

Onzekerheden en aannames in kwantitatieve analyse gezondheidsrisico van hoogspanningslijnen



A. de Jong, J.A. Wardekker, J.P. van der Sluijs

Department of Science, Technology and Society
Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation
Universiteit Utrecht, Utrecht

Mei 2010

Rapport in opdracht van: Kennisplatform Elektromagnetische Velden

Report NWS-E-2010-39
ISBN: 9789086720446

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| INHOUDSOPGAVE | 1 |
| INLEIDING | 2 |
| 1. ONZEKERHEDEN IN DE REKENKETEN | 4 |
| 1.1 ONZEKERHEIDSTYPOLOGIE: UITWERKING PER LOCATIE..... | 6 |
| <i>Locatie: context</i> | 6 |
| <i>Locatie: modelstructuur</i> | 7 |
| <i>Locatie: parameters</i> | 10 |
| <i>Locatie: input data</i> | 11 |
| 1.2 ONZEKERHEIDSTYPOLOGIE: AARD EN NIVEAU | 13 |
| 1.3 RESULTATEN ONZEKERHEDEN..... | 14 |
| 2. EEN KRITISCHE ANALYSE VAN DE AANNAMES VOORAFGAAND AAN EN IN DE REKENKETEN | 15 |
| 2.1 AANNAMEN VOORAFGAAND AAN DE REKENKETEN | 15 |
| 2.2 AANNAMEN IN DE REKENKETEN | 16 |
| <i>Schatting zones rond hoogspanningslijnen voor veldsterkte-intervallen</i> | 16 |
| <i>Bepaling aantal woningen in elke zone</i> | 17 |
| <i>Omrekening naar aantal bewoners in elke zone</i> | 18 |
| <i>Omrekening naar aantal kinderen in elke zone</i> | 18 |
| 2.3 PRIORITERING EN KARAKTERISERING AANNAMES..... | 18 |
| <i>Causaal verband blootstelling en kinderleukemie</i> | 22 |
| <i>Hoogspanningslijnen als belangrijkste differentiërende bron</i> | 23 |
| <i>Hoogte (langdurig) gemiddelde veroorzaakt effect</i> | 24 |
| <i>Thresholdwaarde</i> | 25 |
| <i>Gemiddelde stroom tijdens de ontwikkeling van kinderleukemie</i> | 26 |
| <i>Biologisch relevante dosis</i> | 27 |
| <i>Zonebreedte individuele lijnen</i> | 28 |
| <i>Verstorende variabelen</i> | 29 |
| 3. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 31 |
| 3.1 ONZEKERHEDEN IN DE REKENKETEN..... | 31 |
| 3.2 AANNAMES IN DE REKENKETEN | 31 |
| <i>Hoge invloed, Hoge waardegeladenheid</i> | 33 |
| <i>Lage invloed, Hoge waardegeladenheid</i> | 34 |
| <i>Lage invloed, Lage waardegeladenheid</i> | 34 |
| <i>Hoge invloed, Lage waardegeladenheid</i> | 34 |
| 3.3 SLOTBESCHOUWING..... | 34 |
| LITERATUUR | 36 |
| BIJLAGE I | |
| BIJLAGE II | |

Inleiding

In 2000 concludeerde de Nederlandse Gezondheidsraad op basis van de gepoolde analyses van Ahlbom *et al.* (2000) en Greenland *et al.* (2000) 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' (Gezondheidsraad, 2001). Gebruikmakend van schattingen voor het aantal woningen in diverse contouren van het magnetisch veld rond hoogspanningslijnen, heeft het RIVM de relatieve risico's van de beide pooled analyses omgerekend naar een jaarlijks aantal extra gevallen leukemie bij kinderen in Nederland (Van der Plas *et al.*, 2001; Pruppers, 2003). Geconcludeerd werd dat de aanwezigheid van hoogspanningslijnen, mits er een oorzakelijk verband bestaat tussen blootstelling aan magnetische velden en het krijgen van leukemie door kinderen, jaarlijks verantwoordelijk is voor 0.4 – 0.5 extra gevallen leukemie (op een totaal van 110 gevallen per jaar).

De Nederlandse rijksoverheid heeft op grond van ondermeer deze studies beleid geformuleerd op basis van het voorzorgsbeginsel. In een advies aan lokale overheden adviseert de Staatssecretaris VROM "*...om bij de vaststelling van streek- en bestemmingsplannen en van de tracés van bovengrondse hoogspanningslijnen, dan wel bij wijzigingen in bestaande plannen of van bestaande hoogspanningslijnen, zo veel als redelijkerwijs mogelijk is te vermijden dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig verblijven in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger is dan 0.4 microtesla (de magneetveldzone)*" (VROM, 2005). Het advies is formeel niet bindend maar in de praktijk is in voornoemde gevallen een zorgvuldige en expliciete afweging op basis van het redelijkheids criterium vereist en kan slechts in uitzonderlijke gevallen en goed beargumenteerd van het advies worden afgeweken. In een latere brief (VROM 2008) heeft de Minister dit beleid verduidelijkt door een aantal begrippen (ondermeer "langdurig verblijf", "gevoelige bestemming" en "bestaande situatie") nader te preciseren.

In Nederland is in 2008 in opdracht van minister Cramer van VROM het Kennisplatform Elektromagnetische Velden en Gezondheid opgericht. Het Kennisplatform heeft als doel om burgers en werknemers te helpen wetenschappelijk onderzoek over elektromagnetische velden en gezondheid te begrijpen en op waarde te schatten. Het Kennisplatform bundelt instellingen die kennis hebben van elektromagnetische velden met de organisaties die de eerstelijns contacten hebben over dit onderwerp: RIVM, TNO, KEMA, de GGD'en, Agentschap Telecom en ZonMw. Ze geeft regelmatig kennisberichten uit. Zo bracht zij in september 2009 het kennisbericht Hoogspanningslijnen en kinderleukemie uit (Kennisplatform EMV, 2009). Ze concludeerde ondermeer dat als wordt aangenomen dat het magnetische veld van bovengrondse hoogspanningslijnen de oorzaak is van de waarneming dat bij kinderen die langdurig in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen wonen kinderleukemie iets vaker voorkomt, dan zou dat voor Nederland betekenen dat ongeveer één kind per twee jaar hierdoor leukemie krijgt. Kinderen in de buurt van hoogspanningslijnen hebben dan een twee maal zo grote kans op leukemie als andere kinderen. In totaal krijgen in een periode van twee jaar gemiddeld 270 kinderen in Nederland leukemie.

De risicostudies naar elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen en kinderleukemie bevatten echter tal van onzekerheden en aannames. Deze onzekerheden en aannames bevinden zich zowel in de studies die leidden tot een waarde voor het Relatief Risico voor kinderen die in de omgeving van hoogspanningslijnen wonen, als ook in de rekenketen die door het RIVM is opgesteld om tot een getal te komen voor het extra aantal gevallen kinderleukemie

in de buurt van hoogspanningslijnen in Nederland. Het doel van deze studie is om onzekerheden en aannames in de bestaande risicostudies systematisch in kaart te brengen en kritisch tegen het licht te houden. Dit leidt enerzijds tot een lijst van onderzoeksprioriteiten en anderzijds tot inzichten in de sterke en zwakke plekken in de thans beschikbare kennis. Bovendien is meer inzicht in de onzekerheden en aannames van de risicostudies noodzakelijk bij het adequaat communiceren over onzekerheid naar direct betrokkenen bij dit onderwerp (beleidsmakers, burgers).

De doelstelling voor dit project is drieledig:

- a. Het inventariseren van de onzekerheden en aannames in de bestaande risicostudies die leiden tot het door het RIVM berekende extra aantal gevallen kinderleukemie door de aanwezigheid van hoogspanningslijnen;
- b. Het prioriteren en karakteriseren van de aannames voorafgaand aan en in de door het RIVM ontwikkelde rekenketen;
- c. Op basis van de bevindingen wordt advies gegeven aan het Kennisplatform Elektromagnetische Velden over het communiceren van onzekerheid rondom magnetische velden van hoogspanningslijnen en het optreden van kinderleukemie.

In hoofdstuk 1 worden de bronnen van onzekerheid in de door het RIVM ontwikkelde rekenketen ter bepaling van het potentieel aantal extra gevallen kinderleukemie in kaart gebracht. Op deze casus wordt de door Knol *et al.* (2009) aangepaste variant van de onzekerheidstypologie van Walker *et al.* (2003) toegepast, die voor de onzekerheden ondermeer locatie, niveau en aard onderscheidt. Het resultaat is een geprioriteerde lijst van de belangrijkste bronnen van onzekerheid, ingedeeld naar locatie, niveau en aard.

In hoofdstuk 2 worden de aannames voorafgaand aan en in de rekenketen systematisch geïdentificeerd op basis van documentanalyse en interviews met betrokken experts. Hierna is in een workshop eerst door de workshopdeelnemers een individuele ranking gemaakt van de top-9 aannames die meest doorwerken in het eindresultaat van de rekenketen. Deze rankings zijn samengevoegd tot een groepsranking. De 9 belangrijkste aannames zijn door de deelnemers individueel gescoord op 7 criteria voor het karakteriseren van aannames in rekenketens (Craye *et al.* 2009).

Tenslotte volgen in hoofdstuk 3 conclusies betreffende de onzekerheden en aannames, als ook advies over de communicatie van het Kennisplatform Elektromagnetische Velden hiervan naar betrokkenen toe.

1. Onzekerheden in de rekenketen

Het RIVM heeft in opdracht van VROM een studie uitgevoerd om het potentieel aantal extra jaarlijkse gevallen van kinderleukemie door de aanwezigheid van hoogspanningslijnen te becijferen, voor het scenario waarbij wordt aangenomen dat er sprake is van een causaal verband met elektromagnetische velden (EMV) als causaal agens (Van der Plas *et al.*, 2001). Op de door het RIVM (2001, 2003) ontwikkelde rekenketens ter bepaling van het potentieel aantal extra gevallen kinderleukemie door de aanwezigheid van hoogspanningslijnen wordt een onzekerheidsmatrix toegepast.

De onzekerheidstypologie van Walker *et al.* (2003) onderscheidt ondermeer locatie, niveau en aard van onzekerheden. Op de rekenketen wordt de door Knol *et al.* (2009) ontwikkelde variant toegepast. Het resultaat is een geprioriteerde lijst van de belangrijkste onzekerheden, ingedeeld naar locatie, niveau en aard.

De studie *Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen* (Van der Plas *et al.*, 2001) en de herberekening twee jaar later *Blootstelling aan extreem laag frequente elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen* (Pruppers, 2003) maken gebruik van een rekenketen om tot een schatting te komen van het potentieel aantal extra gevallen kinderleukemie. De herberekening van 2003 is gedaan met dezelfde rekenketen, maar met geactualiseerde gegevens voor de zonebreedtes van het elektromagnetisch veld rond hoogspanningslijnen en nieuwe schattingen van het aantal kinderen in deze zones. Deze rekenketen is ontwikkeld in Van der Plas *et al.* (2001), en telt 5 onderscheiden stappen:

- Schatting zones rond hoogspanningslijnen voor veldsterkte-intervallen
- Bepaling aantal woningen in elke zone
- Omrekening naar aantal bewoners in elke zone
- Omrekening naar aantal kinderen in elke zone
- Toepassing "Relative Risk" voor elk veldsterkte interval op berekend aantal blootgestelde kinderen in die zone

Voor het berekenen van zonebreedtes bij diverse waarden voor het magnetisch veld baseert Van der Plas *et al.* (2001) zich op een KEMA-studie, waarin voor vier voorkomende typen hoogspanningslijnen en verschillende transportcapaciteiten magnetische velden berekend zijn (Koops, 1999). Hierbij is zowel voor een minimale als een maximale afstand van de hoogspanningslijn een schatting gemaakt van de te verwachte veldsterkte. Vervolgens is voor elk interval voor het magnetisch veld (oplopend van 0.1-0.2 μT tot $>0.8 \mu\text{T}$) een schatting gemaakt van het aantal aanwezige kinderen, gebaseerd op het combineren van een digitaal bestand met de ligging van de vier typen hoogspanningslijnen (uit 1990) met een woningenbestand (locaties woningen in 1998). De uitkomst is een tabel met voor elke categorie van het magnetisch veld een lage en hoge schatting van het aantal aanwezige kinderen.

Voor elke categorie is het toegevoegd individueel risico berekend, gebruik makend van het relatief risico uit Ahlbom *et al.* (2000) en Greenland *et al.* (2000); dit is gecombineerd met het aantal kinderen in desbetreffende categorie.

In 2002 is een studie uitgevoerd door KEMA/RIVM naar de effecten en kosten van technische maatregelen. In dit onderzoek is een nieuw digitaal bestand gecreëerd, met daarin de locatie van alle hoogspanningslijnen per 1 januari 2002. Per lijn is een berekening gemaakt van de afstand tussen de hartlijn en de plaats van diverse waarden voor de magnetische veldsterkte (Stuurman en Van Wolven, 2002; Janssen en Ross, 2002).

Individuele lijnen zijn in dit onderzoek na het uitvoeren van een uitvoerige gevoeligheidsanalyse gestandaardiseerd: de oorspronkelijke 303 lijnen zijn teruggebracht naar 45 standaarden. Op het niveau van de individuele lijn werd in het vervolg doorgerekend met de meest bijpassende standaardlijn, gecombineerd met enkele cruciale parameters (zoals stroomsterkte, aantal circuits etc.) gebaseerd op de individuele lijn.

Hiernaast zijn in dit onderzoek (Kelfkens *et al.*, 2002) op basis van de coördinaten van alle hoekmasten met behulp van een woningenbestand het aantal woningen bepaald in stappen van 10m tot op 200m aan weerszijden van de hoogspanningslijnen.

Deze beide gegevens, de nieuwe schattingen voor het magnetisch veld en de nieuwe schatting voor het aantal blootgestelde kinderen, zijn gecombineerd tot een nieuwe schatting voor het aantal kinderen in diverse categorieën van het magnetisch veld. Voor elke categorie is opnieuw het toegevoegd individueel risico berekend (Pruppers, 2003), en gecombineerd met het aantal kinderen in desbetreffende categorie.

Deze rekenketen wordt beschouwd als het model waarop de onzekerheidstypologie wordt toegepast.

De typologie (tabel 1.1) is beschreven in Knol *et al.* (2009) en onderscheidt voor elke (bron van) onzekerheid in het model zes karakteristieken: locatie, aard, range, onwetendheid, methodologische onbetrouwbaarheid en waardendiversiteit tussen onderzoekers. Deze zes karakteristieken van onzekerheid worden in dit onderzoek voor elk van de bronnen van onzekerheid in de rekenketen verder uitgewerkt.

De *locatie* geeft aan waar in het rekenmodel de onzekerheid tot uitdrukking komt. Er wordt onderscheid gemaakt tussen context (de gedefinieerde grenzen van het rekenmodel), modelstructuur (de (causale) structuur van het gemodelleerde systeem), parameters (de constanten die de relaties in het rekenmodel beschrijven) en input data. In het onderzoek zijn de resultaten van de onzekerheidskarakterisering gegroepeerd in één van deze locaties.

De *aard* van de onzekerheid geeft aan of de onderliggende oorzaak van de onzekerheid te maken heeft met onvolledigheid van de beschikbare kennis (epistemische onzekerheid) of met de intrinsieke eigenschappen van het bestudeerde systeem (ontische onzekerheid).

De *range* geeft een kwantitatieve schatting van de onzekerheid. Dit betreft ofwel statistische onzekerheid, waarbij de onzekerheid statistisch uitgedrukt kan worden (als een range met een bijbehorende waarschijnlijkheid), ofwel scenario onzekerheid, waarbij de onzekerheid niet statistisch uitgedrukt kan worden, maar weergegeven wordt in verschillende scenario's.

Onwetendheid geeft aan dat er wel bekend is dat er onzekerheden zijn, maar dat er geen adequate schatting gegeven kan worden van de grootte van deze onzekerheden en dat de *range* daarom slechts een partieel beeld geeft van de onzekerheid.

Methodologische onbetrouwbaarheid geeft aan of er onzekerheid is over methodologische kwaliteit van bijvoorbeeld de input data van de rekenketen, of de berekeningen die gebruikt zijn om tot het eindresultaat te komen.

Waarde-diversiteit tussen onderzoekers tenslotte, heeft te maken met de vrijheid die onderzoekers soms hebben om tussen bepaalde alternatieven in bijvoorbeeld de onderzoeksofzet te kiezen. De keuze die dan gemaakt wordt, kan de achterliggende waarden en preferenties van de onderzoeker weerspiegelen en heeft vaak invloed op de uitkomst van de studie.

De onzekerheidstypologie is weergegeven in Tabel 1.1.

| Karakteristieken onzekerheid | Categorieën |
|---|--|
| Locatie: de locatie in het rekenmodel waar de onzekerheid tot uitdrukking komt | Context: de grenzen van het rekenmodel, gebaseerd op keuzen betreffende systeemgrenzen en -definities |
| | Model structuur: de structuur en vorm van de relaties binnen de modelvariabelen die het systeem beschrijven |
| | Parameters: constanten in functies die de relaties in het rekenmodel bepalen |
| | Input data: input data sets in het rekenmodel |
| Aard: de onderliggende oorzaak van de onzekerheid | Epistemisch: onzekerheid door onvolledige kennis |
| | Ontisch: onzekerheid door de intrinsieke eigenschappen van het systeem |
| Range: een kwantitatieve schatting van de onzekerheid | Statistisch: mogelijke uitkomsten gerelateerd aan waarschijnlijkheden |
| | Scenario: een set van mogelijke uitkomsten (paden) |
| Onwetendheid: onzekere uitkomsten, onzekere waarschijnlijkheden – het is bekend dat er onzekerheden zijn, maar er kan geen schatting gegeven worden van de grootte ervan | |
| Methodologische onbetrouwbaarheid: onzekerheid betreffende de methodologische kwaliteit binnen de input data van de rekenketen, en de berekeningen binnen de rekenketen | |
| Waarde-diversiteit tussen onderzoekers: Mogelijke waardegeladenheid van aannamen die (tot op zekere hoogte) arbitraire beslissingen bij onderzoekers met zich meebrengen | |

Tabel 1.1: Typologie van onzekerheid. Bron: Knol *et al.* 2009, aangepast

1.1 Onzekerheidstypologie: uitwerking per locatie

In het navolgende bespreken we de resultaten van de onzekerheidskarakterisering gegroepeerd per locatie. Elke locatie wordt eerst toegelicht, daarna wordt besproken welke onzekerheden van de EMV casus op deze locatie in de rekenketen een rol spelen.

Locatie: context

Context onzekerheid heeft temaken met keuzen die gemaakt worden over systeemgrenzen en -definities. De resultaten van een berekening of beoordeling kunnen erg gevoelig zijn voor de keuzes die hierin gemaakt zijn. Om met dit type onzekerheid om te gaan moeten systeemgrenzen worden geïdentificeerd, bediscussieerd, adequaat gerapporteerd en consistent gebruikt (Knol *et al.*, 2009). Hierna kan een gevoeligheidsanalyse helpen ontdekken welke bronnen van onzekerheid het meeste invloed hebben op de uitkomsten aan het eind van de rekenketen, in dit geval het aantal extra gevallen van kinderleukemie per jaar in Nederland dat toe te schrijven is aan hoogspanningslijnen.

1. Hoogspanningslijnen zijn niet de enige belangrijke bron van blootstelling aan van elektromagnetische straling

Sommige onderzoeken gebruiken gemeten veldsterktes (totale veldsterkte in woning) en sommigen gebruiken berekende veldsterktes (alleen de bijdrage van één externe bron – vooral hoogspanningslijnen). Deze laatste geeft dus een onderschatting van de werkelijke veldsterkte in een woning (Gezondheidsraad, 2001). LCM (2005) haalt enkele Britse en Duitse onderzoeken aan waaruit bleek dat slechts voor 25-30% van de woningen waar een gemiddelde veldsterkte boven de 0.4µT werd gemeten, dit te wijten is aan een externe bron, zoals een hoogspanningslijn.

Deze onzekerheid is epistemisch¹ van aard, de onzekerheid kan door middel van metingen worden weggenomen. Door middel van scenario's kunnen de gevolgen van de onzekerheid over het aandeel van hoogspanningslijnen binnen het totaal aan bronnen worden verkend. Er is geen onwetendheid over deze onzekerheid. Gezien de kwalificatie als scenario-onzekerheid, spelen zowel methodologische onbetrouwbaarheid als waarde-diversiteit een rol.

2. Kanker wordt pas na enkele jaren geconstateerd en is een kans-proces: niet elke blootstelling aan een carcinogeen leidt ook daadwerkelijk tot kanker; het effect (kinderleukemie) is stochastisch van aard.

De cases uit de verschillende epidemiologische studies leggen mogelijk een verkeerdt verband.

De onzekerheid is ontisch van aard, door het stochastische karakter van het optreden van het effect. De onzekerheid kan met een statistische onzekerheidsrange worden weergegeven. Er is geen onwetendheid over het stochastische karakter.

3. De oorzaken van kinderleukemie zijn grotendeels onbekend. Wel zijn er (omgevings)factoren bekend die het risico op leukemie vergroten.

De mechanismen verantwoordelijk voor het ontwikkelen van leukemie zijn grotendeels onbekend. De associatie met veel van de (omgevings)factoren (waaronder niet-ioniserende straling, pesticiden en alcoholgebruik) is zwak en inconsistent; alleen voor ioniserende straling is een duidelijk verband aangetoond.

De onzekerheid is epistemisch van aard: de mechanismen die tot leukemie leiden kunnen (in theorie) gevonden worden door wetenschappelijk onderzoek. Gezien het feit dat aangenomen wordt dat elektromagnetische straling één van de oorzaken kan zijn van leukemie bij kinderen, is er sprake van scenario-onzekerheid. Ook is er erkende onwetendheid betrokken.

Locatie: modelstructuur

Modelstructuur onzekerheid heeft te maken met de (causale) structuur van het gemodelleerde systeem. Er kunnen verschillende opvattingen zijn over de dominante variabelen en de causale relaties en interacties zoals ze in het model worden gerepresenteerd. De achtergrond van deze verschillende opvattingen is vaak tegenstrijdige of afwezigheid van kennis. Nader onderzoek kan het begrip van het model verbeteren en zo de onzekerheid verkleinen. Ook kunnen gevoeligheidsanalyses gedaan worden met het bestaande model om de relatieve belang van verschillende aannames in het model te ontdekken. (Knol *et al.*, 2009).

4. Er is geen uitsluitel over de causaliteit van elektromagnetische straling voor het veroorzaken van kinderleukemie; wat gevonden is, is een (zwakke) statistische associatie.

Gesuggereerd wordt dat kinderen meer gevoelig zijn voor sommige/alle straling uit het elektromagnetisch spectrum (Kheifets *et al.* 2005); studies hierover zijn echter niet robuust, niet reproduceerbaar of niet consistent. Deze causaliteit is de belangrijkste aanname van het RIVM rekenmodel

¹ Epistemologie is een tak van de filosofie die de aard, oorsprong, beperkingen en geldigheid van menselijke kennis bestudeert. Epistemische onzekerheden komen voort uit de beperktheid van onze kennis. Daar tegenover staan ontische onzekerheden die volgen uit de aard van het bestudeerde systeem en niet uit onze beperkte kennis over dat systeem.

(Van der Plas *et al.* 2001), en onder deze aanname is het potentieel aantal extra gevallen kinderleukemie berekend.

In principe is deze onzekerheid epistemisch van aard: de causaliteit kan naar verwachting door verder onderzoek bevestigd of afgewezen worden. De onzekerheid kan weergegeven worden in scenario's (er is ofwel causaliteit, ofwel niet). Hierbij speelt onwetendheid een grote rol, aangezien sinds Wertheimer en Leeper (1979) veel onderzoek gedaan is naar de biologische mechanismen die causaliteit aan zouden tonen, maar dit verband tot op heden nog niet aangetoond is. De keuze voor een bepaalde methode heeft veel invloed; evenals de waarde-diversiteit (gezien het karakter van deze onzekerheid als scenario onzekerheid).

5. Het is onbekend hoe groot de blootstelling is aan elektromagnetische straling ten gevolge van elektrische apparatuur (Van der Plas *et al.* 2001; Kelfkens, 2005; LCM, 2005)

Door te focussen op hoogspanningslijnen (als dominante variabele) worden mogelijk andere belangrijke bronnen onterecht uitgesloten. Kelfkens (2005) noemt als beste schatting voor de bijdrage van huishoudelijke apparatuur een derde deel. Andere mogelijke bronnen zijn, naast hoogspanningslijnen, bijvoorbeeld transformatorhuisjes, vervoer en bedrading. Ook de HSL en Betuwelijn zijn niet opgenomen als bronnen van EMV. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze overige bronnen alleen meegenomen zijn in de gemeten waarden die ten grondslag liggen aan de oorspronkelijke bepaling van het relatief risico. In de studies met berekende waarden, en de berekende zones met verschillende magnetische veldsterkten zijn deze bronnen niet meegenomen.

De onzekerheid is epistemisch van aard (vgl. onzekerheid #1). Met behulp van een statistische range kan de onzekerheid over andere bronnen worden weergegeven. Er bestaat onwetendheid over de bijdrage aan de blootstelling van andere bronnen dan hoogspanningslijnen.

6. De exacte vorm van de eventuele blootstelling-responsrelatie (Van der Plas *et al.*, 2001; Greenland en Kheifets, 2006) is onbekend

In de gepoolde analyses van Greenland *et al.* (2000) en Ahlbom *et al.* (2000) zijn de onzekerheidsmarges in de blootstelling-responsrelatie zo groot dat het met verschillende relaties (lineair, exponentieel etc.) beschreven kan worden.

De onzekerheid is epistemisch van aard: door het uitvoeren van meer studies (met meer samples) kan de vorm van de blootstellings-responsrelatie nader gepreciseerd worden. De onzekerheid over deze vorm kan met behulp van verschillende scenario's weergegeven worden (i.e. threshold/ no threshold, etc.). Doordat het proces van blootstelling-respons niet (goed) begrepen wordt, is de vorm onbekend (onwetendheid). Waarde-diversiteit speelt een rol bij het kiezen van een bepaald scenario.

7. Kanker wordt pas na enkele jaren geconstateerd en is een kans-proces: niet elke blootstelling aan een carcinogeen leidt ook daadwerkelijk tot kanker; het effect (kinderleukemie) is stochastisch van aard.

De cases uit de verschillende epidemiologische studies leggen mogelijk een verkeerd verband.

De onzekerheid is ontisch van aard, door het stochastische karakter van het optreden van het effect. De onzekerheid kan met een statistische

onzekerheidsrange worden weergegeven. Er is geen onwetendheid over het stochastische karakter.

8. De gevonden associatie is mogelijk te wijten aan de tussenkomst van versturende variabelen (confounding).

Versturende variabelen zijn een vorm van bias en zijn uitgebreid onderzocht (Mezei en Kheifets, 2006). Verstoring kan optreden wanneer er een associatie is tussen de (vermeende) causale factor en een factor die een positieve of negatieve associatie heeft met het voorkomen van kinderleukemie (Reparcholie en Cardis, 1997). Kheifets en Shimkhada (2005) noemen in een review enkele mogelijke versturende variabelen, zoals sociaal-economische status, tabaksrook, voedselagens, type en verkeersdichtheid. Voor geen van deze variabelen is echter verstoring van de associatie gevonden, hoewel sommigen als potentieel risico werden geïdentificeerd. De kennis over de oorzaken van leukemie is gelimiteerd, en sterke risicofactoren zijn niet bekend (Belson *et al.* 2007). Mogelijk bestaan er nog onbekende versturende variabelen, of is verstoring te wijten aan het samengaan van verschillende variabelen (Kheifets en Shimkhada 2005). Ahlbom *et al.* (2000) heeft in zijn meta-analyse onder andere de volgende versturende variabelen onderzocht: leeftijd, sexe, stad/platteland, sociaal-economische status en verkeersuitstoot; geen van deze variabelen wijzigden het Relatief Risico (RR) echter met meer dan 2%. Overall concluderen Mezei en Kheifets (2006) dat geen enkele versturende variabele, of set van variabelen, is gevonden die de associatie zou kunnen verklaren.

In theorie is deze onzekerheid epistemisch: door het doen van verder onderzoek (en op basis van reeds gedaan onderzoek) kunnen mogelijk versturende variabelen uitgesloten worden. Het effect van versturende variabelen kan middels een statistische range weergegeven worden (als in Ahlbom *et al.* (2000)). Onwetendheid over mogelijke confounders speelt een rol, evenals de gekozen methode in epidemiologische studies en waarde-diversiteit bij onderzoekers.

9. De periode in de ontwikkeling van een kind waarin de blootstelling aan magnetische velden bepalend zou kunnen zijn voor een mogelijk verhoogd risico is niet bekend

De metingen van het magnetische veld vinden soms plaats na de diagnose, ook al is het kind verhuisd. Soms worden alleen kinderen in de analyse opgenomen die minimaal een jaar voor de diagnose in hetzelfde huis woonden. De onderzoeken waarin het magnetische veld wordt berekend, gaan uit van de jaargemiddelde stroom, meestal in het jaar voor de diagnose. Maar de cruciale periode voor blootstelling kan verder terug in de tijd liggen. (Kelfkens en Pruppers, 2007)

De onzekerheid is epistemisch van aard, en kan met een statistische range weergegeven worden. Evenals bij de onwetendheid betreffende de causaliteit (Onzekerheid #3) is de onwetendheid over het relevante proces groot. De onzekerheid is gevoelig voor de keuze voor een bepaalde methodologie. Waarde-diversiteit tussen onderzoekers speelt geen rol.

10. De relatie met kinderleukemie wordt aangenomen op basis van een tijdsgemiddeld magnetisch veld. Het is echter onzeker of dit de bepalende factor is voor het effect

De relevante blootstelling aan het magnetisch veld wordt geschat op basis van een gemiddeld magnetisch veld over een bepaalde periode. Onzeker is of de relatie met kinderleukemie gebaseerd moet worden op een

tijdsgemiddeld magnetisch veld, of bijv. op basis van blootstelling aan pieken boven een zekere drempelwaarde. (Kelfkens en Pruppers, 2007)

De onzekerheid is epistemisch van aard; door metingen van het magnetisch veld anders uit te voeren, kan op andere manieren onderzoek gedaan worden naar de relatie tussen magnetisch veld en kinderleukemie. De onzekerheid is een vorm van scenario onzekerheid, en leidt dan ook tot waarde-diversiteit tussen onderzoekers. Er is onwetendheid met betrekking tot het schadelijke agens van het magnetisch veld, en de onzekerheid wordt voor een gedeelte bepaald door de gebruikte methode.

Locatie: parameters

Parameters zijn de constanten in functies die de relaties tussen variabelen beschrijven. Deze parameters zijn ofwel beschrijvend ofwel normatief (Knol *et al.*, 2009). Een belangrijke parameter voor hoogspanningslijnen in relatie tot kinderleukemie is het Relatief Risico. Deze volgt uit meta-analyses van verschillende studies. De studies waarop deze meta-analyses gebaseerd zijn kunnen zelf een bron van onzekerheid zijn. Deze parameters kunnen met statistische analyse nader worden bekeken (Knol *et al.*, 2009).

11. Onzekerheid betreffende Relatief Risico (RR) als functie van veldsterkte

Aangezien de vorm van de eventuele blootstellings-responsrelatie onbekend is, is de parameter Relatief Risico een onzekere factor. De berekende RR's in de veldsterkteklassen van Ahlbom *et al.* (2000) en Greenland *et al.* (2000) vallen binnen een 95%-betrouwbaarheidsinterval. In de rekenketen is verder doorgerekend met dit hele interval.

De onzekerheid kan zowel epistemisch (te verkleinen/ uit te sluiten door nader onderzoek naar de blootstellings-responsrelatie) als ontisch (als gevolg van de heterogeniteit van de populatie) zijn. De onzekerheid is weer te geven in een statistische range.

12. De sample-omvang van de hogere blootstellingscategorieën is klein. Deze cases beïnvloeden het RR in sterke mate.

In de studie van Ahlbom *et al.* (2000) zijn er voor de hoogste blootstellingscategorie 44 cases op een totaal van 3247 cases. In de studie van Greenland *et al.* (2000) gaat het om 99 cases in de hoogste blootstellingscategorie ($> 0.3 \mu\text{T}$) op een totaal van 2656 cases. De grenswaarden van het 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn voor de hoogste blootstellingscategorieën erg breed, wat duidt op een lage(re) betrouwbaarheid.

De onzekerheid is epistemisch van aard, en te verkleinen / uit te sluiten door het werken met een grotere sampleomvang; zoals uitgewerkt in de studies van Ahlbom *et al.* (2000) en Greenland *et al.* (2000) is deze onzekerheid statistisch van aard. Het is onbekend hoeveel cases er in totaal zijn. De onzekerheid berust vooral op de gebruikte methode.

13. Gebrekkige en/of onjuiste metingen.

Bij het schatten van de model parameters door calibratie is gebruikgemaakt van metingen van beperkte kwaliteit.

14. Onzekerheid over het aantal blootgestelde kinderen:

Bij het schatten van de model parameters door calibratie is gebruikgemaakt van incomplete en onbetrouwbare gegevens over het aantal blootgestelde kinderen in de afzonderlijke studies.

Locatie: input data

Onzekerheid in input data kan voorkomen door een gebrek aan data (of een gebrek aan data van een goede kwaliteit), inaccurate metingen, of geëxtrapolerde data; deze onzekerheid wordt vaak statistisch weergegeven.

15. De blootstellingsmaat is indirect; het is onzeker hoe betrouwbaar deze blootstellingsmaat is.

De gepoolde analyses gebruiken gegevens van een aantal afzonderlijke epidemiologische studies. De waarden voor het magnetisch veld zijn gemeten of berekend (Kheifets en Shimkhada, 2005).

De gemeten waarden in deze studies voor het magnetisch veld zijn om verschillende redenen onzeker. Metingen vinden plaats door a) surveys van magnetisch veld, of b) representatieve case-control studies (Greenland en Kheifets, 2006). In deze studies kan responsbias een rol spelen, wanneer participatie van mensen gevraagd wordt. Bij surveys van het magnetisch veld dienen de metingen specifiek gericht te zijn op de blootstelling van kinderen. Tenslotte kunnen de metingen gebrekkig en/of onjuist zijn.

De studies van Ahlbom *et al.* (2000) en Greenland *et al.* (2000) richten zich specifiek op het magnetisch veld van hoogspanningslijnen. Bij metingen worden echter andere bronnen ook meegenomen. Wanneer er een verband is tussen kinderleukemie en blootstelling aan een magnetisch veld, zijn surveys of case-control studies onvolledig omdat ze geen schatting geven van de relevante life-time blootstelling van kinderen.

En tenzij het langdurige metingen betreft, geven ze ook de tijdelijke variatie van blootstelling niet juist weer. (Kleinerman *et al.*, 1997)

De tweede optie om tot waarden voor blootstelling te komen is door ze te berekenen. Deze berekende waarden zijn ook onzeker, om verschillende redenen. In berekeningen wordt alleen het magnetisch veld van hoogspanningslijnen meegenomen; dit is juist wanneer een verband gezocht wordt tussen blootstelling aan het elektromagnetisch veld van hoogspanningslijnen en kinderleukemie. Wanneer het primair gaat om de sterkte van het magnetisch veld, geeft een berekening waarin alleen hoogspanningslijnen meegenomen worden geen volledig beeld van het magnetisch veld in een woning omdat andere relevante bijdragen en bronnen niet meegenomen worden. Daarnaast geeft berekening de tijdelijke variatie van het veld niet altijd weer. Tenslotte geeft ook een berekening geen schatting van de relevantie life-time blootstelling van kinderen.

De onzekerheid is zowel epistemisch van aard (logischerwijs zijn directe metingen voor elke casus mogelijk) als ontisch (gezien ondermeer onzekerheid #2, #8). In hoeverre de werkelijke veldsterkten zich verhouden tot de in de epidemiologische studies gebruikte veldsterkten, kan statistisch weergegeven worden. De rekenketen rekent echter door met klassen van veldsterkte (scenario onzekerheid). Er heerst onwetendheid over ondermeer het effect van de responsbias (metingen), de relevante life-time exposure van kinderen (metingen, berekeningen), en het aandeel van relevante andere bronnen, anders dan hoogspanningslijnen (berekeningen). Voor zowel gemeten als berekende veldsterkten is de methodologische onbetrouwbaarheid potentieel hoog; ook bestaat er waarde-diversiteit tussen onderzoekers.

16. De gevonden associatie is mogelijk te wijten aan selectie bias

Selectie bias wordt als algemeen en mogelijk ernstig probleem gezien in case-control studies (Mezei en Kheifets, 2006); omdat de meeste EMV-studies case-control studies zijn, wordt selectie bias vaak aangehaald als

mogelijke oorzaak van de associatie. In sommige studies is een positief effect op de risicoschatting aangetoond (e.g. Hatch *et al.*, 2000, Mezei en Kheifets, 2006); andere studies echter (e.g. Ahlbom *et al.* (2000) geven wel aan dat voor de gemeten studies selectiebias (door non-participatie) een rol kan spelen in de uitkomsten, maar zien dat slechts beperkt terug in de eigen studie.

Deze onzekerheid kan in theorie ondervangen worden bij volledige medewerking van responsgroepen (epistemisch). Het effect van selectiebias wordt in reeds bestaande epidemiologische studies statistisch weergegeven, hoewel er onwetendheid is over de exacte grootte hiervan. De onzekerheid is (deels) een gevolg van de gekozen methode.

17. Er is onzekerheid over het aantal blootgestelde kinderen

Het aantal blootgestelde kinderen is bepaald door gebruik te maken van een woningenbestand uit 1998 (met daarbij een aanname voor het aantal kinderen per woning) en een bestand met de ligging van de vier verschillende soorten hoogspanningslijnen (en schattingen voor de veldsterkten op vier verschillende afstanden, zie Input Data>Sterkte magnetisch veld). (Van der Plas *et al.*, 2001, Kelfkens *et al.*, 2002) In het RIVM briefrapport (Pruppers, 2003) zijn deze gegevens geactualiseerd. Het aantal blootgestelde kinderen is onzeker omdat het een schatting is die gebaseerd is op twee andere schattingen (resp. het aantal kinderen/woning en de veldsterkte van de hoogspanningslijnen). Wel blijkt de nieuwe schatting (Pruppers, 2003) tussen de hoge en lage oude schatting (Van der Plas *et al.*, 2000) te liggen.

De onzekerheid is epistemisch van aard en kan statistisch weergegeven worden. De onzekerheid heeft deels te maken met onwetendheid over ondermeer het aantal kinderen langs hoogspanningslijnen; de onzekerheid houdt verband met de gekozen methode.

18. Er is onzekerheid over de sterkte van het magnetisch veld van de hoogspanningslijnen

Door KEMA zijn voor de vier voorkomende typen hoogspanningslijnen en verschillende transportcapaciteiten magnetische velden berekend. De uitkomsten geven een bepaalde bandbreedte; dit heeft te maken met een aantal factoren die ervoor zorgt dat de sterkte van het magnetisch veld varieert, waaronder het masttype, het al dan niet versterken of verzwakken van magnetische velden van verschillende circuits en de belasting van de hoogspanningslijn. Deze berekening van het magnetisch veld betreft dus een schatting; voor de berekening van het potentieel aantal extra gevallen kinderleukemie is zowel de ondergrens als de bovengrens van deze schatting gebruikt.

De onzekerheid is epistemisch van aard en kan statistisch weergegeven worden. De onzekerheid heeft deels te maken met onwetendheid over ondermeer de temporele belasting van de afzonderlijke hoogspanningslijnen; de onzekerheid houdt verband met de gekozen methode.

1.2 Onzekerheidstypologie: aard en niveau

| Bron van onzekerheid | Aard | Range | Erkende onwetendheid | Methodologische onbetrouwbaarheid | Waarde-diversiteit |
|-----------------------------------|--|-------|----------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Epistemisch / Ontisch | Statistisch / Scenario | | | | |
| CONTEXT ONZEKERHEID | | | | | |
| 1 | Hoogspanningslijnen niet de enige belangrijke bron blootstelling EMV | E | Sc | ++ | + |
| 2 | Kanker pas na enkele jaren geconstateerd – het effect is stochastisch van aard | O | St | | |
| 3 | Mechanismen veroorzaken leukemie grotendeels onbekend | E | Sc | + | |
| MODELSTRUCTUUR ONZEKERHEID | | | | | |
| 4 | Geen uitsluitel over causaliteit | E | Sc | ++ | ++ |
| 5 | Magnetisch veld elektrische apparatuur onbekend | E | St | + | |
| 6 | Vorm eventuele blootstellings-responsrelatie onbekend | E | Sc | + | + |
| 7 | Kanker pas na enkele jaren geconstateerd – het effect is stochastisch van aard | O | St | | |
| 8 | Tussenkomst versturende variabelen | E | St | + | + |
| 9 | Bepalende periode blootstelling onbekend | E | St | ++ | ++ |
| 10 | Geen uitsluitel over bepalende schadelijke factor van magnetisch veld | E | Sc | ++ | ++ |
| PARAMETER ONZEKERHEID | | | | | |
| 11 | Onzekerheid betreffende Relatief Risico als functie van veldsterkte | E/O | St | | |
| 12 | Sample-omvang hogere blootstellingscategorieën klein | E | St | + | ++ |
| 13 | Gebrekkige en/of onjuiste metingen (calibratie) | E | St | | + |
| 14 | Onzekerheid aantal blootgestelde kinderen (calibratie) | E | St | | + |
| INPUT DATA ONZEKERHEID | | | | | |
| 15 | Blootstellingsmaat indirect | E | St | ++ | ++ |
| 16 | Selectie bias | E | St | | ++ |
| 17 | Onzekerheid aantal blootgestelde kinderen | E | St | + | + |
| 18 | Onzekerheid sterkte magnetisch veld | E | St | + | + |

Tabel 1.2 Onzekerheidstypologie bronnen van onzekerheid risicoinschattingen EMV

1.3 Resultaten onzekerheden

De 5 bronnen van onzekerheid die het hoogst scoren op zowel Erkende onwetendheid als Methodologische onbetrouwbaarheid worden geclassificeerd als de belangrijkste onzekerheden bij het opzetten van een risicostudie naar kinderleukemie als gevolg van blootstelling aan EMV. Dit zijn:

1. Hoogspanningslijnen zijn niet de enige belangrijke bron van blootstelling aan elektromagnetische straling;
4. Er is geen uitsluitel over de causaliteit van elektromagnetische straling voor kinderleukemie; wat gevonden is, is een (zwakke) statistische associatie;
9. De periode in de ontwikkeling van een kind waarin de blootstelling aan magnetische velden bepalend zou kunnen zijn voor een mogelijk verhoogd risico is niet bekend;
10. De relatie met kinderleukemie wordt aangenomen op basis van een tijdsgemiddeld magnetisch veld. Het is echter onzeker of dit het bepalende agens is;
15. De blootstellingsmaat is indirect; het is onzeker hoe betrouwbaar deze blootstellingsmaat is;

2. Een kritische analyse van de aannames voorafgaand aan en in de rekenketen

Met behulp van de methode van Klopogge *et al.* (2005, 2009) die verder is verfijnd door Craye *et al.* (2009) zijn aannames in elk van de stappen in de rekenketen achter de voor Nederland berekende extra aantal gevallen kinderleukemie (Van der Plas *et al.*, 2000; Pruppers, 2003) systematisch geïnventariseerd op basis van documentanalyse en interviews met betrokken experts. Geïnterviewd zijn dhr. M.J.M. Pruppers (RIVM), dhr. C. Stuurman en mevr. M. Beerlage (KEMA), en dhr. E. Lebret (RIVM). Deze aannames zijn vervolgens tijdens een workshop bediscussieerd en gevalideerd. Aan de workshop namen de volgende personen deel: mevr. M. Beerlage (KEMA), dhr. L. Lagendijk (KEMA, KPEMV), dhr. M.J.M. Pruppers (RIVM), dhr. E. van Rongen (Gezondheidsraad), dhr. J.P. van der Sluijs (Copernicus Instituut) en dhr. C. Stuurman (KEMA). In de eerste stap van de workshop is de lijst met aannames aangepast en gevalideerd. Daarbij is de formulering waar nodig aangescherpt en zijn enkele aannames van de lijst gehaald en/of samengevoegd. In paragraaf 2.1 worden de aannames gegeven die vooraf gaan aan de door RIVM gebruikte ontwikkelde rekenketen; in paragraaf 2.2 worden de aannames in die gebruikte rekenketen gegeven.

2.1 Aannamen voorafgaand aan de rekenketen

1. De metingen die in de meta-analyses gebruikt zijn, zijn correct uitgevoerd
2. De gemeten waarden uit de meta-analyses omvatten alleen 50Hz-60Hz bronnen
3. De berekende waarden uit de meta-analyses geven de sterkte van het magnetisch veld juist weer
4. Gemeten waarden en berekende waarden in de meta-analyses zijn gelijk (representatief rekenmodel)
5. Velden van binnenhuisinstallaties zijn in alle landen vergelijkbaar
6. De stroom in het jaar vooraf de bepaling van de incidentie van kinderleukemie is representatief voor de gemiddelde stroom tijdens de ontwikkeling van kinderleukemie
7. De verblijftijd van kinderen uit de studies gebruikt in de meta-analyses is in elk land gelijk
8. Het aantal kinderen bij hoogspanningslijnen is voor de onderliggende studies uit de meta-analyses vergelijkbaar bepaald
9. De sociale status, genetische eigenschappen, erfelijkheid, voedingspatroon, enz, van kinderen bij bovengrondse lijnen hebben geen invloed op het Relatief Risico
10. HS-lijnen hebben een gelijksoortig veld als distributielijnen
11. Er is geen sprake van selectiebias in de studies naar de relatie tussen kinderleukemie en veldsterkten, of deze selectiebias heeft slechts een zeer beperkt effect
12. Er zijn geen versturende of effect-modificerende variabelen voor de gevonden associatie, of deze hebben slechts een zeer beperkt effect
13. Controles zijn vergelijkbaar met cases
14. Het berekende Relatief Risico (valt binnen een 95%-betrouwbaarheidsinterval) is het werkelijke Relatief Risico
15. Controlegroep en cases verblijven gemiddeld even lang in de woning
16. Er is geen effect beneden de 0.1 μ T (controlegroep)

17. Er is een thresholdwaarde
18. Er is een causaal verband tussen blootstelling aan elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen en kinderleukemie
19. Hoogspanningslijnen zijn de belangrijkste differentiërende bron van blootstelling aan EMV door kinderen
20. Het is niet van belang dat er in Nederland geen bovengronds distributienetwerk aanwezig is.
21. De berekening is op basis van alleen bovengrondse lijnen
22. De combinatie van de sterkte van het magnetisch veld en de verblijfsduur van het kind bepalen de biologisch relevante 'dosis'
23. De manier waarop kinderen blootgesteld worden, maakt niet uit voor het schadelijk effect van het magnetisch veld (tijdsgemiddelde veldsterkte)
24. De invloed van gebundelde infrastructuur is vergelijkbaar met het buitenland, of heeft geen invloed
25. De verblijftijd van kinderen in Nederland is vergelijkbaar met die in de meta-analyses
26. Tijdsverschillen tussen kinderen (verblijftijd) zijn niet van invloed
27. De achtergrondincidentie van kinderleukemie bij hs-lijnen is vergelijkbaar met de situatie in de rest van het land
28. Eigenschappen van hoogspanningslijnen in Nederland zijn vergelijkbaar met het buitenland

2.2 Aannamen *in* de rekenketen

In de RIVM rekenketen komen enkele specifieke aannames naar voren die niet, zoals de aannames die *voorafgaan* aan de rekenketen, behandeld zijn onder de onzekerheden in hoofdstuk 1. Daarom worden in dit hoofdstuk enkele van deze aannames kort toegelicht.

29. De individuele lijnen worden belast volgens het n-1 criterium; de stroombelasting is continue
30. De hoogte van het (langdurig) gemiddelde aan blootstelling veroorzaakt het effect
31. De zonebreedte van de individuele lijnen is correct geschat
32. In het gebruikte woningenbestand komen geen onjuistheden voor
33. In het gebruikte digitale lijnenbestand komen geen onjuistheden voor
34. Er bevinden zich gemiddeld 2.6 personen per woning
35. Per woning zijn gemiddeld 0.49 kinderen aanwezig

Schatting zones rond hoogspanningslijnen voor veldsterkte-intervallen

De 300 hoogspanningslijnen in Nederland zijn verschillend betreffende uitvoering en eigenschappen; ze hebben hierdoor ook een verschillend magnetisch profiel. Na het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse is het aantal uitvoeringsvormen teruggebracht tot 45 standaardtypen. (Janssen en Ross, 2002) Voor de berekening van de zonebreedtes van ieder individuele lijn wordt aangenomen dat deze gelijk is aan die van het best bijpassende standaardtype. De berekende zonebreedtes in tabel 2.1 gelden voor de standaard masttypen, bij verschillende referentieniveau's.

| Bedrijfs- spanning | Zonebreedte (m) per referentieniveau (μT) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--|-----|-----|---|-----|-----|---|-----|-----|---|-----|-----|
| | Percentiel waarden voor 0,2 μT | | | Percentiel waarden voor 0,3 μT | | | Percentiel waarden voor 0,4 μT | | | Percentiel waarden voor 0,5 μT | | |
| [kV] | 10% | 50% | 90% | 10% | 50% | 90% | 10% | 50% | 90% | 10% | 50% | 90% |
| 50 | 70 | 80 | 115 | 56 | 64 | 93 | 47 | 54 | 80 | 41 | 46 | 71 |
| 110 | 75 | 96 | 147 | 60 | 78 | 120 | 51 | 67 | 104 | 45 | 59 | 93 |
| 150 | 105 | 162 | 232 | 84 | 130 | 188 | 69 | 111 | 161 | 60 | 99 | 144 |
| 220 | 216 | 285 | 426 | 174 | 231 | 349 | 150 | 198 | 302 | 132 | 177 | 270 |
| 380 | 293 | 342 | 362 | 237 | 276 | 295 | 203 | 237 | 254 | 181 | 210 | 227 |
| Combi | 236 | 581 | 680 | 185 | 442 | 490 | 157 | 368 | 395 | 138 | 321 | 337 |

Tabel 2.1: Zonebreedtes per referentieniveau. Bron: Janssen en Ross, 2002

29. De individuele lijnen worden belast volgens het n-1 criterium; de stroombelasting is continue.

Het hoogspanningsnet moet zo zijn uitgevoerd dat bij een storing toch voldoende transportcapaciteit beschikbaar is. Met het n-1-criterium wordt gedeut op de 'enkelvoudige storingsreserve'. Dit criterium is de reden waarom alle hoogspanningsverbindingen redundant zijn uitgevoerd. Voor twee lijnen van een circuit is de belasting voor ieder afzonderlijke lijn hooguit 50%. Bij drie lijnen in een circuit is de belasting per lijn hooguit 66.7%. Voor de berekening van het magnetisch veld van afzonderlijke lijnen wordt een continue stroombelasting aangenomen.

31. De zonebreedte van de individuele lijnen is correct geschat
Er is gerekend met standaardtypen voor de hoogspanningslijnen. Bovendien zijn vaste percentages voor elektrische belasting van de lijnen gebruikt.

Bepaling aantal woningen in elke zone

Voor het RIVM onderzoek (Van der Plas *et al.*, 2000) is een woningenbestand gebruikt, gebaseerd op het Adres Coördinatenbestand Nederland (ACN), met als peildatum 1 november 2000. Wanneer er bij een kadastraal perceel 1 adres hoort, bevat het ACN-bestand een zgn. perceelcoördinaat, die centraal in het kadastrale perceel genomen is en daardoor vaak niet precies samenvalt met de woning op het perceel. Het percentage huizen waarvan de plek is aangeduid met perceelcoördinaten ligt rond 25%. Bij meerdere adressen per kadastraal perceel is elk adres van een pandcoördinaat voorzien. Pandcoördinaten vallen geografisch beter samen met de bebouwing dan perceelcoördinaten (Kelfkens *et al.*, 2002). Deze berekening is gestoeld op twee voor dit onderzoek relevante aannamen:

32. In het gebruikte woningenbestand komen geen onjuistheden voor. Het gebruikte ACN-bestand is in de studie vergeleken met het PTT-postcodebestand. Het ACN-bestand bleek gemiddeld 5% minder adressen te bevatten. De auteurs van de studie stellen echter dat het PTT-postcodebestand adressen bevat die niet of niet meer bestaan (Kelfkens *et al.*, 2002).
33. In het gebruikte digitale lijnenbestand komen geen onjuistheden voor. Het digitale bestand is steekproefsgewijs ter plekke gecontroleerd met de feitelijke situatie. Bij het vergelijken van de coördinaten van enkele

rechtstanden uit het digitale lijnenbestand met GPS-metingen ter plekke bleek de positie van de masten in het digitale lijnenbestand binnen 10 m nauwkeurig overeen te stemmen (Kelfkens *et al.*, 2002).

Omrekening naar aantal bewoners in elke zone

Het woningenbestand dat voor de tellingen van het aantal woningen rond de hoogspanningslijnen is gebruikt, bevat ook een schatting van het aantal inwoners. Hieruit is een waarde van 2.6 voor het gemiddeld aantal personen per woning afgeleid. (Pruppers, 2003)

34. Er bevinden zich gemiddeld 2.6 personen per woning

Omrekening naar aantal kinderen in elke zone

Voor een omrekening van het aantal bewoners in elke zone naar het aantal kinderen in elke zone zijn cijfers gebruikt van het Centraal Bureau voor de Statistiek. Volgens het CBS bestaat de Nederlandse bevolking voor bijna 19% uit kinderen tot en met 14 jaar. Per woning worden 0.49 kinderen aangenomen aanwezig te zijn (Pruppers, 2003).

35. Per woning zijn gemiddeld 0.49 kinderen aanwezig.

2.3 Prioritering en karakterisering aannames

Tijdens de workshop is bovenstaande lijst gevalideerd. Door de workshopdeelnemers is een individuele ranking gemaakt van de 9 aannames die het meest doorwerkten in het eindresultaat van de rekenketen. Deze 9 aannames zijn door de deelnemers gescoord op belangrijkheid. Vervolgens zijn de individuele rankings gecombineerd tot een groepsranking (tabel 2.2).

- 1 **18.** Er is een causaal verband tussen blootstelling aan elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen en kinderleukemie (28)
- 2 **19.** Hoogspanningslijnen zijn de belangrijkste differentiërende bron van blootstelling aan EMV door kinderen (26)
- 3 **30.** De hoogte van het (langdurig) gemiddelde aan blootstelling veroorzaakt het effect (22)
- 4 **17.** Er is een thresholdwaarde (21)
- a (30).** De bij het tot stand komen van het Relatief Risico gebruikte jaargemiddelde veldsterkte is relevant (21)
- 5 **6.** De stroom in het jaar vooraf de bepaling van de incidentie van kinderleukemie is representatief voor de gemiddelde stroom tijdens de ontwikkeling van kinderleukemie (12)
- 6 **b.** HS-netwerken, distributienetwerken en aarding zijn vergelijkbaar in alle landen (9)
c. Het netwerk uit de studies gebruikt in de meta-analyses is vergelijkbaar met de Nederlandse situatie (110 vs. 230V) (9)
- 7 **d.** De incidentie kinderleukemie is vergelijkbaar tussen de landen uit de onderliggende studies (8)
- 8 **22.** De combinatie van de sterkte van het magnetisch veld en de verblijfsduur van het kind bepalen de biologisch relevante dosis (7)
31. De zonebreedte van de individuele lijnen is correct geschat (7)
- 9 **12.** Er zijn geen versturende of effect-modificerende variabelen voor de gevonden associatie, of deze hebben slechts een zeer beperkt effect (6)
- e (30).** Piekwaarden en dag/nachtpatroon zijn niet relevant (6)

Tabel 2.2: groepsranking na combinatie individuele rankings. (De aannames die tijdens het verloop van de workshop uit deze groepsranking verwijderd werden en/of aangepast werden zijn grijs gemarkeerd.)

Deze aannames zijn vervolgens plenair besproken en individueel gekarakteriseerd. Om de aannames te karakteriseren is gebruik gemaakt van de methode van Kloprogge *et al.* (2005, 2009) voor het karakteriseren van aannames in rekenketens, welke verder is verfijnd door Craye *et al.* (2009). Gebaseerd op literatuurstudie en het pedigree-concept is in deze methode een set criteria ontwikkeld om de mogelijke waardegeladenheid en de invloed van aannames op het eindresultaat van een rekenketen te bediscussiëren en te karakteriseren. Waardegeladenheid refereert hier naar het feit dat het gebruik van aannames het maken van keuzes met zich mee brengt, en dient niet primair begrepen te worden als politiek en/of ethisch controversieel. De set criteria is te vinden in Tabel 2.3. De criteria zijn:

- *Invloed van situationele beperkingen*: de mate waarin de keuze voor een aanname beïnvloed kan zijn door situationele beperkingen, zoals een gebrek aan data, geld, tijd, soft- en/of hardware, tools, menskracht;
- *Plausibiliteit*: de mate waarin de benadering door het maken van een bepaalde aanname, in overeenstemming is met de werkelijkheid (meestal gebaseerd op expert judgement);
- *Keuzeruimte*: de mate waarin alternatieven voor de genomen aanname beschikbaar zijn;
- *Overeenstemming onder experts*: de mate waarin de keuze van experts voor een bepaalde aanname in overeenstemming is met de keuze van de onderzoeker;
- *Overeenstemming onder stakeholders*: de mate waarin de keuze van stakeholders voor een bepaalde aanname in overeenstemming is met de keuze van de onderzoeker;
- *Gevoeligheid voor visie en belangen van de onderzoeker*: de mate waarin de keuze voor een aanname, bewust of onbewust, beïnvloed is door de visie en belangen van de onderzoeker die de aanname opgesteld heeft of gebruikt;
- *Invloed op het resultaat*: om belangrijke waarde-geladen aannames in een rekenketen te indiceren, is niet alleen de mogelijke waardegeladenheid van belang, maar ook de invloed van de aanname op het eindresultaat;

Voor elk van de aannames uit de groepsranking werd in een groepsdiscussie eerst de aanname verhelderd (verstaat iedereen er hetzelfde onder) en sterke en zwakke punten zijn bediscussieerd. De criteria voor het karakteriseren van aannames in rekenketens zijn vervolgens plenair besproken, waarna de aanname individueel gescoord werd.

Tijdens de workshop werden enkele aannames die op de ongevalideerde lijst stonden die voorafgaand aan de workshop was opgesteld geschrapt uit de scorelijst. Het gaat om de aannames die in tabel 2.2 zijn aangeduid met b en c. De reden om deze aannames te schrappen is dat ze bij nader inzien irrelevant bleken voor de berekening van het totaal aantal extra gevallen aan kinderleukemie: de grootte van de stroom is bepalend, niet de detaileigenschappen die in deze beide aannames worden gespecificeerd.

De aannames a en e werden samengevoegd met aanname 30.

Aanname d werd geparkeerd, aangezien de expertise om deze aanname te bespreken niet aanwezig was tijdens de workshop. In een interview met epidemioloog E. Lebret werd duidelijk dat de incidentie kinderleukemie geen aanname van betekenis is: de gepoolde analyses zijn gebaseerd op case-control studies; hierbij maakt de incidentie voor het berekende relatief risico niet uit.

Wegens tijdsgebrek konden de overige aannames niet behandeld worden tijdens de workshop. Aan de deelnemers is gevraagd thuis de resterende score-kaarten in te vullen, voor de aannames 22 – 31 – 12. Van vier deelnemers zijn deze kaarten teruggekomen. De scorekaart is te vinden in Bijlage I.

Per aannname worden de resultaten besproken van zowel de aannames die tijdens de workshop ingevuld zijn, als ook de aannames die achteraf ingevuld en opgestuurd zijn.

Allereerst wordt een algemeen beeld gegeven van de aanname, zoals dit tijdens de workshop naar voren kwam. Vervolgens wordt per aanname de scoring van de deelnemers weergegeven, gevolgd door een toelichting. Indien van toegevoegde waarde, worden afzonderlijke criteria van een aanname besproken. Afgesloten wordt met een totaaloverzicht van de scoring van alle aannames, gevolgd door enkele conclusies.

Tabel 2.3: Pedigree schema voor het karakteriseren van aannames in reketketens. Uit: Craye *et al.* (2009).

| Score | Influence of situational limitations | Plausibility | Choice space | Agreement among peers | Agreement among stakeholders | Sensitivity to views and interests of analyst | Influence on results |
|-------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|---|
| 4 | No such limitations | Very plausible | No alternatives available | Complete agreement | Complete agreement | No sensitive | Little or no influence |
| 3 | Hardly influenced | Plausible | Very limited number of alternatives | High degree of agreement | High degree of agreement | Hardly sensitive | Local impact in the calculations |
| 2 | Moderately influenced | Acceptable | Small number of alternatives | Competing schools | Competing perspectives | Moderately sensitive | Important impact in a major step in the calculation |
| 1 | Importantly influence | Hardly plausible | Average number of alternatives | Low degree (embryonic stage) | Low degree of agreement | Highly sensitive | Moderate impact on end result |
| 0 | Completely influenced | Fictive or speculative | Very ample choice of alternatives | Low degree (controversial) | controversial | Very highly sensitive | Important impact on end result |

Causaal verband blootstelling en kinderleukemie

Aanname: Er is een causaal verband tussen blootstelling aan elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen en kinderleukemie.

Plaats in groepsranking: 1.

Expertise workshopdeelnemers (aantallen per categorie): laag: 1; midden: 3.5; hoog: 1.5²

De onderzoekers die dit causale verband voor het eerst beschreven hebben (Wertheimer *et al.* 1979) waren geïnteresseerd in de oorzaken van kinderleukemie. Over deze oorzaken is tot op heden weinig bekend. Na onderzoek naar een verband met het elektrisch veld werd deze hypothese verworpen, aangezien het elektrisch veld door bebouwing tegengehouden wordt. Het magnetisch veld (van hoogspanningslijnen) was de enig overgebleven overwogen optie voor het verklaren van een waargenomen verband tussen kinderleukemie en hoogspanningslijnen: het is de enige gevonden associatie.

Er is echter geen experimenteel onderzoek bekend dat de juistheid van deze aanname ondersteunt. Een eventueel biofysisch of toxicologisch werkingsmechanisme is vooralsnog niet gevonden. De karakterisering van deze aanname door de workshopdeelnemers is te vinden in tabel 2.4.

| Criteria | | Aantal votes voor pedigree score | | | | | | Mediaan |
|--|---------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|--|---------|
| | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| a. Invloed situationele beperkingen | Geen beperkingen | | | 2 | 3 | 1 | Volledig beïnvloed | 1 |
| b. Plausibiliteit | Erg plausibel | | 1 | 4 | 1 | | Fictief/speculatief | 2 |
| c. Keuzeruimte | Geen alternatieven | | 1 | 4 | 1 | | Zeer ruim aantal alternatieven | 2 |
| d. Overeenstemming onder experts | Volledige overeenstemming | | | | | 6 | Weinig (controversieel) | 0 |
| e. Overeenstemming onder stakeholders | Volledige overeenstemming | | | 6 | | | Controversieel | 2 |
| f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker | Niet gevoelig | | | | | 6 | Zeer gevoelig | 0 |
| Totale mediane pedigree score: | | | | | | | | 1.5 |
| g. Invloed op het resultaat | Weinig tot geen invloed | | | | | 6 | Belangrijke invloed op het eindresultaat | 0 |

Tabel 2.4: karakterisering aanname 18

Bij criterium a: duidelijkere epidemiologische gegevens over de verschillen tussen landen uit de pooled analyses missen. Meer toxicologisch onderzoek naar de biologische mechanismen die leukemie zouden veroorzaken is gewenst.

Bij criterium b: een sterk punt van deze aanname is dat de enige gevonden associatie, die tussen het magnetisch veld van hoogspanningslijnen en het optreden van kinderleukemie is; andere oorzaken zijn niet gevonden. Deze associatie is in veel verschillende onderzoeken gevonden. Zwak is dat er nog altijd geen experimentele bevestiging van dit verband gevonden is.

Bij criterium c: er worden verschillende mogelijke alternatieven genoemd (het ioniseren van lucht, gebundelde infrastructuur, verkeersdichtheid etc.). Weinig van deze theorieën hebben echter standgehouden bij nader onderzoek, en van andere is weinig bekend.

Bij criterium d: de workshopdeelnemers betwijfelen of er een causaal verband is, weinig wetenschappers zijn hier nl. 100% van overtuigd. De aanname is controversieel.

Bij criterium e: veel stakeholders ontkennen een causaal verband, maar

² Indien een workshop 2 categoriën omcirkeld heeft op de score-kaart, om bijvoorbeeld aan te geven dat zijn expertise 'midden' tot 'hoog' is, werd zijn stem in elke categorie voor een halve stem meegeteld.

ondernemen wél maatregelen om onrust te voorkomen (bv. netbeheerders) en vertrouwen te behouden/terug te winnen.

Bij criterium g: de aanname is cruciaal: deze aanname is de basisaanname voor heel het onderzoek en beleid betreffende hoogspanningslijnen en kinderleukemie.

Uit de score in de pedigree-tabel volgt dat de invloed van deze aanname in de rekenketen erg hoog is, terwijl de waardegeladenheid gemiddeld is.

De invloed scoort hoog omdat deze aanname de basisaanname is voor het onderzoek naar en beleid op hoogspanningslijnen (en magnetische velden in het algemeen).

Sterk punt wat betreft de waardegeladenheid is, dat de enige gevonden associatie is, die tussen het magnetisch veld van hoogspanningslijnen en het optreden van kinderleukemie. Onder wetenschappers is er echter weinig overeenstemming over de bewijskracht van deze aanname.

Hoogspanningslijnen als belangrijkste differentiërende bron

Aanname: Hoogspanningslijnen zijn de belangrijkste differentiërende bron van blootstelling aan EMV door kinderen³

Plaats in groepsranking: 2.

Expertise workshopdeelnemers (aantallen per categorie): expertise: midden: 4; hoog: 2

Zowel in studies met een berekend magnetisch veld van hoogspanningslijnen als in studies met een gemeten magnetisch veld is een associatie met kinderleukemie gevonden; andere bronnen dan hoogspanningslijnen zijn te zwak. Met additionele bronnen van magnetische velden in huis, wordt de 0.4 μ T-waarde echter wel eerder bereikt.

De aanname is gedaan, omdat je er vanuit kan gaan dat de overige factoren niet verschillen tussen huizen dichtbij en verder weg van hoogspanningslijnen. De aanname zelf heeft echter weinig of geen invloed op het eindresultaat. De karakterisering van deze aanname door de workshopdeelnemers is te vinden in tabel 2.5.

| Criteria | | Aantal votes voor pedigree score | | | | | | Mediaan |
|--|---------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|--|---------|
| | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| a. Invloed situationele beperkingen | Geen beperkingen | 4 | 2 | | | | Volledig beïnvloed | 4 |
| b. Plausibiliteit | Erg plausibel | | | 1 | 2 | 3 | Fictief/speculatief | 0.5 |
| c. Keuzeruimte | Geen alternatieven | 1 | 5 | | | | Zeer ruim aantal alternatieven | 3 |
| d. Overeenstemming onder experts | Volledige overeenstemming | | 6 | | | | Weinig (controversieel) | 3 |
| e. Overeenstemming onder stakeholders | Volledige overeenstemming | | | 6 | | | Controversieel | 2 |
| f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker | Niet gevoelig | | 5 | | 1 | | Zeer gevoelig | 3 |
| <i>Totale mediane pedigree score:</i> | | | | | | | | 3 |
| g. Invloed op het resultaat | Weinig tot geen invloed | 1 | | 1 | 1 | 3 | Belangrijke invloed op het eindresultaat | 0.5 |

Tabel 2.5: karakterisering aanname 19

Bij criterium b: er zijn tal van andere bronnen van elektromagnetische velden; workshopdeelnemers noemen het speculatief om hoogspanningslijnen als belangrijkste differentiërende bron te noemen.

³ In het project is na de workshop nog enige discussie ontstaan over de formulering van deze aanname. Door verschillende workshopdeelnemers is deze aanname begrepen als de notie dat dichtbij hoogspanningslijnen de totale blootstelling aan elektromagnetische velden hoger is dan ver weg van hoogspanningslijnen.

Bij criterium c: er zijn veel alternatieven naast hoogspanningslijnen. Beter dan in de huidige situatie zouden studies gebaseerd moeten worden op slechts gemeten waarden (in tegenstelling tot de mix aan studies met zowel gemeten als berekende waarden). Een alternatief zou zijn om ook buitenshuis te meten: hierbij weet je indicatief het aandeel van binnenhuisinstallaties aan de totale magnetische veldsterkte in een woning (ten opzichte van de bijdrage van hoogspanningslijnen).

Bij criterium g: de meeste workshopdeelnemers stellen dat deze aanname een belangrijke bijdrage levert aan het eindresultaat; één deelnemer echter vraagt zicht af of dit wel zo'n belangrijke aanname is, aangezien volgens de deelnemer de aanname weinig tot geen invloed heeft.

Hoogspanningslijnen zijn de belangrijkste differentiërende bron van blootstelling aan EMV door kinderen scoort hoog qua invloed op het eindresultaat van de rekenketen, maar laag qua waardegeladenheid.

Op bijna alle pedigree-criteria scoort deze aanname gemiddeld tot laag, op de vraag naar plausibiliteit na: deelnemers noemen de aanname speculatief. In invloed op het eindresultaat wordt hoog ingeschat, waarschijnlijk omdat hoogspanningslijnen onderdeel vormen van het onderzoek (en de rekenketen) zelf.

Hoogte (langdurig) gemiddelde veroorzaakt effect

Aanname: De hoogte van het (langdurig) gemiddelde aan blootstelling veroorzaakt het effect

Plaats in groepsranking: 3.

Expertise workshopdeelnemers (aantallen per categorie): expertise: midden: 2; hoog: 4

Epidemiologische achtergrondgegevens, gebruikt in de studies die aan de basis lagen van de pooled analyses, differentiëren niet: er is alleen gekeken naar het 'wonen in de buurt van'. De enige waarde wat betreft de magnetische veldsterkte, die gebruikt kan worden, is de gemiddelde waarde. Het is echter onbekend welk aspect van het magnetisch veld leukemie zou veroorzaken: noodgedwongen wordt alleen gerekend met de gemiddelde veldsterkte. De karakterisering van deze aanname door de workshopdeelnemers is te vinden in tabel 2.6.

| Criteria | | Aantal votes voor | | | | | | Mediaan |
|--|---------------------------|-------------------|---|---|---|---|--|---------|
| | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| a. Invloed situational beperkingen | Geen beperkingen | | | | | 6 | Volledig beïnvloed | 0 |
| b. Plausibiliteit | Erg plausibel | | | | 1 | 5 | Fictief/speculatief | 0 |
| c. Keuzeruimte | Geen alternatieven | | | | 1 | 5 | Zeer ruim aantal alternatieven | 0 |
| d. Overeenstemming onder experts | Volledige overeenstemming | | | | 4 | 2 | Weinig (controversieel) | 1 |
| e. Overeenstemming onder stakeholders | Volledige overeenstemming | | | 6 | | | Controversieel | 2 |
| f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker | Niet gevoelig | | 4 | 2 | | | Zeer gevoelig | 3 |
| <i>Totale mediane pedigree score:</i> | | | | | | | | 0.5 |
| g. Invloed op het resultaat | Weinig tot geen invloed | | | | | 6 | Belangrijke invloed op het eindresultaat | 0 |

Tabel 2.6: karakterisering aanname 30

Bij criterium a: de beschikbare gegevens maken geen andere differentiatie mogelijk; het is echter volkomen onbekend of het juist de hoogte van het gemiddelde, of de piekwaarden/kortstondige pieken zijn, die leukemie veroorzaken.

Bij criterium b: naar deze aanname wordt veel onderzoek gedaan wat betreft plausibiliteit. Theoretisch is het geen probleem om de aanname te onderzoeken, praktisch zal het echter waarschijnlijk nooit mogelijk zijn. Het is onbekend welke aspecten in het magnetisch veld van belang zijn.

Bij criterium c: er zijn veel alternatieven, ondermeer piekwaarden, snelle wisselingen, overschrijding drempelwaarde, nachtblootstelling, vervuilende frequenties, gradiënt. In de praktijk (metingen) is het echter lastig om deze alternatieven te onderzoeken.

Bij criterium d: het is onbekend of hierover overeenstemming is, er wordt veel onderzoek naar gedaan.

Bij criterium e: wanneer een ander aspect wordt aangenomen als de veroorzaker van kinderleukemie, wordt dit problematisch (onwerkbaar) voor beleidsmakers: politiek ligt deze aanname erg gevoelig.

Bij criterium g: bij een andere aanname krijg je heel andere zones voor het magnetisch veld rondom hoogspanningslijnen; bovendien wordt dan het relatief risico ook anders: deze aanname heeft dus een zeer grote invloed op het eindresultaat (heel andere rekenketen).

De aanname scoort erg hoog op de influence-as en hoog op de pedigree-as. Factoren die de hoge waardegeeladenheid bepalen zijn onder andere de niet-gedifferentieerde data over het magnetisch veld gebruikt in de studies uit de pooled analyses, de aanwezigheid van veel alternatieven en het feit dat de aanname onder wetenschappers controversieel is. Bovendien lijkt het onmogelijk om alternatieven voor deze aanname in de praktijk te onderzoeken.

Daarnaast is de invloed van deze aanname in de rekenketen erg hoog. Bij een andere aanname wat betreft het schadelijke aspect van het magnetische veld veranderen zowel het relatief risico als de berekende risicozones drastisch.

Thresholdwaarde

Aanname: Er is een thresholdwaarde

Plaats in groepsranking: 4.

Expertise workshopdeelnemers (aantallen per categorie): expertise: laag: 2; midden: 1; hoog: 3

Er zijn weinig data voor de hogere blootstellingsgroepen (weinig cases boven 0.3 of 0.4 μ T). De resultaten uit de pooled analyses laten zowel een interpretatie van een blootstelling-responsrelatie waarbij het relatief risico continue toeneemt, als een blootstelling-responsrelatie met een threshold toe (Ahlbom *et al.* 2000; Greenland *et al.*, 2000). De workshopdeelnemers geven aan dat het aannemen van een thresholdwaarde speculatief is: het betreft een praktische aanname (Nederlandse thresholdwaarde van 0.4 μ T is een beleidskeuze). Er zijn echter geen biologische aanwijzingen voor of tegen een thresholdwaarde. Karakterisering van deze aanname door de workshopdeelnemers is te vinden in tabel 2.7.

Bij criterium a: limitaties betreffende deze aannames is het gebrek aan gegevens in hogere blootstellingsgroepen.

Bij criterium b: workshopdeelnemers achten deze aanname speculatief: het is in de eerste plaats een praktische aanname.

Bij criterium c: keuzemogelijkheid is wel of geen drempel, plus verschillende vormen bij een continue relatie. Hiernaast is het mogelijk dat er geen relatie is.

Bij criterium d: er zijn te weinig gegevens.

Bij criterium f: Een wijziging van de threshold, of het aannemen van een continue blootstelling-responsrelatie heeft grote gevolgen voor het beleid. Er speelt bij deze aanname veel politiek belang.

Bij criterium g: gezien de resultaten in de pooled analyses van Ahlbom *et al.* (2000) is het relatief risico bij een veronderstelde continue relatie niet sterk

afwijkend dan bij een veronderstelde threshold; andere deelnemers noemen het feit dat een threshold vooral beleidsmatig erg van belang is.

| Criteria | | Aantal votes voor pedigree score | | | | | | Mediaan |
|--|---------------------------|----------------------------------|------|------|---|---|--|---------|
| | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| a. Invloed situationele beperkingen | Geen beperkingen | | | | 1 | 5 | Volledig beïnvloed | 0 |
| b. Plausibiliteit | Erg plausibel | | | | | 6 | Fictief/speculatief | 0 |
| c. Keuzeruimte | Geen alternatieven | | 3, 5 | 2, 5 | | | Zeer ruim aantal alternatieven | 3 |
| d. Overeenstemming onder experts | Volledige overeenstemming | | | | 5 | 1 | Weinig (controversieel) | 1 |
| e. Overeenstemming onder stakeholders | Volledige overeenstemming | | | 5 | 1 | | Controversieel | 2 |
| f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker | Niet gevoelig | | | | 2 | 4 | Zeer gevoelig | 0 |
| Totale mediane pedigree score: | | | | | | | | 0.5 |
| g. Invloed op het resultaat | Weinig tot geen invloed | | | | 1 | 5 | Belangrijke invloed op het eindresultaat | 0 |

Tabel 2.7: karakterisering aanname 17

Evenals de voorgaande aanname is de invloed van deze aanname in de rekenketen erg hoog, en de waardegeladenheid hoog.

De aanname is ondermeer zo gedaan door het gebrek aan cases in de hogere blootstellingsgroepen. Door het gebrek aan bewijs in zake een biologisch mechanisme wat door een threshold getriggerd zou worden, wordt er ook ernstig getwijfeld aan de plausibiliteit. Tenslotte speelt mee dat deze aanname lijkt te zijn genomen om beleid inzake EMV van hoogspanningslijnen te vergemakkelijken.

Gemiddelde stroom tijdens de ontwikkeling van kinderleukemie

Aanname: De stroom in het jaar vooraf de bepaling van de incidentie van kinderleukemie is representatief voor de gemiddelde stroom tijdens de ontwikkeling van kinderleukemie

Plaats in groepsranking: 5.

Expertise workshopdeelnemers (aantallen per categorie): expertise: laag: 3; midden: 3;

De meeste gevallen van kinderleukemie betreffen Acute Lymfatische Leukemie (ALL); hiervoor zou een korte blootstellingstijd het meeste van toepassing zijn. De meeste cases betroffen ook jongere kinderen. De karakterisering van deze aanname door de workshopdeelnemers is te vinden in tabel 2.8.

| Criteria | | Aantal votes voor pedigree score | | | | | | Mediaan |
|--|---------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|--|---------|
| | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| a. Invloed situationele beperkingen | Geen beperkingen | 2 | 4 | | | | Volledig beïnvloed | 3 |
| b. Plausibiliteit | Erg plausibel | | 4 | 2 | | | Fictief/speculatief | 3 |
| c. Keuzeruimte | Geen alternatieven | | 5 | 1 | | | Zeer ruim aantal alternatieven | 3 |
| d. Overeenstemming onder experts | Volledige overeenstemming | | 6 | | | | Weinig (controversieel) | 3 |
| e. Overeenstemming onder stakeholders | Volledige overeenstemming | | 6 | | | | Controversieel | 3 |
| f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker | Niet gevoelig | 3 | 3 | | | | Zeer gevoelig | 3.5 |
| Totale mediane pedigree score: | | | | | | | | 3 |
| g. Invloed op het resultaat | Weinig tot geen invloed | 3 | 3 | | | | Belangrijke invloed op het eindresultaat | 3.5 |

Tabel 2.8: karakterisering aanname 6

Bij criterium a: er zijn weinig mogelijkheden om een onderzoek anders uit te voeren. In sommige studies is rekening gehouden met verhuizen.

Bij criterium b: workshopdeelnemers achten dit een plausibele aanname, wanneer je er vanuit gaat dat de associatie inderdaad bestaat, en leukemie een korte ontwikkelingstijd kent.

Bij criterium d: over deze aanname is weinig discussie; er zijn ook weinig of geen alternatieven voor.

Bij criterium f en g: workshopdeelnemers zijn het er over eens dat er niet een hoge gevoeligheid ligt bij deze aanname, en de aanname weinig invloed op de resultaten in de rekenketen heeft.

Deze aanname scoort op beide assen laag: de keuze voor het jaar voorafgaand aan het optreden van kinderleukemie heeft zowel weinig invloed in de rekenketen, als ook een lage waardegeladenheid. Er zijn weinig of geen alternatieven voor deze aanname, en volgens de workshopdeelnemers is de aanname plausibel tot zeer plausibel wanneer er vanuit gegaan wordt dat de andere aannames vast liggen.

Biologisch relevante dosis

Aanname: De combinatie van de sterkte van het magnetisch veld en de verblijfsduur van het kind bepalen de biologisch relevante dosis

Plaats in groepsranking: 8.

Expertise workshopdeelnemers (aantallen per categorie): expertise: laag: 1; midden: 3;

De scorekaart voor deze aanname is na de workshop door de deelnemers ingevuld en opgestuurd. Over de aanname en de criteria is dus geen plenaire discussie geweest, zoals bij de andere aannames. De aanname is in de uiteindelijke lijst aannames samengevoegd met de laatste aanname uit de top-9. De karakterisering van deze aanname door de workshopdeelnemers is te vinden in tabel 2.9.

| Criteria | | Aantal votes voor pedigree score | | | | | | Mediaan |
|--|---------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|--|---------|
| | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| a. Invloed situationele beperkingen | Geen beperkingen | | | | | 4 | Volledig beïnvloed | 0 |
| b. Plausibiliteit | Erg plausibel | | | | 2 | 2 | Fictief/speculatief | 0.5 |
| c. Keuzeruimte | Geen alternatieven | | | 2 | | 2 | Zeer ruim aantal alternatieven | 1 |
| d. Overeenstemming onder experts | Volledige overeenstemming | | | | 3 | 1 | Weinig (controversieel) | 1 |
| e. Overeenstemming onder stakeholders | Volledige overeenstemming | | 2 | 2 | | | Controversieel | 2.5 |
| f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker | Niet gevoelig | | 2 | | 1 | 1 | Zeer gevoelig | 2 |
| <i>Totale mediane pedigree score:</i> | | | | | | | | 1 |
| g. Invloed op het resultaat | Weinig tot geen invloed | | | | | 4 | Belangrijke invloed op het eindresultaat | 0 |

Tabel 2.9: karakterisering aanname 22

Bij criterium a: deelnemers geven bij de toelichting aan dat deze aanname niet voldoende is onderzocht, en doordat er geen gedetailleerde gegevens (over andere parameters) beschikbaar zijn deze aanname noodgedwongen diende te worden gemaakt.

Bij criterium b: de aanname wordt niet plausibel geacht doordat geen biologisch mechanisme bekend is, wat deze aanname bewijst. Het uitsluiten van invloeden van bijvoorbeeld piekwaarden wordt gezien als speculatie. Het is in de praktijk echter onmogelijk deze aanname door nader onderzoek te falsificeren.

Bij criterium c: er zijn veel alternatieven mogelijk, zie ook aanname 38.

Bij criterium e: er wordt aan deze aanname door stakeholders weinig aandacht gegeven.

Bij criterium f: een andere aanname vraagt om een andere opzet van onderzoek, en andere eventuele maatregelen.

Bij criterium g: deze aanname betreft een erg belangrijk uitgangspunt: bij een andere aanname krijg je een andere rekenketen, en worden ook andere bronnen van magnetische veldsterkte relevant.

Evenals de enigszins vergelijkbare aanname *de hoogte van het (langdurig) gemiddelde aan blootstelling veroorzaakt kinderleukemie* scoort deze aanname erg hoog wat betreft invloed in de rekenketen en hoog qua waardegeladenheid. De argumenten bij het invullen van de pedigree-matrix zijn ook vergelijkbaar. Opvallend is de (relatief) grote spreiding in de uitkomst voor *criterium f*. Aanvullend werd gewezen op het feit dat geen biologisch mechanisme bekend is, wat de aanname bewijst. Wanneer de aanname anders wordt opgesteld, verandert hiermee tegelijkertijd de rekenketen (en dus ook het eindresultaat).

Zonebreedte individuele lijnen

Aanname: De zonebreedte van de individuele lijnen is correct geschat

Plaats in groepsranking: 8.

Expertise workshopdeelnemers (aantallen per categorie): expertise: laag: 1; midden: 1; hoog: 2;

De scorekaart voor deze aanname is na de workshop door de deelnemers ingevuld en opgestuurd. Over de aanname en de criteria is dus geen plenaire discussie geweest, zoals bij de andere aannames. De gebruikte zonebreedtes in de rekenketen zijn berekend in een gezamenlijk onderzoek van KEMA en RIVM. De karakterisering van deze aanname door de workshopdeelnemers is te vinden in tabel 2.10.

| Criteria | | Aantal votes voor pedigree score | | | | | | Mediaan |
|--|---------------------------|----------------------------------|---|---|-----|-----|--|---------|
| | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| a. Invloed situationele beperkingen | Geen beperkingen | | | 2 | | 2 | Volledig beïnvloed | 1 |
| b. Plausibiliteit | Erg plausibel | | 2 | | 2 | | Fictief/speculatief | 2 |
| c. Keuzeruimte | Geen alternatieven | | 1 | | 2 | 1 | Zeer ruim aantal alternatieven | 1 |
| d. Overeenstemming onder experts | Volledige overeenstemming | | 4 | | | | Weinig (controversieel) | 3 |
| e. Overeenstemming onder stakeholders | Volledige overeenstemming | | 3 | 1 | | | Controversieel | 3 |
| f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker | Niet gevoelig | | | | 1 | 2 | Zeer gevoelig | 0 |
| <i>Totale mediane pedigree score:</i> | | | | | | | | 1.5 |
| g. Invloed op het resultaat | Weinig tot geen invloed | | | | 1.5 | 2.5 | Belangrijke invloed op het eindresultaat | 0 |

Tabel 2.10: karakterisering aanname 31

Bij criterium a: de uitgangspunten voor de stroombelasting in de rekenketen zijn aanzienlijk hoger dan in de praktijk (worst-case scenario). Daarnaast lijkt de gevoeligheidsanalyse van de mastconfiguraties door KEMA/Petersburg goed te zijn uitgevoerd.

Bij criterium b: er is tijdens/na het uitvoeren van de studie niet voldoende aandacht geweest voor een kritische check van de uitgangspunten van de studie. De link naar de praktijk (beleidsdoelen) is daarnaast pas later aangebracht. Door het aannemen van een worst-case stroombelasting is er mogelijk een overschatting van de jaargemiddelde veldsterkte, wat zich vertaalt in te grote zonebreedtes.

Bij criterium c: er is een grote variatie in parameters mogelijk; bij het uitwerken van de rekenketen is echter vooraf een uitgebreide gevoeligheidsanalyse gedaan. Er zijn echter nog alternatieven te onderzoeken dmv een gevoeligheidsanalyse – het is echter de vraag of dit haalbaar is voor een landelijke inschatting.

Bij criterium f: als het magneetveld als 'oorzaak' wordt gekozen, komen diverse analisten tot hetzelfde resultaat.

Bij criterium g: de breedte van de zones heeft grote gevolgen in de rekenketen; het is echter moeilijk in te schatten hoe dit precies doorwerkt. Bij smallere zones zullen de maatregelen beduidend anders zijn.

De invloed van deze aanname op het eindresultaat is erg hoog, de waardegeladenheid is gemiddeld. Wanneer de schatting van de zonebreedtes anders uitvalt, verandert hiermee tegelijkertijd het aantal kinderen in diverse zones, met hierdoor een ander resultaat wat betreft het verwachte totaal aantal extra jaarlijkse gevallen aan kinderleukemie. Hierdoor zullen ook de te treffen maatregelen anders uitvallen.

Het is echter moeilijk te zeggen zonder aanvullende berekeningen hoe deze aanname doorwerkt in het eindresultaat. Deelnemers schatten in dat wetenschappers zich kunnen vinden in de aanname, in zoverre dat de schatting door KEMA/RIVM correct is uitgevoerd.

Verstorende variabelen

Aanname: Er zijn geen verstorende variabelen voor de gevonden associatie, of deze hebben slechts een zeer beperkt effect

Plaats in groepsranking: 9.

Expertise workshopdeelnemers (aantallen per categorie): expertise: laag: 1; midden: 3;

De scorekaart voor deze aanname is na de workshop door de deelnemers ingevuld en opgestuurd. Over de aanname en de criteria is dus geen plenaire discussie geweest, zoals bij de andere aannames. De pooled analyses verantwoordten hun resultaten als zijnde robuust voor een aantal verstorende variabelen, waaronder verkeer, mobiliteit, sociaal-economische status en woningtype. De karakterisering van deze aanname door de workshopdeelnemers is te vinden in tabel 2.11.

| Criteria | | Aantal votes voor pedigree score | | | | | | Mediaan |
|--|---------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|--|---------|
| | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| a. Invloed situationele beperkingen | Geen beperkingen | | 1 | 1 | 2 | | Volledig beïnvloed | 1.5 |
| b. Plausibiliteit | Erg plausibel | | | 2 | 2 | | Fictief/speculatief | 1.5 |
| c. Keuzeruimte | Geen alternatieven | | 1 | | 3 | | Zeer ruim aantal alternatieven | 1 |
| d. Overeenstemming onder experts | Volledige overeenstemming | | 4 | | | | Weinig (controversieel) | 3 |
| e. Overeenstemming onder stakeholders | Volledige overeenstemming | | 3 | 1 | | | Controversieel | 3 |
| f. Gevoeligheid voor visie en belangen onderzoeker | Niet gevoelig | | | 1 | 3 | | Zeer gevoelig | 1 |
| <i>Totale mediane pedigree score:</i> | | | | | | | | 1.5 |
| g. Invloed op het resultaat | Weinig tot geen invloed | | 1 | | 2 | 1 | Belangrijke invloed op het eindresultaat | 1 |

Tabel 2.11: karakterisering aanname 12

Bij criterium a: workshopdeelnemers geven aan dat er naar een aantal mogelijke factoren gekeken is, maar dat er wellicht meer zijn die tot op heden onbekend zijn gebleven.

Bij criterium b: de bestaande gevoeligheidsanalyse voor bekende factoren is goed uitgevoerd; het ligt voor de hand dat er meerdere variabelen zijn die een rol spelen, wellicht zijn er nog anderen.

Bij criterium d: wetenschappers (vooral epidemiologen) zijn het erover eens dat er op een juiste manier gecorrigeerd is voor de bekende factoren, maar dat er nog andere (onbekende) factoren kunnen zijn die een rol spelen.

Bij criterium g: de rekenketen heeft geen waarde meer als het relatief risico niet blijkt te kloppen. De aanname zelf wordt door andere workshopdeelnemers echter van minder belang geacht.

De aanname betreffende versturende variabelen scoort hoog wat betreft invloed in de rekenketen. Dit vooral omdat het berekende relatief risico van groot belang is bij de berekening van het extra aantal gevallen kinderleukemie. Mocht dit relatief risico anders blijken te zijn, verandert hiermee ook de berekening.

De waardegeladenheid van deze aanname is gemiddeld; er is overeenstemming onder wetenschappers dat voor de mogelijkheid van versturende variabelen voldoende gecorrigeerd is. Wellicht zijn er echter nog (tot nu toe onbekende) variabelen over het hoofd gezien.

3. Conclusies en aanbevelingen

3.1 Onzekerheden in de rekenketen

Met behulp van een onzekerheidstypologie hebben we de onzekerheden in de rekenketen van RIVM's risicoberekening dat in Nederland ongeveer één kind per twee jaar kinderleukemie krijgt als gevolg van bovengrondse hoogspanningslijnen, systematisch in kaart gebracht en geprioriteerd. De 5 belangrijkste bronnen van onzekerheid bij het opzetten van een risicostudie naar kinderleukemie als gevolg van blootstelling aan EMV zijn:

- Hoogspanningslijnen zijn niet de enige belangrijke bron van blootstelling aan elektromagnetische straling;
- Er is geen uitsluitel over de vraag of het verband tussen elektromagnetische straling en kinderleukemie causaal is; wat gevonden is, is een (zwakke) statistische associatie tussen het vóórkomen van kinderleukemie en de woonafstand tot hoogspanningslijnen;
- De periode in de ontwikkeling van een kind waarin de blootstelling aan magnetische velden bepalend zou kunnen zijn voor een mogelijk verhoogd risico is niet bekend;
- De relatie met kinderleukemie wordt aangenomen op basis van een tijdsgemiddeld magnetisch veld. Het is echter onzeker of dit het bepalende agens is;
- De blootstellingsmaat is indirect; het is onzeker hoe betrouwbaar deze blootstellingsmaat is;

De aard van deze vijf bronnen van onzekerheid is epistemisch. Dat lijkt te impliceren dat de onzekerheid verminderd kan worden door het verkrijgen van meer data en/of het doen van meer onderzoek naar onderliggende mechanismen. Hierbij dient echter aangetekend dat er sinds de publicatie van het eerste artikel naar een verband tussen hoogspanningslijnen en kinderleukemie in 1979 (Wertheimer *et al.*) veel gericht onderzoek gedaan is naar de relatie tussen beiden, maar zonder positief resultaat wat betreft causale mechanismen. Het wegnemen van deze onzekerheid door meer onderzoek lijkt daarmee geen kansrijke optie. Daarmee blijft het vraagstuk voorlopig in het domein van het voorzorgprincipe. Pas wanneer het risico op een redelijk betrouwbare manier te kwantificeren zou zijn kan het beleid zich baseren op het preventieprincipe. Bij het preventieprincipe stelt het beleid een grens voor het aanvaardbaar risico en kan vervolgens worden becijferd of een situatie (of een bestemmingsplan) voldoet aan deze grens en dus wel of niet toelaatbaar is (zie UNESCO COMEST 2005 voor verder uitleg van het verschil tussen het voorzorgprincipe en het preventieprincipe).

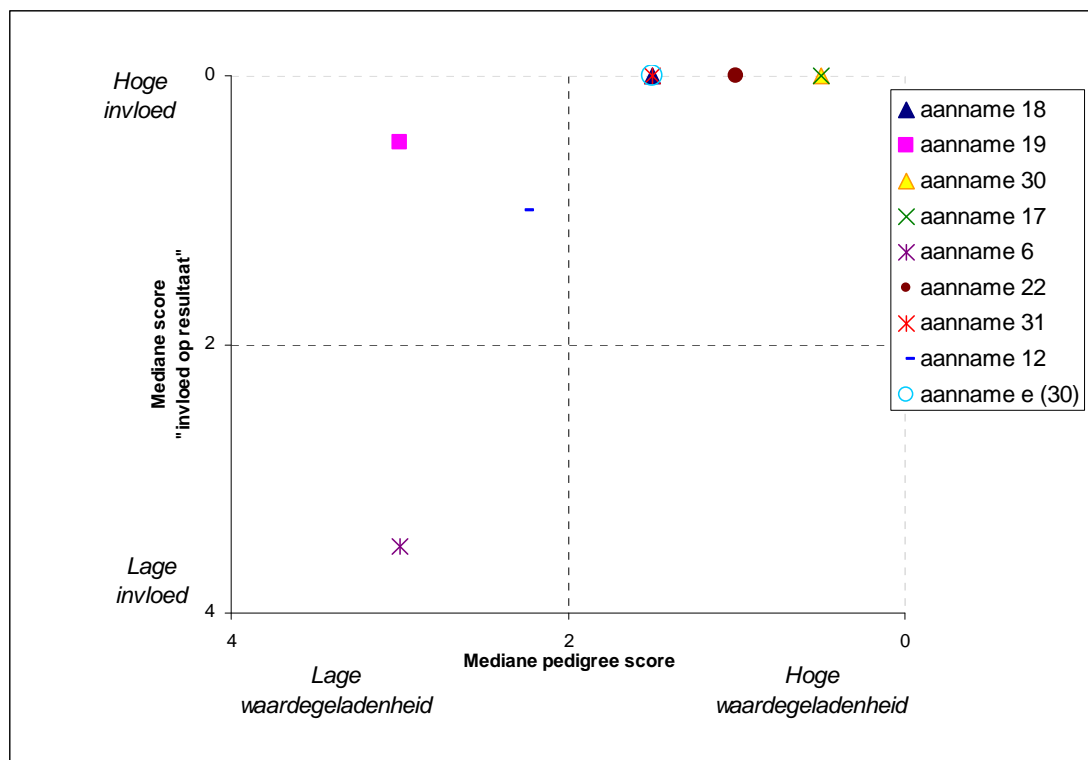
3.2 Aannames in de rekenketen

In een volgende stap hebben we de belangrijkste aannames in de rekenketen geïdentificeerd en één voor één kritisch tegen het licht gehouden. De resulterende geprioriteerde lijst met aannames is te vinden in tabel 3.1. Hoe hoger een aanname staat in de lijst van tabel 3.1 hoe sterker de geschatte invloed is op het berekende aantal extra kinderleukemiegevallen per jaar in Nederland door hoogspanningslijnen.

- 1 **18.** Er is een causaal verband tussen blootstelling aan elektromagnetische velden van hoogspanningslijnen en kinderleukemie (28)
- 2 **19.** Hoogspanningslijnen zijn de belangrijkste differentiërende bron van blootstelling aan EMV door kinderen (26)
- 3 **30.** De hoogte van het (langdurig) gemiddelde aan blootstelling veroorzaakt het effect (22)
- 4 **17.** Er is een thresholdwaarde (21)
- 5 **6.** De stroom in het jaar vooraf de bepaling van de incidentie van kinderleukemie is representatief voor de gemiddelde stroom tijdens de ontwikkeling van kinderleukemie (12)
- 6 **22.** De combinatie van de sterkte van het magnetisch veld en de verblijfsduur van het kind bepalen de biologisch relevante dosis (7)
- 31.** De zonebreedte van de individuele lijnen is correct geschat (7)
- 7 **12.** Er zijn geen versturende variabelen voor de gevonden associatie, of deze hebben slechts een zeer beperkt effect (6)

Tabel 3.1: De top 7 van de lijst met aannames gerangschikt door workshop deelnemers naar door hen geschatte relatieve mate van doorwerking in het eindresultaat van de rekenketen.

Aan de hand van een zestal zogenaamde *pedigree criteria* (zie sectie 2.3) zijn de aannames uit tabel 3.1 gekarakteriseerd. De gebruikte pedigree criteria zijn: Invloed van situationele beperkingen; Plausibiliteit; Keuzeruimte; Overeenstemming onder experts; Overeenstemming onder stakeholders; Gevoeligheid voor visie en belangen van de onderzoeker, elk gebruikmakend van een ordinale vijfpunts schaal (tabel 2.3 in sectie 2.3). De mediaan van de scores van de zes criteria geeft voor elke aanname een maat voor hoe sterk of zwak de keuze voor elke aanname objectief en eenduidig kan worden onderbouwd. Naar mate dat minder het geval is spreken we van een hoge waardegeladenheid. Daarnaast hebben de workshopdeelnemers van elke aanname de invloed op het resultaat geschat, eveneens met een vijfpunts ordinale schaal. In Figuur 3.1 zijn de aannames geplot naar hun scores op deze twee karakteristieken.



Figuur 3.1: scores karakterisering aannames geprioriteerde lijst

Figuur 3.1 is onder te verdelen in vier kwadranten, te weten de combinaties Hoge invloed-Hoge waardegeladenheid, Lage invloed-Hoge waardegeladenheid, Lage

invloed-Lage waardegeladenheid en Hoge invloed-Lage waardegeladenheid. We zoeken de meest problematische aannames gegeven hun invloed op het eindresultaat en hun waardegeladenheid. Het Hoog-Hoog-kwadrant is in deze zin het meest interessant.

Elk van deze categorieën wordt in het navolgende besproken.

Hoge invloed, Hoge waardegeladenheid

De aannames betreffende *het bestaan van een thresholdwaarde*, het aanwijzen van de *hoogte van het (langdurig) gemiddelde aan blootstelling zijnde het aspect van het magnetisch veld wat kinderleukemie veroorzaakt*⁴, de aanname *de combinatie van de sterkte van het magnetisch veld en de verblijfsduur van het kind bepalen de biologisch relevante dosis*, de aanname betreffende *de zonebreedte van de individuele lijnen* uit het KEMA/RIVM-onderzoek en de aanname betreffende een *causaal verband tussen blootstelling en kinderleukemie* scoren zowel hoog qua invloed op het resultaat als ook hoog op de pedigree score. Volgens de workshopdeelnemers is voor deze vijf aannames de invloed in de rekenketen hoog, als ook de waardegeladenheid.

Het feit dat de waardegeladenheid door de workshopdeelnemers hoog ingeschat werd, vindt zijn oorsprong vooral in een gebrek aan cases (bestaan thresholdwaarde), het gebrek aan goede, gedifferentieerde meetgegevens (hoogte (langdurig) gemiddelde veroorzaakt effect & biologisch relevante dosis) en het ontbreken van bewijs voor een verklarend biologisch mechanisme (causaliteit, bestaan thresholdwaarde, hoogte (langdurig) gemiddelde veroorzaakt effect & biologisch relevante dosis). Wat betreft causaliteit zorgt ook het gebrek aan overeenstemming onder experts, en de gevoeligheid van de aanname voor de visie en belangen van de onderzoeker voor een hoge score.

Wat betreft de schatting voor de zonebreedtes schatten de workshopdeelnemers in dat het KEMA/RIVM-onderzoek goed en zorgvuldig is uitgevoerd. Commentaar op dit onderzoek is echter wel dat de uitgangspunten voor de stroombelasting hoger ingeschat zijn dan in de praktijk (worst-case scenario). De zonebreedtes zijn van cruciaal belang voor het berekenen van het aantal kinderen in diverse zones rond de hoogspanningslijnen.

De aannames betreffende het bepalende schadelijke aspect van het magnetisch veld hangen samen met de twee van de onzekerheden die tot de 5 grootste bronnen van onzekerheid behoren: de periode van verhoogd risico in de ontwikkeling van een kind en de onzekerheid betreffende het bepalende agens van het magnetisch veld. In de top-5 van bronnen van onzekerheid is ook de aanname betreffende causaliteit terug te vinden; onwetendheid over de verklaring van dit causale verband speelt een grote rol, evenals methodologische kwaliteit betreffende de achtergrondstudies (input data) van de pooled analyses. Dit ondersteunt de conclusie uit de workshop dat deze aannames tot de belangrijkste aannames in de risicostudies behoren.

Een gebrek aan cases is voor wetenschappers moeilijk te ondervangen. Hetzelfde geldt voor het onderzoek met alternatieven voor de (langdurig) gemiddelde veldsterkte als beoogd schadelijk aspect van het magnetisch veld: de achtergrondgegevens in de studies uit de pooled analyses zijn niet hiervoor gedifferentieerd en bovendien zou dit onderzoek op deze schaal onmogelijk in de praktijk uit te voeren zijn.

⁴ In een interview ná de workshop met epidemioloog E. Lebret gaf hij aan dat deze aanname scherper gesteld kon worden. Feitelijk wordt aangenomen dat 'de hoogte van het (langdurig) gemiddelde aan blootstelling is een goede proxy voor dát aspect van de blootstelling dat feitelijk causaal schade veroorzaakt (bijv. piekblootstelling of herhaaldelijke gradiënt)'. Hij geeft hierbij aan dat de waardegeladenheid van deze aanname hiermee kleiner wordt.

Wanneer het biologische mechanisme gevonden zou worden dat de associatie tussen kinderleukemie en blootstelling aan EMV zou verklaren, zou hiermee de waardegeladenheid voor vier van de vijf aannames (veel) kleiner worden. De waardegeladenheid betreffende zonebreedtes zou verlaagd kunnen worden door voor alle individuele hoogspanningslijnen in Nederland de zonebreedtes te bepalen, maar dit is voor een landelijke inschatting misschien niet haalbaar.

Lage invloed, Hoge waardegeladenheid

In dit kwadrant bevinden zich geen aannames.

Lage invloed, Lage waardegeladenheid

De stroom in het jaar vooraf de bepaling van de incidentie van kinderleukemie is representatief voor de gemiddelde stroom tijdens de ontwikkeling van kinderleukemie scoort zowel wat betreft invloed in de rekenketen, als ook waardegeladenheid laag.

De pedigree-score en invloed van deze aanname in de rekenketen geven aan dat er weinig noodzaak is om alternatieven voor deze aanname te onderzoeken.

Hoge invloed, Lage waardegeladenheid

In dit kwadrant bevinden zich twee aannames.

Als eerste de aanname betreffende *verstorende variabelen* voor de gevonden associatie. Workshopdeelnemers menen dat er voor de bekende mogelijke verstorende variabelen voldoende gecorrigeerd is, maar dat er wellicht nog (tot nu toe onbekende) variabelen over het hoofd gezien zijn, die een grote invloed hebben in de gevonden associatie. Dit komt ook terug in de omschrijving verstorende variabelen als bron van onzekerheid. De invloed van verstorende variabelen op het eindresultaat van de rekenketen is (potentieel) hoog, door de invloed op het berekende relatieve risico.

De waardegeladenheid kan misschien nog verder verlaagd worden door het relatief risico voor nieuwe, andere variabelen te corrigeren. Het is echter moeilijk om de (potentiële) invloed van deze aanname op het eindresultaat van de rekenketen te verlagen, gezien de mogelijke aanwezigheid van onbekende verstorende variabelen.

De tweede aanname in dit kwadrant betreft *Hoogspanningslijnen zijn de belangrijkste differentiërende bron van blootstelling aan EMV door kinderen* scoort. De aanname wordt door de workshopdeelnemers als speculatief beoordeeld door de aanwezigheid van veel andere bronnen van magnetische veldsterkte in woningen. Op alle andere criteria voor waardegeladenheid scoort deze aanname gemiddeld tot laag.

Studies gebaseerd op slechts gemeten waarden, of het indiceren van het aandeel van binnenhuisinstallaties aan de totale magnetische veldsterkte in een woning, zouden de plausibiliteit van deze aanname kunnen bevestigen. Ook kunnen de gevolgen van de onzekerheid over het aandeel van hoogspanningslijnen binnen het totaal aan bronnen worden verkend middels scenariostudies. Hier is echter niet in de eerste plaats noodzaak toe, gezien het feit dat de totale waardegeladenheid als laag beoordeeld wordt door de workshopdeelnemers.

3.3 Slotbeschouwing

De analyse in deze studie laat zien dat een kwantitatieve risicoanalyse van de gezondheidseffecten van wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen omgeven is door grote onzekerheden. Het ligt niet in de verwachting dat meer onderzoek deze onzekerheden op korte termijn kan verminderen. Kwantificering

van de risico's is thans alleen mogelijk wanneer een reeks van aannames gemaakt wordt, waaronder de basisaanname dat het magnetisch veld het causale agens is. Veel van deze aannames zijn met de huidige stand van kennis niet objectief en eenduidig te onderbouwen. De analyse laat bovendien zien dat de meest problematische aannames (zwakke onderbouwbaarheid en sterk invloed op eindresultaat) allemaal vooraan in de rekenketen zitten. Hieruit concluderen we dat de huidige stand van kennis nog geen betrouwbare kwantificering toelaat. Uit wetenschappelijk puristisch oogpunt is het eigenlijk nog te vroeg voor kwantificering.

Tegelijk is er wel reden tot zorg, er is immers sprake van een redelijk consistente associatie met kinderleukemie. Daarom is door RIVM op verzoek van VROM toch een kwantitatieve analyse gemaakt (de analyse die we in deze studie kritisch tegen het licht hebben gehouden) om een indicatie te krijgen van de ernst en omvang van het mogelijke probleem. Het getal dat daar uitkomt (ongeveer één kind per twee jaar krijgt kinderleukemie als gevolg van bovengrondse hoogspanningslijnen) kan echter niet los worden gezien van de grote onzekerheden en beperkt onderbouwde aannames waarop deze kwantificering gebaseerd is en moet dus worden gezien als een zeer voorlopige indicatieve schatting van de mogelijke omvang met een lage betrouwbaarheid. In communicatie met het publiek over de gezondheidsrisico's van hoogspanningslijnen dienen deze beperkingen expliciet uitgelegd te worden om misverstanden over de wetenschappelijke status van de uitkomst van de berekening te voorkomen. Het getal heeft gelet op onze bevindingen veel meer de status van een indicatieve uitkomst voor een scenario (het scenario dat de voorlopige aannames juist blijken) dan van een vastgesteld feit. Het levert daarmee geen rechtvaardiging voor de toepassing van het preventieprincipe maar wel voor de toepassing van het voorzorgprincipe.

Literatuur

Ahlbom, A., N. Day, M. Feychting, E. Roman, J. Skinner, J. Dockerty, M. Linet, M. McBride, J. Michaelis, J.H. Olsen, T. Tynes, P.K. VerkasaIo, 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer* 88: 5. pp 692-698.

Belson, M., B. Kingsley, A. Holmes, 2007. Risk factors for acute leukemia in children: a review. *Environmental Health Perspectives* 115: 1.

Craye, M., E. Laes, J.P. van der Sluijs, 2009. Re-negotiating the role of external cost calculations in the Belgian nuclear and sustainable energy debate. In: Pereira Guimaraes, A., S. Funtowicz, S. Science for Policy. Oxford University Press.

Gezondheidsraad. Commissie ELF elektromagnetische velden. 2001. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2001. Publicatie nr. 2001/14. Den Haag. Gezondheidsraad.

Greenland, S., A.R. Sheppard, W.T. Kaune, C. Poole, M.A. Kelsh, 2000. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 11: 624-634.

Greenland, S., L. Kheifets, 2006. Leukemia Attributable to Residential Magnetic Fields: Results from Analyses Allowing for Study Biases. *Risk Analyses* 26: 2. pp 471-482.

Hatch, E. E., R.A. Kleinerman, M.S. Linet, R.E. Tarone, W.T. Kaune, A. Auvinen, D. Baris, L.L. Robison, S. Wacholder, 2000. Do confounding or selection factors of residential wiring codes and magnetic fields distort findings of electromagnetic fields studies? *Epidemiology* 11: 2. pp. 189-198.

Janssen, M. & A.A.H.J. Ross, 2002. Uitgangspunten voor magnetische veldberekeningen en inventarisatie beperkende maatregelen. Arnhem. KEMA.

Kelfkens, G., R.M.J. Pennders, M.J.M. Pruppers, 2002. Woningen bij hoogspanningslijnen in Nederland. RIVM rapport 610150001/2002. Bilthoven. RIVM

Kelfkens, G., M.J.M. Pruppers, 2005. Extreem-laagfrequente elektrische en magnetische velden van huishoudelijke apparatuur. RIVM rapport 300010001/2005. Bilthoven. RIVM.

Kelfkens, G. & M.J.M. Pruppers, 2007. Achtergronden beleid bovengrondse hoogspanningslijnen. RIVM rapport 861020014/2007. Bilthoven. RIVM.

Kennisplatform EMV, 2009. Hoogspanningslijnen en kinderleukemie. Kennisbericht 2009-004. Kennisplatform Elektromagnetische Velden, Bilthoven.

Kheifets, L., M. Repacholi, R., Saunders, E. van Deventer, 2005. Sensitivity of children to EMV. *Pediatrics* 116: 303-313.

Kheifets, L. & R. Shimkhada, 2005. Childhood leukemia and EMF: review of epidemiological evidence. *Bioelectromagnetics Supplement* 7: 51-59.

Kleinerman, R. A., M.S. Linet, E.E. Hatch, S. Wacholder, R.E. Tarone, R.K. Severson, W.T. Kaune, D.R. Friedman, C.M. Haines, C.R. Muirhead, J.D. Boice Jr., L.L. Robison, 1997. Magnetic Field Exposure Assessment in a Case-Control Study of Childhood Leukemia. *Epidemiology* 8: 5. pp 575-583.

Kloprogge, P., J.P. van der Sluijs, A.C. Petersen, A.C., 2005. A method for the analysis of assumptions in assessments. MNP rapport nr. 550002010/2005. Bilthoven. MNP.

Kloprogge, P., J.P. van der Sluijs, A.C. Petersen, A.C., 2009. A method for the analysis of assumptions in model-based environmental assessments. *Environmental Modelling & Software*. *In press*.

Knol, A.B., A.C. Petersen, J.P. van der Sluijs, E. Lebret, 2009. Dealing with uncertainties. The case of environmental burden of disease assessments. *Environmental Health* 8: 21

Koops, F.B.J., 1999. Blootstelling van de algemene bevolking aan elektrische en magnetische velden ten gevolge van hoogspanningslijnen. Arnhem. KEMA.

LCM Landelijk Centrum Medische Milieukunde, 2005. GGD Richtlijn Gezondheidsrisico's van bovengrondse hoogspanningslijnen.

Mezei, G. & L. Kheifets, 2006. Selection bias and its implications for case-control studies: a case study of magnetic field exposure and childhood leukaemia. *International Journal of Epidemiology* 35: 397-406

Pruppers, M.J.M., 2003. Blootstelling aan extreem laag frequente lektromagnetische velden van hoogspanningslijnen - Herberekening naar aanleiding van het KEMA/RIVM-onderzoek naar de kosten en baten van maatregelen ter beperking van magnetische velden bij hoogspanningslijnen. RIVM Briefrapport 032/2003. Bilthoven. RIVM.

Repacholi, M.H. & E. Cardis, 1997. Criteria for EMF health risk assessment. *Radiation Protection Dosimetry* 7 : 3-4. pp 305-312.

Stuurman, C.S. & J.F. van Wolven, 2002. Kostenanalyse van de technische maatregelen ter beperking magnetische velden nabij bovengrondse hoogspanningslijnen (vooronderzoek) - Deel 1: Samenvatting. Arnhem. KEMA.

Van der Plas, M., D.J.M. Houthuijs, A. Dusseldorp, R.M.J. Pennders, M.J.M. Pruppers, 2001. Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. RIVM rapport nr. 610050 007. Bilthoven. RIVM.

VROM, 2005. Advies met betrekking tot hoogspanningslijnen van de Staatssecretaris van VROM. Ministerie van VROM, Den Haag.

VROM, 2008. Verduidelijking van het advies met betrekking to hoogspanningslijnen. Brief van de Minister van VROM aan gemeenten, provincies en netbeheerders, 4 Nov 2008, Ministerie van VROM, Den Haag.

UNESCO COMEST, 2005, The Precautionary Principle. UNESCO, Parijs <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001395/139578e.pdf>

Walker, W.E., P. Harremoës, J. Rotmans, J.P. van der Sluijs, M.B.A. van Assel, M.B.A., P. Janssen, M.P. Kreyer von Krauss, 2003. Defining uncertainty: a

conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated Assessment* 4: 5-17.

Wertheimer, N., E. Leeper, 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology* 109: 3. pp 273-284.

Bijlage I

Scorekaart

AANNAME VOORAFGAAND/IN AAN DE REKENKETEN

mijn expertise op het gebied van deze aanname is: laag -- midden – hoog

Aanname:

| Criteria score | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | Toelichting |
|---|---------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Influence situational limitations | No such limitations | Hardly influenced | Moderately influenced | Importantly influenced | Completely influenced | |
| Plausibility | Very plausible | Plausible | Acceptable | Hardly plausible | Fictive or speculative | |
| Choice space | No alternatives available | Very limited number of alternatives | Small number of alternatives | Average number of alternatives | Very ample choice of alternatives | |
| Agreement among peers | Complete agreement | High degree of agreement | Competing schools | Low degree (embryonic stage) | Low degree (controversial) | |
| Agreement stake-holders | Complete agreement | High degree of agreement | Competing perspectives | Low degree of agreement | Controversial | |
| Sensitivity views and interests analyst | No sensitive | Hardly sensitive | Moderately sensitive | Highly sensitive | Very highly sensitive | |
| Influence on results | Little or no influence | Local impact in the calculations | Important impact in a major step in the calculation | Moderate impact on end result | Important impact on end result | |

Bijlage II

Poster, gepresenteerd tijdens de ISEE 2009 CONFERENCE (International Society for Environmental Epidemiology), Dublin, 27 augustus 2009.



Uncertainties in risk estimations of electromagnetic fields of overhead power lines

[Faculty of Science Chemistry]

A. de Jong, J.A. Wardekker, J.P. van der Sluijs

Technology and Society, Copernicus Institute, Utrecht University, The Netherlands

Introduction

In 2000, the Health Council of the Netherlands concluded on a 'relatively consistent association between the occurrence of childhood leukaemia and living in the vicinity of overhead power lines' (1). Making use of estimations on numbers of dwellings in different (magnetic) zones close to overhead power lines, the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) translated the relative risks of Ahlbom et al. (2) and Greenland et al. (3) into an annual number of extra cases of childhood leukaemia (4, 5). In their calculations, the presence of overhead power lines, in case of a causal relationship between exposure to ELF EM fields and childhood leukaemia, adds 0.4-0.5 extra cases leukaemia annually (to a total of 110 cases).

Objective

To come up with a prioritised list of sources of uncertainty; to give insight in the strong and weak points in the current available knowledge. In order to achieve this, both sources of uncertainty and assumptions in the already mentioned risk studies have been mapped systematically.

Method

In (4,5), a calculation chain has been used in order to make an estimate of the potential amount of extra cases of childhood leukaemia. The distinct steps in this calculation chain are:

- estimation magnetic field strength zones in the vicinity of overhead power lines
- determining the number of dwellings in each zone
- converting to the number of inhabitants in each zone
- converting to the number of children in each zone
- adapting 'Relative Risk' on calculated number exposed children for each magnetic field strength zone

On this calculation chain (the model) an uncertainty typology is adapted (6). The typology distinguishes for each (source of) uncertainty in the model location, nature, range, recognized ignorance, methodological unreliability and value diversity among analysts. These 6 characteristics of uncertainty are elaborated for each of the sources of uncertainty in the calculation chain.

Besides, assumptions in the distinct steps of the calculation chain are inventorised, based on both document analysis and interviews with experts.

References

- 1: Health Council of the Netherlands. Report No. 2000/06E. 2000. Den Haag
- 2: Ahlbom, A., Day, N., Feychting, M., Roman, E., Skinner, J., Dockerty, J., Linet, M., McBride, M., Michaelis, J., Olsen, J.H., Tynes, T., Verkasalo, P.K. Br. J. of Cancer 2000. 88(5): 692-698
- 3: Greenland, S., Sheppard, A. R., Kaune, W. T., Poole, C., Kelsh, M. A. Epidemiology 2000. 11: 624-634
- 4: Van der Plas, M., Houthuijs, D.J.M., Dusseldorp, A., Pennders, R.M.J., Pruppers, M.J.M. RIVM Report 610050 007. 2001
- 5: Pruppers, M.J.M. RIVM Letter-report 032/2003. 2003
- 6: Knol, A.B., Petersen, A.C., Van der Sluijs, J.P., Lebret, E. Env. Health. 2009. 8(21)

Results

Uncertainty typology

In total 18 sources of uncertainty have been found. The eight most important ones are described in Table 1.

Table 1: Uncertainty typology overhead power lines and child leukaemia

| Uncertainty characterizations | Nature Epistemic / Ontic | Range Statistical/ Scenario | Recognized ignorance | Methodo- logical Unreliability | Value diversity among analysts |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|
| Context uncertainty | | | | | |
| Share overhead power lines in total exposure ELF EMF | E | Sc | ++ | + | + |
| The nature of the effect (cancer) is stochastic | O | St | | | |
| Model structure uncertainty | | | | | |
| Shape possible exposure-response relationship | E | Sc | + | | + |
| Responsible damaging characteristic(s) ELF EMF | E | Sc | ++ | ++ | + |
| Parameter uncertainty | | | | | |
| Relative Risk as function of magnetic field strength | E/O | St | | | |
| Calibration: poor and/or inaccurate measurements; uncertainty about number of exposed children | E | St | | + | |
| Input data uncertainty | | | | | |
| Exposure assessment indirect | E/O | St/Sc | ++ | ++ | + |
| Selection bias | E | St | | ++ | + |

Assumptions in the calculation chain

In total at least 13 important assumptions prior to the calculation chain are inventorised, and nine in the calculation chain. The two most important assumptions in the calculation chain are:

Estimation magnetic field strength zones in the vicinity of overhead power lines

- The time-weighted average of the magnetic field strength causes the effect
- Adapting 'Relative Risk' on calculated number exposed children for each magnetic field strength zone
- The median value of the number of children inside distinct outlines of the magnetic field, as used in (2, 3) is a good estimation for the total number of exposed children in these zones

Conclusions

The lack of evidence for causality is the most important a priori source of uncertainty. The most important sources of uncertainty when setting up risk studies are:

- responsible damaging characteristic(s) ELF EMF
- responsible damaging period of exposure
- shape possible exposure-response relationship
- exposure assessments are indirect and in case of leukaemia over the year prior to diagnosis

Strong points in the current available knowledge of the Dutch situation are:

- a) knowledge about the situation on overhead power lines in the Netherlands ((rucial) parameters, zone widths of magnetic fields),
- b) knowledge about the number of dwellings (and children) in the vicinity of overhead power lines

Weak points concern the understanding of the mechanisms responsible for child leukaemia by exposure to ELF EMF: the responsible damaging characteristic(s) of ELF EMFs, the shape of the exposure-response relationship and the responsible damaging period of exposure. Besides, weak points are found for direct and time-continuous values for exposure by children, and estimates for remaining sources of ELF EMF.