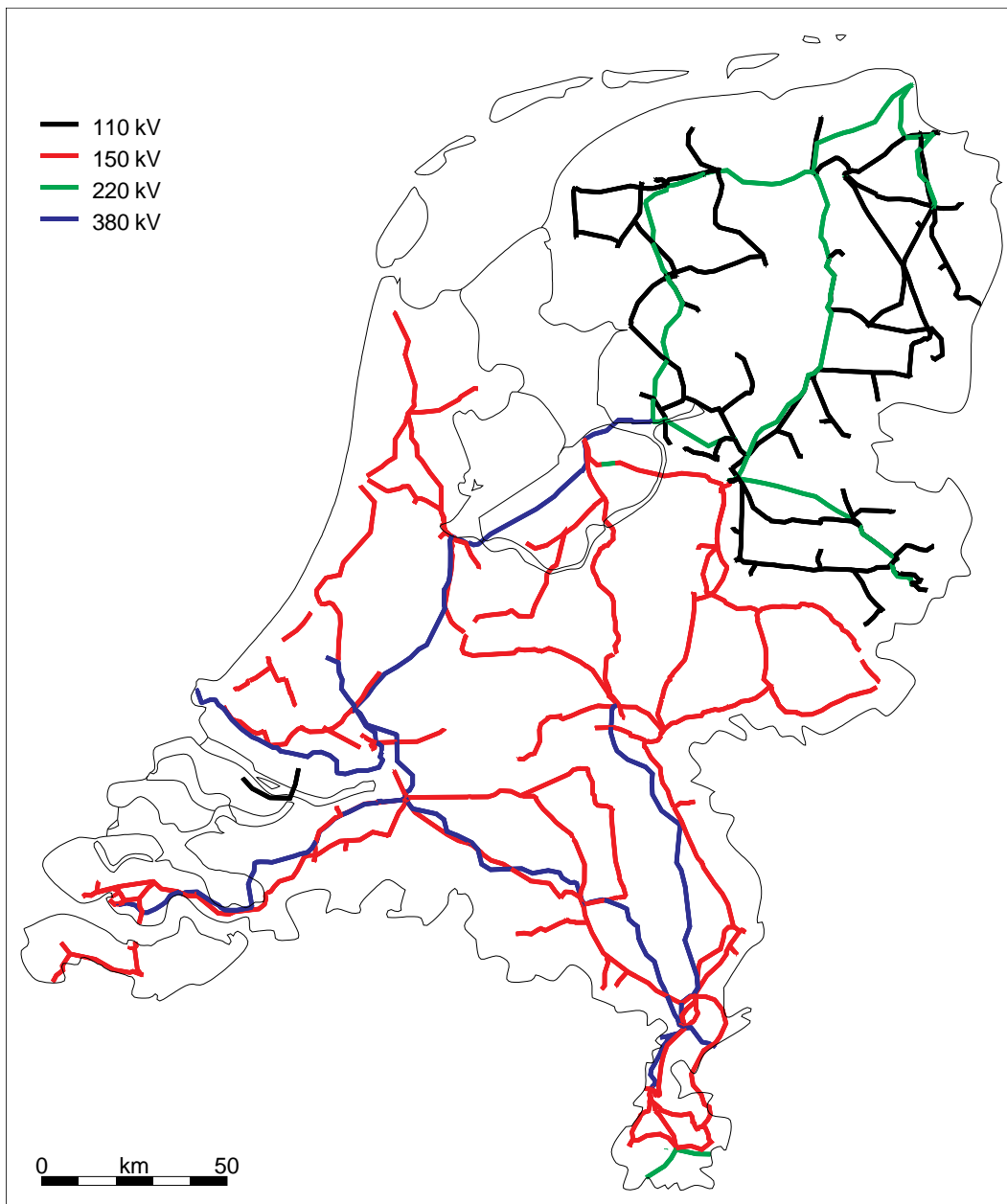
auteur	land	type hoogspanningslijn	afstand	magnetische veldsterkte ( $\mu\text{T}$ )
Schreiber <i>et al.</i> [33]	Nederland	150 kV	rand van 100 m gebied	0,1
			recht onder de lijnen	1,1
Tynes <i>et al.</i> [18]	Noorwegen	300 kV	< 50 m	0,4 - 1,6
			> 150 m	< 0,1
Olsen <i>et al.</i> [16]	Denemarken	132 - 150 kV	$\leq$ 75 m	$\geq$ 0,1
		220 - 440 kV	$\leq$ 150 m	$\geq$ 0,1
Verkasalo <i>et al.</i> [17]	Finland	400 kV	< 150 m	$\geq$ 0,2
		220 kV	< 70 m	$\geq$ 0,2
		110 kV	< 60 m	$\geq$ 0,2
Grandolfo [34]	Italië	380 kV	65 m	0,2
		220 kV	50 m	0,2
		132/150 kV	30 m	0,2
AGNIR [35]	Groot-Brittannië	400 kV	recht onder de lijnen	40
			25 m	8
		275 kV	recht onder de lijnen	22
			25 m	4
		132 kV	recht onder de lijnen	7
			25 m	0,5

### 3.2 Aantal blootgestelde kinderen

Het aantal personen binnen de diverse afstanden is bepaald door combinatie van een digitaal bestand dat de ligging van de vier typen hoogspanningslijnen bevat en een woningenbestand. Het gebruikte woningenbestand bevat de locaties van alle woningen in 1998. Het bestand bevat ook een schatting van het gemiddelde aantal personen per woning. Het bestand met de lijnen dateert uit 1990 (Figuur 3). De telling van het aantal personen is met deze twee bestanden uitgevoerd. Het aantal personen is omgerekend naar de situatie in 1998 aan de hand van gegevens over hoeveel de lengte van de vier typen lijnen in de periode van 1990 tot 1998 is veranderd [10]. Eventueel opgetreden wijzigingen in de belasting van de lijnen in die periode konden niet worden verdisconteerd.

Het digitale woningenbestand bestaat uit coördinaten van meestal de woningen maar soms ook het zwaartepunt van een perceel dat al dan niet binnen een bepaalde afstand tot een hoogspanningslijn ligt. Het punt op een perceel hoeft echter niet de exacte plaats van de woning weer te geven. Dit geldt vooral voor de landelijke gebieden waar de percelen groot kunnen zijn, zoals in het geval van boerderijen. In een stedelijke omgeving zijn de percelen over het algemeen kleiner.





*Figuur 3 Bovengrondse hoogspanningslijnen in Nederland.*

Tenslotte is het aantal kinderen dat in gebieden woont met een magnetisch veld in de diverse categorieën bepaald: zie Tabel 4. Circa 18,5% van de Nederlandse bevolking bestond op 1 januari 1998 uit kinderen in de leeftijd van 0 tot 15 jaar [36]. Er is aangenomen dat dit percentage ook voor de bevolking nabij hoogspanningslijnen geldt.

Tabel 4 Het aantal kinderen in de diverse categorieën voor het magnetische veld.

magnetisch veld ( $\mu\text{T}$ )	lage schatting voor het magnetische veld (zie par. 3.1)		hoge schatting voor het magnetische veld (zie par. 3.1)	
	absoluut	procentueel *	absoluut	procentueel *
0,1 - 0,2	8100	0,3%	7300	0,3%
0,2 - 0,3	5200	0,2%	6100	0,2%
0,3 - 0,4	2500	0,09%	3300	0,12%
0,4 - 0,6	2900	0,10%	3100	0,11%
0,6 - 0,8	2100	0,07%	5000	0,2%
> 0,8	1600	0,06%	16400	0,6%

\* ten opzichte van het totale aantal kinderen in Nederland

Opvallend is het relatief grote aantal kinderen boven 0,8  $\mu\text{T}$  in de hoge schatting ten opzichte van het aantal in de lage schatting. Dit is te verklaren door de volgende twee constatering. Vooral de 150 kV-lijnen lopen door dichtbevolkte gebieden. Bovendien is de afstand waarop de 0,8  $\mu\text{T}$  wordt bereikt, mogelijk aan de ruime kant.

In het Deense onderzoek van Olsen *et al.* had 0,2% van de kinderen in de controle-groep een berekende historische veldsterkte groter dan 0,25  $\mu\text{T}$  en 0,06% een veldsterkte groter dan 0,4  $\mu\text{T}$  [16]. In het Noorse onderzoek van Tynes en Haldorsen had 1,3% van de controles een berekende historische blootstelling groter dan 0,14  $\mu\text{T}$ . Op basis van de resultaten van Verkasalo *et al.* wordt geschat dat in Finland circa 0,2% van de kinderen aan veldsterkten groter dan 0,2  $\mu\text{T}$  is blootgesteld [17]. Grandolfo vermeldt dat 0,54% van de Italianen woonachtig is bij velden als gevolg van hoogspanningslijnen boven 0,2  $\mu\text{T}$  [34]. Vergeleken met deze percentages is het geschatte percentage kinderen dat in Nederland bij magnetische velden van afkomstig van alleen hoogspanningslijnen boven 0,2  $\mu\text{T}$ , namelijk tussen 0,5 en 1,2%, van dezelfde orde van grootte.

### 3.3 Andere bronnen van magnetische velden

Afgezien van bovengrondse hoogspanningslijnen zijn magnetische velden onder andere afkomstig van ondergrondse kabels voor distributie en het gebruik van elektrische huishoudelijke apparatuur. Het magnetische veld van ondergrondse kabels kan direct boven de kabels hoger zijn dan recht onder een hoogspanningslijn, maar het veld neemt veel sterker af bij toenemende afstand tot de kabel [35, 37]. In de meeste woningen ver van bovengrondse hoogspanningslijnen in Groot-Brittannië bedroeg de blootstelling aan magnetische velden circa 0,01 tot 0,2  $\mu\text{T}$ . In enkele woningen werden waarden boven 0,3  $\mu\text{T}$  gevonden [35]. Op basis van metingen in de woning van controles werd voor het Verenigd Koninkrijk (UKCC studie) en Duitsland geschat dat circa 2% van de populatie woonachtig is in woningen met een magnetisch veld groter dan 0,2  $\mu\text{T}$  [24, 25]. Het is niet bekend hoe groot de blootstelling in woningen in Nederland is. Magnetische velden van elektrische huishoudelijke apparatuur nemen af met toenemende afstand tot het apparaat en op 1 m is de magnetische veldsterkte van dezelfde orde van grootte als het achtergrondniveau (0,01-0,3  $\mu\text{T}$ ) [38].

Greenland *et al.* vonden in 10% van de woningen gemeten magnetische veldsterkten boven 0,2  $\mu\text{T}$  [21]. In een recente Duitse studie is in 28 woningen, zijnde 1,4% van alle woningen in de steekproef, een magnetisch veld boven 0,2  $\mu\text{T}$  gemeten [39]. De auteurs waarschuwen zelf dat de steekproef mogelijk niet representatief is voor alle woningen in Duitsland. Voor deze

28 woningen is nagegaan welke bron de belangrijkste veroorzaker van het magnetische veld is. In 21 woningen was dat een bron buiten de woning: hoogspanningslijnen (8 woningen), bovengrondse laagspanningsdistributielijnen en voedingen voor straatlantaarns aan buitenmuren (samen 9 woningen) en ondergrondse draden (4 woningen). In 7 woningen lag de belangrijkste oorzaak in de woning: elektrische bedrading (6 woningen) en elektrische apparatuur (1 woning; elektrische wekker naast een kinderbed). Als deze gegevens worden gegeneraliseerd naar alle woningen, dan betekent dat er voor elke woning met een verhoging van het magnetische veld als gevolg van een hoogspanningslijn ongeveer twee woningen zijn met een verhoging als gevolg van een andere bron. In dezelfde studie werd ook een associatie gevonden tussen het type woning en de magnetische veldsterkte in de woning: de kans op magnetische veldsterkten hoger dan  $0,2 \mu\text{T}$  was significant hoger voor flatgebouwen ten opzichte van de referentiegroep met eengezinswoningen en boerderijen.

## 4 Risicoberekeningen

De jaarlijkse incidentie van nieuwe gevallen van leukemie bij kinderen in Nederland bedraagt 3,8 op de 100.000 kinderen [40]. Dit komt overeen met een individueel risico ( $R$ ) van  $3,8 \cdot 10^{-5}$  per jaar. In de totale groep van  $N = 2,9 \cdot 10^6$  kinderen die per 1 januari 1998 de leeftijd tot 15 jaar hadden, betekent dit in totaal circa 110 nieuwe gevallen van leukemie per jaar [36]. De Nederlandse Kankerbestrijding meldt dat ongeveer 70% van de kinderen met leukemie weer geneest [40].

De berekening van het toegevoegd individueel risico is als volgt uitgevoerd. Stel, er zijn  $n$  blootstellingscategorieën ( $i$ , met  $i = 0, \dots, n$ ) die elk een eigen waarde voor het relatieve risico  $r_i$  hebben. Stel het individuele risico in zone  $i$  gelijk aan  $R_i$ , dan geldt

$$r_0 = 1 ; r_1 = R_1/R_0 ; r_2 = R_2/R_0 ; \dots ; r_n = R_n/R_0.$$

Voor het aantal kinderen  $N_i$  in de  $n$  categorieën geldt dat

$$N = N_0 + N_1 + N_2 + \dots + N_n.$$

Met deze relaties en de uitdrukking voor het totale aantal nieuwe gevallen per jaar

$$N \cdot R = N_0 \cdot R_0 + N_1 \cdot R_1 + N_2 \cdot R_2 + N_n \cdot R_n,$$

is afgeleid dat het toegevoegde individuele risico in categorie  $i$  gelijk is aan

$$R_i - R_0 = R \cdot (r_i - 1) \cdot \frac{1}{1 + \sum_i (r_i - 1) \cdot N_i/N}.$$

Als de relatieve risico's niet te groot zijn ten opzichte van 1 én het aantal blootgestelde kinderen niet te groot is ten opzichte van het totaal aantal kinderen, dan kan in de praktijk het toegevoegde individuele risico en het aantal extra gevallen in categorie  $i$  worden berekend met

$$R_i - R_0 \approx R \cdot (r_i - 1) \quad \text{en} \quad N_i \cdot (R_i - R_0) \approx N_i \cdot R \cdot (r_i - 1).$$

De berekeningen in dit rapport zijn overigens uitgevoerd zonder deze vereenvoudiging.

De resultaten van de risicoberekeningen volgens methode A, B en C zijn in Tabel 5 samengevat, met tussen haken de onzekerheidsmarges die zijn berekend uitgaande van de onzekerheden in de relatieve risico's. Daarbij zijn de drie blootstelling-responsrelaties uit Figuur 1 en Figuur 2 gebruikt.

Tabel 5 Resultaten van de risicoberekeningen.

magnetisch veld ( $\mu\text{T}$ )	toegevoegd individueel risico per jaar *		extra gevallen per jaar			
			lage schatting		hoge schatting	
METHODE A						
0,1 - 0,2	$3 \cdot 10^{-6}$	$[-4 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-5}]$	0,02	$[-0,03 - 0,09]$	0,02	$[-0,03 - 0,08]$
0,2 - 0,3	$4 \cdot 10^{-6}$	$[-6 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}]$	0,02	$[-0,03 - 0,09]$	0,03	$[-0,04 - 0,11]$
0,3 - 0,4	$4 \cdot 10^{-6}$	$[-6 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}]$	0,010	$[-0,02 - 0,04]$	0,014	$[-0,02 - 0,06]$
$\geq 0,4$	$4 \cdot 10^{-5}$	$[1,0 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-5}]$	0,3	$[0,07 - 0,5]$	0,9	$[0,3 - 2]$
totaal			0,3	$[-0,012 - 0,8]$	1,0	$[0,2 - 2]$
METHODE B						
0,1 - 0,2	$4 \cdot 10^{-6}$	$[1,1 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-6}]$	0,03	$[0,009 - 0,06]$	0,03	$[0,008 - 0,05]$
0,2 - 0,3	$7 \cdot 10^{-6}$	$[2 \cdot 10^{-6} - 1,3 \cdot 10^{-5}]$	0,04	$[0,010 - 0,07]$	0,04	$[0,012 - 0,08]$
0,3 - 0,4	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$[3 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}]$	0,03	$[0,007 - 0,05]$	0,04	$[0,009 - 0,06]$
0,4 - 0,6	$2 \cdot 10^{-5}$	$[4 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-5}]$	0,05	$[0,011 - 0,09]$	0,05	$[0,012 - 0,09]$
0,6 - 0,8	$2 \cdot 10^{-5}$	$[6 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-5}]$	0,05	$[0,012 - 0,11]$	0,12	$[0,03 - 0,2]$
$\geq 0,8$	$3 \cdot 10^{-5}$	$[7 \cdot 10^{-6} - 7 \cdot 10^{-5}]$	0,05	$[0,011 - 0,12]$	0,5	$[0,12 - 1,2]$
totaal			0,3	$[0,06 - 0,5]$	0,8	$[0,2 - 2]$
METHODE C						
0,1 - 0,2	$-2 \cdot 10^{-6}$	$[-8 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-6}]$	-0,02	$[-0,06 - 0,04]$	-0,014	$[-0,06 - 0,03]$
0,2 - 0,3	$2 \cdot 10^{-6}$	$[-8 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}]$	0,012	$[-0,04 - 0,08]$	0,014	$[-0,05 - 0,10]$
0,3 - 0,4	$3 \cdot 10^{-5}$	$[1,0 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}]$	0,06	$[0,02 - 0,12]$	0,09	$[0,03 - 0,2]$
$\geq 0,4$	$3 \cdot 10^{-5}$	$[1,0 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}]$	0,2	$[0,06 - 0,3]$	0,6	$[0,2 - 1,2]$
totaal			0,2	$[-0,02 - 0,6]$	0,7	$[0,2 - 1,5]$

\* Het toegevoegde individuele risico is in enkele gevallen negatief. Een negatief toegevoegd individueel risico is inherent aan een relatief risico dat kleiner is dan 1: in theorie is er dan sprake van een beschermend effect.

Volgens methode A is het toegevoegde individuele risico het hoogste boven 0,4  $\mu\text{T}$ , namelijk  $4 \cdot 10^{-5}$  per jaar met een onzekerheidsmarge van  $1 \cdot 10^{-5}$  tot  $8 \cdot 10^{-5}$  per jaar. Als wordt uitgegaan van een continue blootstelling-responsrelatie (methode B) bedraagt het toegevoegde individuele risico boven 0,4  $\mu\text{T}$   $2 \cdot 10^{-5}$  tot  $3 \cdot 10^{-5}$  per jaar. In methode C is het relatieve risico  $3 \cdot 10^{-5}$  per jaar bij magnetische veldsterkten hoger dan 0,3  $\mu\text{T}$ . De onzekerheidsmarges zijn in de twee laatste methoden van dezelfde orde van grootte.

Met het begrip *toegevoegd individueel risico* wordt in dit rapport het risico op het *krijgen van leukemie door kinderen* als gevolg van het wonen bij een hoogspanningslijn bedoeld. Daarbij moeten twee opmerkingen worden geplaatst. De eerste opmerking is dat, hoewel bekend is dat de kans op overleven voor kinderen met leukemie ongeveer 70% bedraagt, er in de normering van het risico in het milieubeleid is aangenomen dat alle geïnduceerde kankers een dodelijke afloop hebben. De tweede opmerking is dat het risico in het milieubeleid normaal gesproken op de *gehele* blootgestelde bevolking betrekking heeft en niet alleen op de groep kinderen in de leeftijd van 0 tot 15 jaar, die ongeveer 18,5% van de gehele bevolking bedraagt. Over het risico van het krijgen van leukemie bij volwassenen, mogelijk als gevolg van magnetische velden in de woonomgeving, is het naar het oordeel van het NIEHS niet mogelijk een uitspraak te doen [5]. Er zijn aanwijzingen voor een relatie tussen beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden en chronische lymfatische leukemie bij volwassenen, maar het onderzoek in de woonomgeving is ontoereikend om over het mogelijke risico aldaar een uitspraak te doen. Zodoende is het niet zonder meer mogelijk het toegevoegd individueel

risico op het krijgen van leukemie door kinderen, waarover in dit rapport wordt gesproken, te vergelijken met de risicomaten die in het milieubeleid worden gehanteerd.

Het totaal aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen per jaar voor de drie methoden is, gegeven de onzekerheidsmarges, ongeveer gelijk en bedraagt maximaal ongeveer 1. Het merendeel van de extra gevallen blijkt zich in de hoogste categorie van het magnetische veld, namelijk boven 0,4  $\mu\text{T}$ , te bevinden.

## 5 Discussie

In het RIVM-onderzoek zijn diverse epidemiologische studies naar de associatie tussen blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen en het optreden van leukemie bij kinderen geëvalueerd om een uitspraak te kunnen doen over de mogelijke gevolgen voor Nederland als deze associatie een causale relatie zou beschrijven met het magnetische veld van deze lijnen als de verbindende factor. Het al dan niet oorzakelijk zijn van deze relatie staat zeer ter discussie omdat er vooralsnog geen plausibel biologisch mechanisme bekend is. De commissie van de Gezondheidsraad geeft in zijn advies aan dat *als* er een oorzakelijke relatie tussen het wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen en leukemie onder kinderen zou bestaan, zij op grond van een globale schatting verwacht dat slechts minder dan een half procent van de jaarlijkse incidentie van kinderleukemie in Nederland hieraan kan worden toegeschreven. De schatting van RIVM, namelijk 0,2 tot 0,9%, is van dezelfde orde van grootte.

Zowel Ahlbom *et al.* als Greenland *et al.* zijn van mening dat toekomstige epidemiologische onderzoeken op dit terrein alleen van waarde zullen zijn wanneer er voldoende onderzoeksdeelnemers met blootstellingsniveaus boven 0,4  $\mu\text{T}$  in aanwezig zijn. In de komende jaren komt mogelijk nieuwe informatie uit epidemiologisch onderzoek en uit nieuwe analyses beschikbaar die meer licht kan schijnen op de vraag of er sprake is van een eenduidig verband, en zo ja, welke blootstelling-responsrelatie dan optreedt en welke onzekerheden hieraan zijn verbonden. Tegen die tijd is het van nut te beschikken over meer gegevens over de blootstelling van de Nederlandse populatie. Mocht blijken dat een deel van de Nederlandse populatie relatief hoog is blootgesteld, dan kan later overwogen worden of epidemiologisch onderzoek naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden en incidentie van leukemie bij kinderen in Nederland mogelijk is.

### ***Onzekerheden***

Bij de berekening van het toegevoegde individuele risico op kinderleukemie als gevolg van magnetische velden afkomstig van hoogspanningslijnen introduceert de omvang van de blootgestelde populatie in Nederland de nodige onzekerheid in de uitkomst. De onzekerheden in de blootstellingsclassificatie leiden tot over- of onderschatting van relatieve risico's in originele studies en dus ook in 'pooled analyses'. De omvang en de richting hiervan zijn echter niet zonder meer aan te geven. Uit gegevens van KEMA is voor de diverse typen hoogspanningslijnen geschat op welke afstand diverse magnetische veldsterkten worden bereikt. Op basis van een lage en een hoge schatting voor de waarden van de magnetische veldsterkte zijn de minimale en maximale afstanden bepaald waarop een bepaalde waarde van de veldsterkte voorkomt. In het RIVM-onderzoek was het niet mogelijk om van alle lijnen in Nederland gedetailleerdere berekeningen van de veldsterkte uit te voeren. De afstanden waarop een veldsterkte van 0,4  $\mu\text{T}$  wordt bereikt, lopen volgens deze schatting uiteen van 90 tot 130 m voor 380 kV lijnen en van 30 tot 80 m voor 110 kV lijnen. Voor de 150 kV-lijnen zijn de afstanden waarop diverse waarden voor de hoge schatting van het magnetische veld worden bereikt mogelijk aan de ruime kant. In combinatie met het feit dat dit type lijn door dichtbevolkte gebieden loopt, is het aantal kinderen dat woont bij deze veldsterkten mogelijk overschat. De belangrijkste onzekerheden in de schatting van de afstanden waarop bepaalde magnetische veldsterkten vóórkomen, vloeien voort uit onzekerheden in de belasting van de lijnen, verschillen in fasevolgorde en geometrische configuratie binnen de vier typen lijnen en

verschillen in afstanden van de draden tot de grond. Om een betere schatting te kunnen maken, is het van belang dat deze gegevens beschikbaar komen.

### ***Andere bronnen van magnetische velden***

In het RIVM-onderzoek is de schatting van het mogelijk aantal extra gevallen van leukemie uitsluitend voor magnetische velden afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen uitgevoerd. Magnetische velden afkomstig van andere bronnen in de woonomgeving zijn buiten beschouwing gelaten. De blootstelling-responsrelaties afkomstig uit de twee 'pooled analyses' gelden in principe ook voor andere bronnen van extreem laagfrequente magnetische velden. Met de methode die in het RIVM-onderzoek is gebruikt, zou het mogelijk zijn om het totale aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen als gevolg van magnetische velden in hun woonomgeving te schatten. Greenland *et al.* schatten het attributieve percentage van leukemiegevallen door magnetische velden in de woning in de Verenigde Staten op 3%. Om het aantal en het percentage voor Nederland te bepalen, zou echter informatie over de verdeling van de niveaus van magnetische velden in Nederlandse woningen beschikbaar moeten zijn, hetgeen niet het geval is. In Duitsland bleek de magnetische veldsterkte afhankelijk van het type woning te zijn: de kans op magnetische veldsterkten boven 0,2  $\mu\text{T}$  was hoger voor flatgebouwen ten opzichte van de referentiegroep met eengezinswoningen en boerderijen [39].

In de buitenlandse literatuur wordt melding gemaakt van woningen nabij hoogspanningslijnen waar het magnetische veld niet verhoogd zou zijn. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat verhoogde velden ook op grotere afstand van hoogspanningslijnen kunnen voorkomen. Hiermee is het onzeker geworden of hoogspanningslijnen wel de belangrijkste bron van blootstelling aan magnetische velden zijn. Mede omdat onduidelijk is of dit ook voor Nederland geldt, verdient het aanbeveling om de totale blootstelling aan alle bronnen van extreem laagfrequente magnetische velden in Nederland nader te onderzoeken.

### ***Maatregelen***

Wat betreft het al dan niet treffen van maatregelen ter vermindering van de mogelijke gezondheidseffecten door blootstelling aan magnetische velden, zijn in de literatuur globaal twee stromingen te onderscheiden.

De beide stromingen hebben gemeenschappelijk dat er consensus is over het bestaan van consistente aanwijzingen uit epidemiologisch onderzoek die suggereren dat bij toenemende magnetische veldsterkten het risico op het ontstaan van leukemie bij kinderen licht wordt verhoogd. Hierbij wordt veelal de kanttekening gemaakt dat niet geheel valt uit te sluiten dat selectie-vertekening (een deel van) deze verhoging kan verklaren. Daarnaast komen uit experimenteel en mechanistisch onderzoek geen consistente aanwijzingen naar voren die een mogelijke causale relatie tussen leukemie en magnetische velden ondersteunen. Verder is men het in beide stromingen erover eens dat het percentage kinderen in Europa, dat aan verhoogde magnetische velden is blootgesteld, klein is. Waarschijnlijk is minder dan 2% blootgesteld aan veldsterktes boven 0,2  $\mu\text{T}$  en circa 0,5% boven 0,4  $\mu\text{T}$ . Wanneer wordt verondersteld dat er een oorzakelijk verband is tussen de blootstelling aan magnetische velden en het optreden van leukemie bij kinderen, verdubbelt de kans op het optreden van leukemie tijdens de eerste 15 levensjaren voor kinderen die wonen bij magnetische veldsterkten waarboven het relatieve risico mogelijk is verhoogd. Als gevolg hiervan is het mogelijk aantal extra gevallen van leukemie per jaar klein, ook in het licht van de sterfte en ziektelast veroorzaakt door andere



milieufactoren, zoals luchtverontreiniging (in Nederland 1000 à 3000 vroegtijdige sterfgevallen als gevolg van fijn stof en ozon en als gevolg van radon 800 gevallen van longkanker per jaar, met een marge van 100 à 1200), waarover RIVM regelmatig in milieubalans, milieucompendium en milieuverkenning rapporteert [41, 42].

De stromingen verschillen echter in de wijze waarin het voorliggende materiaal wordt gewaardeerd. Zo zien we aan de ene kant auteurs die sterk hechten aan aanwijzingen uit experimenteel en mechanistisch onderzoek die de associaties uit epidemiologisch onderzoek kunnen onderbouwen. Gezien het ontbreken van deze aanwijzingen, en de notie dat de mogelijke risico's van lange-termijn blootstelling klein zijn, zien deze auteurs geen aanleiding om de blootstellingslimieten te verlaten die gebaseerd zijn op korte-termijn effecten die wel mechanistisch kunnen worden onderbouwd. Voor de algemene bevolking ligt het door de EU aanbevolen referentieniveau voor magnetische velden van 50 Hz bij 100  $\mu$ T. In het licht van wat bekend is over de blootstelling van de algemene bevolking, is er zodoende geen aanleiding voor verlaging van referentieniveaus en maatregelen ter vermindering van de blootstelling [3, 43].

Aan de andere kant zien we auteurs die stellen dat alhoewel het voorliggende materiaal geen basis biedt voor blootstellingslimieten of het stellen van enige beperkingen aan magnetische velden, er toch redenen zijn om enige voorzichtigheid wat betreft de blootstelling aan deze velden in acht te nemen. Gezien de wetenschappelijke onzekerheid, het kleine aantal extra gevallen van leukemie, het nut van elektriciteit en de hoge maatschappelijke kosten die verbonden kunnen zijn aan maatregelen ter reductie van de blootstelling, wordt bijvoorbeeld door sommige auteurs aanbevolen passieve activiteiten zoals publieksvoorlichting over mogelijke maatregelen te organiseren [5] of een zwak voorzorgprincipe toe te passen. Bij dit laatste wordt bijvoorbeeld gesuggereerd zoveel mogelijk woongebieden van hoogspanningslijnen te scheiden, in elk geval bij aanleg van nieuwe lijnen [44] of preventieve maatregelen te nemen gericht op kinderrijke plaatsen zoals kinderdagverblijven en scholen [45].

In bijlage 2 is een overzicht opgenomen van de ontwikkelingen in de regelgeving in het buitenland. De meest gedetailleerde uitwerkingen van de toepassing van het voorzorgprincipe vinden we in Zweden en Californië waar stappen worden voorgesteld die de blootstelling aan magnetische velden verminderden mits dit tegen redelijke kosten kan worden gedaan en dit niet leidt tot groot ongemak voor de samenleving. De kosten van de mogelijke maatregelen en de mogelijke gezondheidswinst worden bijvoorbeeld in Zweden afgezet tegen de kosten die in andere domeinen, zoals transport en stralingshygiëne, worden gemaakt om gezondheidseffecten te vermijden. In Californië spelen naast de kosten-baten effectiviteit, ook de opvattingen van belangengroepen een rol. De benadering in Zweden en Californië vereist maatwerk omdat per situatie een analyse moet worden gemaakt van de mogelijke maatregelen, de kosten ervan en de mogelijke gezondheidswinst. Voorbeelden uit Zweden illustreren dat de kosten-baten van voor de hand liggende maatregelen tot een factor 200 uiteen kunnen lopen. Daarnaast suggereren de Zweedse resultaten dat de kosten-baten van maatregelen gericht op hoogspanningslijnen ten opzichte van uitgaven in andere domeinen ongunstig kunnen uitvallen.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

RIVM heeft onderzocht wat de consequenties voor Nederland zijn van de conclusie van de Gezondheidsraad ‘dat er sprake is van een redelijk consistente associatie tussen het vóórkomen van leukemie bij kinderen en het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen’, indien aangenomen wordt dat deze associatie het resultaat is van een causale relatie tussen de sterkte van het magnetische veld van deze lijnen en het optreden van leukemie bij kinderen.

- 1 Vanuit epidemiologisch oogpunt acht RIVM de resultaten van de recent verschenen ‘pooled analyses’ van Ahlbom *et al.* en van Greenland *et al.* een beter uitgangspunt voor de beschrijving van het risico op het krijgen van leukemie door kinderen als gevolg van magnetische velden afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen, dan de informatie uit afzonderlijke epidemiologische studies of uit eerder uitgevoerde meta-analyses.
- 2 De causaliteit van de associatie tussen magnetische velden van hoogspanningslijnen en het optreden van leukemie bij kinderen is onzeker, vooral vanwege het onbekend zijn van enig plausibel biologisch mechanisme.
- 3 Er zijn onzekerheden over de vorm van de eventuele blootstelling-responsrelatie. Derhalve kan alleen worden geconcludeerd dat het relatieve risico mogelijk is verhoogd bij veldsterkten hoger dan ergens tussen 0,2 en 0,5  $\mu\text{T}$ .
- 4 Wanneer de resultaten van Ahlbom *et al.* en Greenland *et al.* worden gebruikt, wordt het toegevoegde individuele risico op het krijgen van leukemie door kinderen als gevolg van magnetische velden afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen in gebieden met magnetische veldsterkten boven 0,3 à 0,4  $\mu\text{T}$  geschat op maximaal ongeveer  $3 \cdot 10^{-5}$  per jaar. Dit risico geldt strikt genomen alleen voor de groep van kinderen tot 15 jaar en kan daarom niet zonder meer worden vergeleken met de risicomaten die elders in het nationale milieubeleid worden gehanteerd. Bovendien is het toegevoegde individuele risico bij volwassenen niet bekend.
- 5 Er zijn onzekerheden in het aantal kinderen dat woont bij magnetische veldsterkten waarboven het relatieve risico verhoogd zou kunnen zijn, onder andere vanwege de onzekerheden in schattingen van de magnetische veldsterkte als functie van de afstand tot de hoogspanningslijnen.
- 6 Uitgaande van de veronderstelling dat er inderdaad een causaal verband bestaat, en gebruik makend van schattingen voor de magnetische veldsterkte als functie van de afstand tot hoogspanningslijnen, wordt het aantal extra gevallen van leukemie bij kinderen als gevolg van magnetische velden afkomstig van bovengrondse hoogspanningslijnen geschat op 0,2 tot 1 per jaar, op een totaal van circa 110 nieuwe gevallen per jaar in Nederland.

In buitenlandse literatuur wordt melding gemaakt van woningen nabij hoogspanningslijnen waar het magnetische veld niet verhoogd zou zijn. Ook zijn er aanwijzingen dat verhoogde velden ook op grotere afstand van hoogspanningslijnen kunnen voorkomen. Voor de Nederlandse bevolking is onvoldoende bekend hoe groot de blootstelling aan (het totaal aan bronnen van) extreem laagfrequente magnetische velden is. Het verdient daarom aanbeveling deze blootstelling nader te onderzoeken.

## Referenties

- 1 Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.* 1979; 109(3):273-84.
- 2 Gezondheidsraad. Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid. Den Haag, 1992; 1992/07.
- 3 Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; 2000/6.
- 4 National Research Council. Committee on the possible effects of electromagnetic fields on biological systems. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. Washington DC: National Academy Press, 1997.
- 5 Olden K. Health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. Research Triangle Park, NC: NIEHS, 1999; NIH Publication No. 99-4493.
- 6 Van Limborgh A. [Brief aan dr. R.C.G.M. Smetsers]. 22 maart 2000. Inventarisatie hoogspanningslijnen.
- 7 Van Limborgh A. [Brief aan dr. R.C.G.M. Smetsers]. 27 november 2000. Aanvulling op briefrapport 'Blootstelling aan extreem laag frequente elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen'.
- 8 Van der Plas M, Houthuijs DJM, Dusseldorp A, Pennders RMJ, Pruppers MJM. Blootstelling aan extreem laag frequente elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen. Bilthoven: RIVM, 2000; RIVM-briefrapport 233-2000. 12 mei 2000.
- 9 Van der Plas M, Houthuijs DJM, Dusseldorp A, Pruppers MJM. Aanvulling op het briefrapport 'Blootstelling aan extreem laag frequente elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen'. Bilthoven: RIVM, 2001; RIVM-briefrapport 040-2001. 19 februari 2001.
- 10 Koops FBJ. Blootstelling van de algemene bevolking aan elektrische en magnetische velden ten gevolge van hoogspanningslijnen. Arnhem: KEMA, 1999.
- 11 Portier CJ, Wolfe MS, Editors. Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. NIEHS Working Group Report. Research Triangle Park, NC, USA: National Institute of Environmental Health Sciences, 1998; NIH Publication No. 98-3981.
- 12 Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic fields. *Am. J. Epidemiol.* 1988; 128(1):21-38.
- 13 London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng T-C, Peters JM. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am. J. Epidemiol.* 1991; 134(9):923-37.
- 14 Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Friedman DR. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *The New England Journal of Medicine* 1997; 337(1):1-7.
- 15 Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am. J. Epidemiol.* 1993; 138(7):467-81.
- 16 Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *Br. Med. J.* 1993; 307(6909):891-5.
- 17 Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY *et al.* Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Br. Med. J.* 1993; 307(6909):895-9.
- 18 Tynes T, Haldorsen T. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. *Am. J. Epidemiol.* 1997; 145(3):219-26.
- 19 Wartenberg D, Dietrich F, Goldberg R, Poole C, Savitz D. A meta-analysis of studies of childhood cancer and residential exposure to magnetic fields. Philadelphia, PA: Information Ventures, Inc., 1998.
- 20 Ahlbom A, Day N, Feychting M *et al.* A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br. J. Cancer* 2000; 83(5):692-8.
- 21 Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 2000; 11(6):624-34.
- 22 Sep/EnergieNed. Elektriciteit in Nederland 1998. Arnhem: Sep en EnergieNed, 1999.

- 23 Wertheimer N, Leeper E. Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int. J. Epidemiol.* 1982; 11(4):345-55.
- 24 Michaelis J, Schüz J, Meinert R *et al.* Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia. *Epidemiology* 1998; 9(1):92-4.
- 25 UK Childhood Cancer Study Investigators. Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. *The Lancet* 1999; 354(9194):1925-31.
- 26 Dockerty JD, Elwood DM, Skegg DC, Herbison GP. Electromagnetic field exposures and childhood cancers in New Zealand. *Cancer Causes Control* 1998; 9(3):299-309. Erratum in 1999; 10: 641.
- 27 Dockerty JD, Elwood JM, Skegg DCG, Herbison GP. Electromagnetic field exposures and childhood leukaemia in New Zealand [letter]. *The Lancet* 1999; 354(9194):1967-8.
- 28 McBride ML, Gallagher RP, Theriault G. Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Am. J. Epidemiol.* 1999; 149(9):831-42.
- 29 Tomenius L. 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm County. *Bioelectromagnetics* 1986; 7(2):191-207.
- 30 Coghill RW, Steward J, Philips A. Extra low frequency electric and magnetic fields in the bedplace of children diagnosed with leukaemia: a case-control study. *Eur. J. Cancer Prev.* 1996; 5(3):153-8.
- 31 Wartenberg D. Residential magnetic fields and childhood leukemia: a meta-analysis. *Am. J. of Public Health* 1998; 88(2):1787-94.
- 32 Wartenberg D. Residential EMF exposure and childhood leukemia: Meta-analysis and population attributable risk. *Bioelectromagnetics* 2001; 5:S86-S104.
- 33 Schreiber GH, Swaen GMH, Meijers JMM, Slangen JJM, Sturmans F. Kankersterfte en het wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen. Een retrospectief cohortonderzoek. *T. Soc. Gezondheidsz.* 1993; 71(3):148-53.
- 34 Grandolfo M. Extremely low frequency magnetic fields and cancer. *Eur. J. Cancer Prev.* 1996; 5:379-81.
- 35 Advisory Group on Non-ionising Radiation. ELF electromagnetic fields and the risk of cancer. Chilton, Didcot: National Radiological Protection Board, 2001.
- 36 Centraal Bureau voor de Statistiek. Bevolking op 1 januari naar geslacht en leeftijdsgroep; Bevolkingsprognose 1998 Middenvariant [Web Page]. 28 April 1999; Available at [www.cbs.nl/nl/cijfers/kerncijfers/sbv0614c1.htm](http://www.cbs.nl/nl/cijfers/kerncijfers/sbv0614c1.htm). (Accessed 4 April 2000).
- 37 Hardell L, Holmberg B, Malker H, Paulsson LE. Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields and the risk of malignant diseases--an evaluation of epidemiological and experimental findings. *Eur. J. Cancer Prev.* 1995; 4(Suppl. 1):3-107.
- 38 Preece AW, Kaune W, Grainger P, Preece S, Golding J. Magnetic fields from domestic appliances in the UK. *Phys. Med. Biol.* 1997; 42(1):67-76.
- 39 Schüz J, Grigat J-P, Störmer B, Rippin G, Brinkmann K, Michaelis J. Extremely low frequency magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level. *Radiat. Environ. Biophys.* 2000; 39(4):233-40.
- 40 Van Leer EM, Cleton FJ, Van Leeuwen FE, Eindredactie. Signaleringsrapport Kanker 1999. Amsterdam: Signaleringscommissie Kanker. Nederlandse Kankerbestrijding/KWF.
- 41 RIVM. Nationale Milieuverkenning 2000-2030. Alphen aan den Rijn: Samsom b.v., 2000.
- 42 CBS en RIVM. Milieucompendium 2000 - Het milieu in cijfers [Web Page]. 2000; Available at [www.rivm.nl/milieucompendium](http://www.rivm.nl/milieucompendium). (Accessed 6 April 2001).
- 43 National Radiological Protection Board. Response Statement - from the Board of NRPB. Power frequency electromagnetic fields and the risk of cancer [Web Page]. 6 March 2001; Available at <http://www.nrpb.org.uk/R3-01.htm>. (Accessed 6 March 2001).
- 44 Passchier WF. Inaugurele rede: Verspraak onder hoogspanning. 1999.
- 45 Botti C, Comba P. Ethical considerations concerning the regulation of human exposure to electromagnetic fields. *Epidemiology* 2000; 11(2):225-7.
- 46 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health*

- Phys. 1998; 74(4):494-522.
- 47 Raad van de Europese Gemeenschappen. Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz - 300 GHz. Publicatieblad Van De Europese Gemeenschappen 1999; 1999/519/EG.
- 48 Morgan G. Prudent avoidance. Public Utilities Fortnightly, 1992.
- 49 World Health Organization. Provisional minutes. International EMF Project: Standards Harmonization Meeting. Ettore Majorana Centre, Erice, Sicily, Italy [Web Page]. 27 November 1999; Available at [http://www.who.int/peh-emf/publications/research\\_coord/standards-minutes-jan00.htm](http://www.who.int/peh-emf/publications/research_coord/standards-minutes-jan00.htm). (Accessed February 2001).
- 50 Levallois P. Do power frequency magnetic fields cause leukemia in children? Am. J. Prev. Med. 1995; 11(4):263-70.
- 51 Hendee WR, Boteler JC. The question of health effects from exposure to electromagnetic fields. Comment in: Health Phys 1994 Jun;66(6):708. Health Phys. 1994; 66(2):127-36.
- 52 Lamarine RJ, Narad RA. Health risks associated with residential exposure to extremely low frequency electromagnetic radiation. J. Community Health 1992; 17(5):291-301.
- 53 SNBOSH Swedish National Board of Occupational Safety and Health. Low-frequency electrical and magnetic fields: The precautionary principle for national authorities. Guidance for decision-makers. Solna, 1996.
- 54 Vecchia P. Basic features of the Italian regulations on exposure to electromagnetic fields. WHO International Advisory Committee Meeting. 2000.
- 55 Die Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft. Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung. 814.710.
- 56 The Bioelectromagnetics Society. WHO EMF Project hears update on standards worldwide. The Bioelectromagnetics Society Newsletter 2000; 157:4, 9-10.
- 57 Greenland S. Estimation of population attributable fractions from fitted incidence ratios and exposure survey data. Biometrics 2001; 57:in press.

## **Bijlage 1 Verzendlijst**

1-30	Directeur van de Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling
31	Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer
32	Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
33	Directie RIVM
34	Directeur Sector Risico's, Milieu en Gezondheid
35	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
36	Hoofd van het Laboratorium voor Blootstellingsonderzoek en Milieu-epidemiologie
37	Hoofd van de LSO-afdeling Modellen en Processen
38	Hoofd van de LSO-afdeling Kwaliteit
39-43	Auteurs
44	Hoofd Voorlichting & Public Relations
45	Bureau Rapportenregistratie
46	Bibliotheek RIVM
47	Bibliotheek LSO
48-62	Bureau Rapportenbeheer
63-100	Reserve-exemplaren LSO

## Bijlage 2 Regelgeving in binnen- en buitenland

Richtlijnen voor blootstellingslimieten ter bescherming tegen negatieve gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan elektrische, magnetische en elektromagnetische velden zijn in het algemeen gebaseerd op kennis over het optreden van kortetermijneffecten. De Gezondheidsraad geeft in zijn advies van maart 2000 blootstellingslimieten die erop zijn gericht het optreden van de bekende kortetermijneffecten (het optreden van fosfenen en stimulatie van zenuwen) door wisselende elektrische en magnetische velden te voorkómen [3]. De blootstellingslimieten worden basisbeperkingen genoemd en hun afgeleiden, de sterkte van het ongestoorde elektrische en magnetische veld ter plaatse van de blootstelling, referentieniveaus. Met inachtneming van veiligheidsfactoren stelt de commissie het referentieniveau voor de sterkte van het externe magnetische veld met een frequentie van 50 Hz vast op 120  $\mu$ T voor de algemene bevolking. Voor beroepsmatig blootgestelden ligt het referentieniveau een factor 5 hoger: 600  $\mu$ T. Voor wat betreft langetermijneffecten komt de commissie tot de slotsom dat niet is aangetoond dat blootstelling aan elektrische of magnetische velden afkomstig van het elektriciteitstransport- en distributiesysteem, bij veldsterkten lager dan de voor kortetermijneffecten opgestelde blootstellingslimieten, enigerlei ziekte of afwijking veroorzaakt.

De International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) publiceerde in 1998 een richtlijn ter bescherming tegen bekende negatieve gezondheidseffecten op de korte termijn [46]. Ook deze commissie gaat uit van basisbeperkingen en referentieniveaus en stelt het referentieniveau voor de algemene bevolking voor magnetische velden met een frequentie van 50 Hz vast op 100  $\mu$ T. Het referentieniveau voor beroepsmatige blootstelling is net als in Nederland een factor 5 hoger. De Raad van de Europese Commissie heeft zich bij het opstellen van de aanbeveling betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz - 300 GHz op deze richtlijn gebaseerd en stelt dezelfde waarden voor de basisbeperkingen en referentieniveaus vast [47].

Diverse buitenlandse overheden hebben zich reeds gebogen over de mogelijke risico's van blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen op de lange termijn en het eventueel treffen van maatregelen. In de Verenigde Staten pleitte Morgan van Carnegie Mellon University eind jaren tachtig voor de zogenaamde 'prudent avoidance', het zorgvuldig vermijden van blootstelling aan magnetische velden zolang de kennis over een mogelijk verband tussen de blootstelling en het negatieve gezondheidseffect onvolledig is en zonder dat daarvoor kostbare en dwingende maatregelen moeten worden getroffen [48, 49]. Diverse andere onderzoekers uit de Verenigde Staten en Canada hebben in de internationale literatuur eveneens hiervoor gepleit [50-52].

In Europa kondigde de Zweedse overheid in 1996 het voorzorgprincipe aan, nadat was vastgesteld dat de resultaten uit diverse onderzoeken onvoldoende basis vormden voor het opstellen van blootstellingslimieten of dwingende maatregelen ter beperking van blootstelling aan ELF elektrische en magnetische velden. Het voorzorgprincipe hield daar in dat 'als maatregelen die in het algemeen de blootstelling reduceren, tegen een redelijke kostprijs en met aanvaardbare consequenties in alle opzichten, kunnen worden genomen, inspanningen moeten worden verricht om de velden die drastisch verschillen van wat normaal gesproken verwacht kan worden in de betreffende omgeving, te reduceren. In het geval van nieuwe elektrische installaties en gebouwen moeten deze inspanningen reeds in de planningsfase

worden meegenomen om de installaties en gebouwen zodanig te ontwerpen en te positioneren dat de blootstelling beperkt is' [53].

In Italië is een voorstel voor een 'framework law' met betrekking tot blootstelling aan elektromagnetische velden bij het parlement ingediend. In het originele concept van deze wet worden drie soorten niveaus voor blootstelling onderscheiden: blootstellingslimieten, attentieniveaus ('attention levels') en kwaliteitsdoelstellingen ('quality goals'). De blootstellingslimieten zijn gedefinieerd als immissieniveaus van elektromagnetische velden die in geen geval kunnen worden overschreden. De attentieniveaus zijn immissieniveaus die niet kunnen worden overschreden in de woonomgeving en zijn expliciet gedefinieerd als waarschuwniveaus voor langetermijneffecten. Kwaliteitsdoelen zijn emissieniveaus gebaseerd op het voorzorgprincipe ter bescherming tegen mogelijke langetermijneffecten. Voor magnetische velden met een frequentie van 50 Hz bedragen de blootstellingslimieten, attentieniveaus en kwaliteitsdoelstellingen respectievelijk 100, 0,5 en 0,2  $\mu\text{T}$  [54].

In Zwitserland geldt sinds 1 februari 2000 de 'Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung' (NISV) [55]. Hierin wordt de effectieve waarde voor de magnetische fluxdichtheid voor hoogspanningslijnen met een spanning van minimaal 1 kV vastgesteld op 1  $\mu\text{T}$  bij een vooraf bepaalde maatgevende bedrijfstoestand waarbij o.a. alle lijnen tegelijkertijd worden belast. Daarnaast worden er 'gevoelige' gebieden gedefinieerd. Dit zijn ruimten in gebouwen waar zich regelmatig personen gedurende langere tijd kunnen bevinden, openbare of particuliere speelplaatsen of op onbebouwde plaatsen waar deze activiteiten zijn toegestaan. Voor nieuwe installaties bij 'gevoelige' gebieden moet de grenswaarde van 1  $\mu\text{T}$  in acht worden genomen. De overheid kan hierop uitzonderingen maken als de eigenaar van de installatie kan aantonen dat de fasevolgorde zodanig is geoptimaliseerd dat de magnetische fluxdichtheid buiten het lijntracé in de maatgevende bedrijfstoestand geminimaliseerd wordt en alle andere maatregelen ter beperking van de blootstelling die technisch mogelijk en economisch verantwoord zijn, zijn getroffen. Voor reeds bestaande installaties bij 'gevoelige' gebieden moet de fasevolgorde zodanig geoptimaliseerd worden dat de magnetische fluxdichtheid in die gebieden binnen een saneringstermijn van ten hoogste 3 jaar wordt geminimaliseerd.

In Duitsland worden in juni 2001 de vigerende richtlijnen voor blootstelling van de algemene bevolking herzien. De Duitse overheid zal dan bezien of lagere blootstellingslimieten zullen worden gehanteerd of dat het voorzorgprincipe breder zal worden uitgedragen, vooral voor blootstelling aan 50 Hz-velden in 'gevoelige gebieden' zoals scholen en ziekenhuizen. Mogelijk zal de voornoemde Zwitserse 'Verordnung' hierbij als leidraad dienen. De publieke onrust heeft de discussie over toepassing van het voorzorgprincipe aangezwengeld, in het bijzonder met betrekking tot de cumulatieve blootstelling van kinderen [56].

Kroatië werkt aan een nieuwe verordening voor blootstelling aan ELF velden, eveneens gebaseerd op de verordening uit Zwitserland met 'gevoelige gebieden' zoals kleuterscholen, scholen en ziekenhuizen. Ook naburig Slovenië werkt aan regelgeving op basis van de verordening in Zwitserland [56].

In maart 2001 heeft de Advisory Group on Non-Ionising Radiation (AGNIR) van NRPB een rapport uitgebracht over de mogelijke risico's op kanker door blootstelling aan ELF elektromagnetische velden [35]. AGNIR komt tot de conclusie dat in afwezigheid van een duidelijk bewijs voor een carcinogeen effect bij volwassenen en van een plausibele verklaring uit experimenten met dieren of geïsoleerde cellen, het epidemiologische bewijs tot nu toe niet



sterk genoeg is om een stellige conclusie dat deze velden leukemie bij kinderen veroorzaken, te rechtvaardigen. De mogelijkheid blijft echter bestaan dat intense en langdurige blootstelling aan magnetische velden het risico op leukemie bij kinderen kan verhogen, tenzij later onderzoek aangeeft dat de gevonden verhoging toe te schrijven is aan toeval of een artefact dat tot nu toe niet is geïdentificeerd. NRPB zag op basis van deze conclusies geen aanleiding om blootstellingslimieten, gebaseerd op het voorkómen van bekende negatieve gezondheidseffecten, aan te passen [43].