

Hoogspanningslijnen en kinderleukemie

Dit kennisbericht gaat over de mogelijkheid dat langdurig wonen in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen de kans op leukemie bij kinderen verhoogt. Het bevat geen nieuwe wetenschappelijke onderzoeksresultaten maar zet de belangrijkste bestaande feiten en overwegingen op dit gebied op een rij. Het helpt om de discussies hierover in de maatschappij en adviezen van de rijksoverheid te begrijpen en vragen helder te kunnen beantwoorden.

Dit bericht begint met de conclusie van het Kennisplatform. Daarna wordt aangegeven wat over het onderwerp in de maatschappij speelt. Vervolgens geeft het kennisbericht een beschrijving van de huidige stand van de wetenschap en behandelt het de mogelijke manieren om het risico te verminderen. Bijlage 1 legt de belangrijkste begrippen uit met betrekking tot kinderleukemie en de elektriciteitsvoorziening in Nederland. Bijlage 2 geeft een toelichting op het beleid in Nederland en Europa.

1. Conclusie van het Kennisplatform

Kinderen die langdurig in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen wonen, hebben meer kans op leukemie dan kinderen die daar verder vanaf wonen. Het gaat dan om kinderen in woningen waar het magnetische veld sterker is dan circa 0,4 microtesla (μT). Internationaal wetenschappelijk onderzoek heeft hiervoor aanwijzingen gevonden.

Wetenschappers hebben echter niet kunnen aantonen of dit komt door het magnetische veld van bovengrondse elektriciteitslijnen of door iets anders dat met de aanwezigheid van deze lijnen samenhangt. Het ligt voor de hand dat dit risico waarschijnlijk beperkt kan worden door kinderen niet dichtbij hoogspanningslijnen te laten wonen. Maar het is wetenschappelijk gezien niet mogelijk om gedetailleerd aan te geven hoe dit risico verder verminderd kan worden.

Immers:

- **als ervan wordt uitgegaan dat het magnetische veld de oorzaak is**, dan zullen de maatregelen zich richten op het beperken van de blootstelling aan dat magnetische veld;
- **als ervan wordt uitgegaan dat de oorzaak onbekend is** dan zullen de maatregelen zich beperken tot het houden van afstand ten opzichte van hoogspanningslijnen.

Gezien de wetenschappelijke onzekerheden valt niet te zeggen wat het juiste uitgangspunt is. De verschillende uitgangspunten leiden wel tot verschillende inzichten over welke maatregelen doeltreffend zijn om het mogelijke risico voor kinderen te beperken.

Als wordt aangenomen dat het magnetische veld van bovengrondse hoogspanningslijnen de oorzaak is 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 diezelfde periode gemiddeld 270 kinderen leukemie.

Kinderen die langdurig in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen wonen, hebben meer kans op leukemie dan kinderen die daar verder vanaf wonen.



2. De maatschappelijke context

Er zijn sinds 1979 diverse wetenschappelijke onderzoeken uitgevoerd naar de vraag of bovengrondse elektriciteitslijnen kunnen samenhangen met aandoeningen zoals kanker, depressieve klachten, aangeboren afwijkingen of miskramen. Eén van de resultaten van dat onderzoek is dat een verhoogde kans op leukemie bij kinderen mogelijk samenhangt met het wonen in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen. Het gaat dan om woningen waar het magnetische veld sterker is dan circa 0,4 μT . In Nederland gaat het vooral om hoogspanningslijnen. De meeste andere elektriciteitslijnen liggen hier, in tegenstelling tot in veel andere landen, vaak onder de grond. Deze onderzoeksresultaten waren voor de Nederlandse overheid aanleiding om een advies uit te brengen aan gemeenten, provincies en netbeheerders. Hierin werd geadviseerd om in nieuwe situaties de blootstelling aan het magnetische veld van hoogspanningslijnen te beperken op plaatsen waar kinderen langdurig verblijven. Deze plaatsen zijn bijvoorbeeld woningen, scholen, crèches en kinderdagverblijven (zie Bijlage 2).

Publicaties over het wetenschappelijk onderzoek en het advies van de rijksoverheid leiden in verschillende gemeenten tot vragen en soms stevige discussies over hoogspanningslijnen. Aanleiding daarbij is de aanleg van nieuwe hoogspanningslijnen in de buurt van bestaande woningen, of van nieuwe woonwijken bij bestaande hoogspanningslijnen. Sommige mensen vragen zich af wanneer hun kinderen wel of geen risico lopen. Anderen willen weten of het risico alleen geldt voor bovengrondse hoogspanningslijnen of ook voor ondergrondse kabels of schakelstations. Sommige bewoners die al lang in de buurt van hoogspanningslijnen wonen, vragen zich af of hun kinderen extra risico lopen.

Leukemie bij kinderen

Leukemie bij kinderen is een ernstige ziekte die een ingrijpende en pijnlijke behandeling vereist. Naast een kans van 20% op overlijden leidt de behandeling tot blijvende schade in het lichaam (zie Bijlage 1 voor meer informatie over kinderleukemie). Het is niet bekend hoe leukemie precies ontstaat. Omdat leukemie verschillende verschijningsvormen kent, is het onwaarschijnlijk dat er één enkele oorzaak is. In wetenschappelijk onderzoek zijn zowel erfelijke als andere factoren als mogelijke oorzaak onderzocht. Voorbeelden van andere mogelijke factoren zijn: infectieziekten en blootstelling aan benzeen, bestrijdingsmiddelen, ioniserende straling en magnetische velden.

Als ervan wordt uitgegaan dat de magnetische velden van hoogspanningslijnen de kans op kinderleukemie vergroten, dan kunnen we uitrekenen dat in Nederland elke twee jaar één kind leukemie zou krijgen als gevolg van deze magnetische velden (zie Bijlage 1). In totaal krijgen in Nederland elke twee jaar gemiddeld 270 kinderen leukemie.

Beoordeling Gezondheidsraad en Wereldgezondheidsorganisatie (WHO)

De Gezondheidsraad en de WHO hebben het onderzoek naar het wonen in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van leukemie bij kinderen beoordeeld. Ze kwamen beide tot de conclusie dat er een samenhang is. Zij concludeerden dat niet is aangetoond dat het magnetische veld afkomstig van hoogspanningslijnen de oorzaak is.

De WHO komt tot de volgende aanbevelingen:

- De WHO ziet geen aanleiding om lagere blootstellinglimieten vast te stellen;
- De WHO vindt het redelijk om bij het bouwen van nieuwe voorzieningen of bij het ontwerpen van nieuwe apparatuur te onderzoeken of er mogelijkheden zijn om tegen



geringe kosten de blootstelling aan magnetische velden te verminderen. Deze mogelijkheden zullen van land tot land verschillen.

Standpunt Nederlandse rijksoverheid

De Nederlandse rijksoverheid heeft in reactie op de wetenschappelijke informatie ter invulling van het voorzorgsbeginsel beleid geformuleerd. Kort samengevat adviseert zij uit voorzorg om in nieuwe situaties blootstelling van kinderen aan magnetische velden van bovengrondse hoogspanningslijnen hoger dan 0,4 microtesla te voorkomen. Het doel is dat het aantal locaties waar kinderen langdurig verblijven nabij hoogspanningslijnen niet toeneemt. Het advies heeft betrekking op plekken waar kinderen normaal gesproken langdurig verblijven, zoals woningen, scholen, crèches en kinderopvangplaatsen. In Bijlage 2 is het staande beleid nader toegelicht.

3. De huidige stand van zaken in de wetenschap

Wetenschappelijk onderzoek naar een mogelijke samenhang tussen bovengrondse elektriciteitslijnen en kinderleukemie vindt sinds 1979 plaats. Dit onderzoek kan worden verdeeld in twee groepen die elkaar aanvullen.

1. Onderzoek waarbij men groepen kinderen met en zonder leukemie vergelijkt en daarbij kijkt hoe hun woonomstandigheden verschillen. Dit soort onderzoek geeft antwoord op de vraag of leukemie vaker voorkomt in een bepaalde situatie. Als een samenhang met een bepaalde situatie gevonden wordt, kan dergelijk onderzoek echter niet aangeven wat de oorzaak is en hoe dat komt. Het kan dus wel aantonen dat kinderen met leukemie gemiddeld vaker in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen wonen. Maar het kan niet aantonen dat blootstelling aan de magnetische velden van bovengrondse elektriciteitslijnen hiervan de oorzaak is.

Tot april 2009 zijn er meer dan twintig van dit soort onderzoeken naar leukemie bij kinderen in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen gepubliceerd. In Nederland is dit soort onderzoek niet uitgevoerd. Dit type onderzoek wordt epidemiologisch of observationeel onderzoek genoemd.

2. Onderzoek waarmee men probeert te verklaren hoe bovengrondse elektriciteitslijnen kinderleukemie zouden kunnen veroorzaken of beïnvloeden. Via dit soort onderzoek probeert men het biologische mechanisme achter de toename in kinderleukemie te vinden. Dat wordt gedaan door bijvoorbeeld experimenten met cellen of dieren in een laboratorium. Daarbij wordt gekeken naar hoe de magnetische velden of andere eigenschappen die samenhangen met hoogspanningslijnen tot een effect zouden kunnen leiden. Overigens, als er een relatie met (biologische) effecten wordt gevonden, kan dit onderzoek niet aantonen dat dergelijke effecten ook daadwerkelijk leiden tot gezondheidseffecten. Dit type onderzoek wordt experimenteel of verklarend onderzoek genoemd.

Uitkomsten van onderzoek naar de relatie tussen magnetische velden en kinderleukemie

Bij de beoordeling van de afzonderlijke epidemiologische onderzoeken vallen twee dingen op:

- in sommige onderzoeken wordt wel en in andere wordt geen verhoogd risico gevonden;
- het aantal leukemiepatiënten in de groepen met de hoogste blootstelling aan magnetische velden is relatief klein, waardoor het moeilijker wordt om conclusies te trekken voor deze groepen.



Door de informatie uit verschillende epidemiologische onderzoeken samen te voegen, is het mogelijk om een deel van deze problemen te ondervangen. Op deze manier is het gezamenlijke aantal kinderen in de hogere blootstellingcategorie groter. Hierdoor kan er meer gezegd worden over de resultaten. Dit soort analyses worden 'gepoolde analyses' genoemd.

In 2000 onderzochten twee groepen wetenschappers (Ahlbom et al. en Greenland et al.) onafhankelijk van elkaar de beschikbare onderzoeken. Zij hebben vervolgens de onderzoeken van goede kwaliteit die voldoende vergelijkbaar waren in een gepoolde analyse betrokken. In deze analyses werd 0,3 en 0,4 microtesla (zie ook Bijlage 1) als ondergrens gebruikt. Beide groepen wetenschappers kwamen tot de conclusie dat er bij blootstelling boven deze waarden een hoger risico is op het krijgen van kinderleukemie. Deze twee gepoolde analyses vormen de basis voor het standpunt van organisaties als de Gezondheidsraad en de WHO.

Verblijftijd

De invloed van de verblijftijd nabij hoogspanningslijnen op het risico kan op dit moment niet worden beoordeeld. Zo valt bijvoorbeeld niet te zeggen dat kinderen die vaker thuis zijn meer risico lopen dan kinderen die minder vaak thuis zijn. Bij de genoemde onderzoeken gaat het om kinderen die minstens een jaar op de opgegeven locatie wonen of hebben gewoond. De onderzoeken bevatten echter geen specifieke analyse van de verblijfsduur of de tijd die kinderen thuis doorbrengen. Die tijd hangt af van bijvoorbeeld de leeftijd en het gedrag van het kind en de leefwijze van de ouders. De epidemiologische onderzoeken trekken dus ook geen conclusies over de invloed van de verblijfsduur op de hoogte van het risico op kinderleukemie. Wel gaat het bij alle onderzoeken om kinderen die gedurende lange tijd wonen op de beschouwde plek. Daarom oordeelde de Gezondheidsraad in 2008 dat de epidemiologische gegevens gaan over kinderen die gedurende minimaal een jaar 14 - 18 uur per dag op de beschouwde locatie verblijven.

Oorzaken

Experimenteel of verklarend onderzoek heeft tot nu toe niet duidelijk gemaakt waardoor meer leukemie wordt gevonden bij kinderen die wonen nabij hoogspanningslijnen. In het onderzoek is gekeken naar zowel magnetische velden als andere mogelijke factoren. Het is dus niet aangetoond dat magnetische velden de oorzaak zijn van de gevonden samenhang.

Invloed op het ziekteverloop van leukemie

Het eerder genoemde epidemiologische onderzoek gaat over het optreden van kinderleukemie. In de afgelopen jaren zijn er ook enkele epidemiologische onderzoeken verschenen over het verdere verloop van kinderleukemie (nadat de ziekte is vastgesteld). Deze onderzoeken wijzen er niet op dat blootstelling aan magnetische velden van elektriciteitslijnen van invloed is op het verloop van het ziekteproces of de overlevingskans van de patiënten.

Conclusie

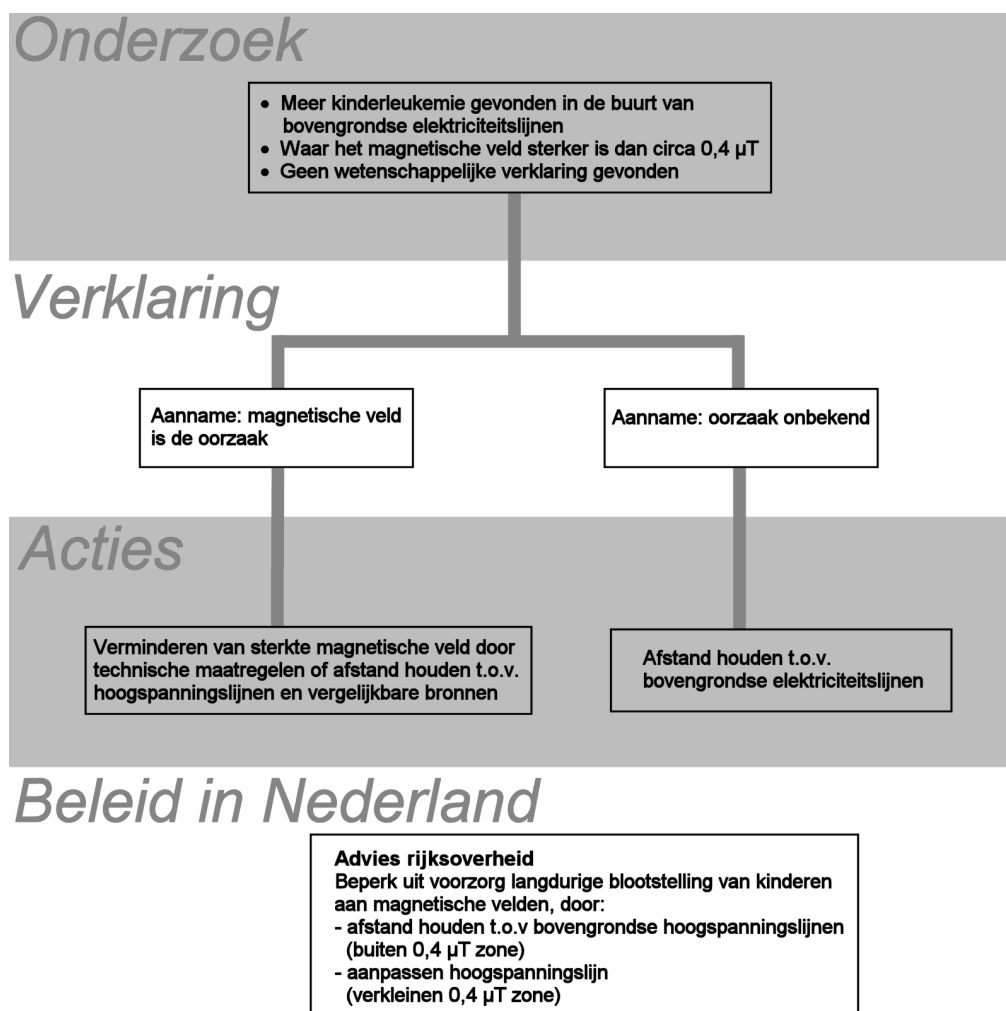
Het Kennisplatform constateert dat de epidemiologische onderzoeken aanwijzingen geven voor een samenhang tussen een verhoogde kans op kinderleukemie en wonen in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen. Het gaat dan om woningen waar het magnetische veld sterker is dan circa 0,4 microtesla (μT). Op de vraag welke factor verantwoordelijk is voor de samenhang, kan geen wetenschappelijk onderbouwd antwoord worden gegeven.



4. Hoe kan het risico worden verminderd?

Het is moeilijk aan te geven hoe het risico op leukemie effectief verminderd kan worden. Immers, de oorzaak is onbekend. Om effectieve maatregelen te kunnen uitwerken moet daarom een aanname gedaan over de meest waarschijnlijke oorzaak. Gelet op de wetenschappelijke informatie zijn er dan twee aannames mogelijk die leiden tot verschillende acties. Bij beide wordt ervan uitgegaan dat het risico dichtbij hoogspanningslijnen hoger is.

1. Als we ervan uitgaan dat het magnetische veld de oorzaak is, dan sluit daar inhoudelijk de actie bij aan om blootstelling van kinderen aan **magnetische velden** te beperken. In dat geval zou het logisch zijn niet alleen te kijken naar magnetische velden van hoogspanningslijnen, maar ook naar andere plaatsen waar dergelijke magnetische velden optreden.
2. Als we ervan uitgaan dat onbekend is wat de oorzaak is van de toename van kinderleukemie nabij hoogspanningslijnen, sluit daar inhoudelijk de actie bij aan om kinderen niet **dichtbij hoogspanningslijnen** te laten wonen. Het zou kunnen zijn dat het magnetische veld de oorzaak is, maar ook andere oorzaken zijn mogelijk om de toename in leukemie te verklaren. Door de grotere afstand zou dan de invloed van de factoren afnemen.



Figuur 1 Overzicht met een verkorte beschrijving van de onderzoeksconclusies, de uitgangspunten, de mogelijke acties en het beleid in Nederland.

In Figuur 1 zijn de verschillende uitgangspunten schematisch weergegeven. De acties die deze twee uitgangspunten tot gevolg hebben voor de maatschappij, worden vervolgens in de



paragrafen daarna toegelicht. Omdat niet bekend is welke van de twee uitgangspunten juist is, spreekt het Kennisplatform geen voorkeur uit voor één van de twee acties om de risico's te verlagen. Maatregelen waardoor kinderen niet dichtbij hoogspanningslijnen wonen, sluiten aan bij beide uitgangspunten.

4.1 Hoe het risico te verlagen als het magnetische veld de oorzaak is?

Als we ervan uitgaan dat het magnetische veld de oorzaak is van de toename van kinderleukemie in de buurt van hoogspanningslijnen, dan zijn er een aantal mogelijkheden om het risico te verminderen.

Hoogspanningslijnen

Om het risico op kinderleukemie te verkleinen, is het vanuit dit uitgangspunt van belang dat de blootstelling van kinderen aan magnetische velden van hoogspanningslijnen wordt vermindert. De Nederlandse rijksoverheid adviseert om daarbij 0,4 microtesla als grenswaarde te hanteren. Daarbij past de maatregel om kinderen niet te laten wonen nabij hoogspanningslijnen waar de blootstelling groter is dan 0,4 microtesla.

Het is ook mogelijk technische maatregelen te treffen die tot smallere zones langs bovengrondse hoogspanningslijnen leiden waarbinnen het magnetische veld sterker is dan 0,4 microtesla. Voorbeelden van technische maatregelen zijn:

- optimaliseren van de manier waarop de drie draden (fasen) aan de hoogspanningsmast worden opgehangen (optimalisatie van de klokgetallen);
- verdelen van de stroom over vier in plaats van over drie draden (fasesplitsing);
- ondergronds aanleggen van een hoogspanningslijn. Bij ondergrondse hoogspanningskabels is de zone waar het magnetische veld hoger is dan 0,4 microtesla smaller dan bij vergelijkbare bovengrondse hoogspanningslijnen.

Andere bronnen van magnetische velden

Magnetische velden zijn niet alleen afkomstig van hoogspanningslijnen. De blootstelling van kinderen aan magnetische velden treedt overal op. Voorbeelden hiervan zijn:

- **Binnenshuis:** de blootstelling aan de velden van elektrische apparaten zoals wasmachines, stofzuigers, keukenapparatuur, televisies en computers. Ook in de buurt van onderdelen van het elektriciteitsnet komen magnetische velden voor, zoals bij de bedrading in de muren. Dit kan zowel thuis zijn als bijvoorbeeld op school.
- **Buitenshuis:** blootstelling aan magnetische velden van bijvoorbeeld elektriciteitsvoorzieningen in en rond sportcomplexen, openbaar vervoer, in de buurt van transformatorhuisjes of op straat (ondergrondse elektriciteitskabels).

Magnetische velden van andere bronnen hebben andere eigenschappen en intensiteiten dan velden van hoogspanningslijnen. Bij ondergrondse elektriciteitskabels is bijvoorbeeld de maximale veldsterkte net boven de grond groter maar neemt deze sneller af met de afstand, bij huishoudelijke apparaten kan de kortstondige veldsterkte eveneens hoger zijn. De velden van andere bronnen zijn dus niet zomaar te vergelijken met die van hoogspanningslijnen.

Tot op enkele tientallen centimeters van elektrische apparaten binnenshuis en binnen enkele meters van transportkabels, transformatorhuisjes en schakelstations buitenshuis kan de sterkte van het magnetische veld hoger zijn dan 0,4 microtesla. De verblijfsduur van kinderen op deze afstanden is meestal korter dan de verblijfsduur in woningen. De beschikbare gegevens zijn onvoldoende om een schatting te kunnen maken van het aantal extra kinderen met leukemie als gevolg van de blootstelling aan magnetische velden van deze bronnen (zie ook Bijlage 1).



Het aanbrengen van afscherpende voorzieningen in woningen, zoals het aanbrengen van metaal, helpt nauwelijks om de magnetische veldsterkte te verlagen. Ook het gebruik van aluminiumfolie of andere materialen heeft nagenoeg geen effect op de blootstelling aan magnetische velden. Het is soms wel mogelijk om met aanpassingen in schakelstations en transformatorhuisjes de omvang van het magnetische veld te beperken.

4.2 Hoe het risico te verlagen als de oorzaak onbekend is?

Als we ervan uitgaan dat onbekend is wat de oorzaak van de toename van kinderleukemie in de buurt van hoogspanningslijnen is, dan zijn maatregelen om het risico te verkleinen niet te baseren op één specifieke oorzaak. Maatregelen moeten daarbij zo goed mogelijk rekening houden met de verscheidenheid aan mogelijke oorzaken. Zoals eerder beschreven, is het doel daarbij om kinderen niet dichtbij bovengrondse hoogspanningslijnen te laten wonen.

Het onderzoek naar bovengrondse elektriciteitslijnen en kinderleukemie is in het buitenland gedaan. De vertaling van fysische eigenschappen van bovengrondse elektriciteitslijnen in het buitenland naar de Nederlandse hoogspanningslijnen is lastig omdat er verschillen zijn tussen de hoogspanningsnetten. Net als bij het magnetische veld neemt ook de blootstelling aan milieufactoren, die samenhangen met bovengrondse elektriciteitslijnen, af met de afstand. In de literatuur worden milieufactoren genoemd zoals:

- de corrosie en de slijtage van de gebruikte materialen,
- het gebruik van bestrijdingsmiddelen om vegetatiegroei tegen te gaan,
- de aanwezigheid van gebundelde infrastructuur zoals wegen en industrie.

Om het risico op kinderleukemie te verkleinen kan men besluiten om kinderen niet dichtbij hoogspanningslijnen te laten wonen. Op basis van het bekende onderzoek is echter niet nauwkeurig te bepalen welke afstand veilig is. Over het algemeen wordt aangenomen dat op een grotere afstand tot de hoogspanningslijnen het risico op kinderleukemie kleiner is.

5. Afweging van risico's

Het nemen van maatregelen om bijvoorbeeld de blootstelling aan magnetische velden van hoogspanningslijnen en eventuele bronnen te beperken, kan kostbaar en ingewikkeld zijn. Sommige maatregelen, zoals het elders realiseren van bouwplannen, kunnen andere risico's hebben, zoals een afname van de verkeersveiligheid. Een verstandig besluit is alleen mogelijk bij een goede afweging van alle betrokken risico's met de kosten en baten van maatregelen. De bestuurlijke afweging tussen de kosten, de mogelijk andere risico's en de mogelijke gezondheidswinst is geen zaak van het Kennisplatform.

6. Aanvullend onderzoek

Het Kennisplatform signaleert dat om de effectiviteit van maatregelen wetenschappelijk te kunnen onderbouwen er aanvullend onderzoek uitgevoerd moet worden. De Gezondheidsraad en de WHO hebben geadviseerd om via nader onderzoek beter inzicht te krijgen in het verband tussen blootstelling aan magnetische velden van bovengrondse hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. Het Kennisplatform ziet in dat opzicht vooral meerwaarde in experimenteel of verklarend onderzoek naar de biologische mechanismen die de gevonden samenhang kunnen verklaren.

Het Kennisplatform realiseert zich dat het onduidelijk is op welke termijn dergelijk onderzoek antwoord kan geven op de vraag naar de oorzaak van de relatie tussen het langdurig wonen in de buurt van hoogspanningslijnen en de kans op leukemie bij kinderen.



Verantwoording

Kennisberichten beschrijven het standpunt van het Kennisplatform Elektromagnetische Velden en Gezondheid over een specifieke (wetenschappelijke) publicatie of een onderwerp.

Kennisberichten zijn het resultaat van overleg tussen deskundigen uit de organisaties die deelnemen aan het Kennisplatform. De Gezondheidsraad heeft bij dat overleg een adviserende functie. Alle aan het Kennisplatform deelnemende organisaties staan achter de inhoud van de kennisberichten. De lijst van door de organisaties geraadpleegde literatuur is bij het Bureau Kennisplatform EMV op te vragen.



Bijlage 1. Toelichting en begrippen

De elektriciteitsvoorziening in Nederland

Transport van elektriciteit

Elektriciteit die door bijvoorbeeld energiecentrales, windmolens of zonnepanelen wordt geproduceerd, moet naar de eindverbruiker (huishoudens en bedrijven) worden getransporteerd. Transport over lange afstanden vindt plaats op hoge spanning via het hoogspanningsnet. Dit netwerk bestaat uit bovengrondse hoogspanningslijnen, ondergrondse hoogspanningskabels en zogenaamde onderstations (schakelstations). In Nederland worden hoogspanningen van 380 kilovolt (kV), 220 kV, 150 kV, 110 kV en 50 kV gebruikt.

Het grootste deel van het hoogspanningsnetwerk in Nederland bestaat uit bovengrondse lijnen. Een bovengrondse hoogspanningslijn bestaat uit een rij masten waaraan geleidende draden aan isolatorkettingen hangen. Meestal hangen drie (bundels) draden links en drie rechts aan de mast. De lijn wordt beschermd tegen blikseminslag door één of enkele bliksemdraden boven aan de masten die geleidend met de masten zijn verbonden. Een deel van het netwerk is uitgevoerd als ondergrondse kabels (waarvan het grootste deel bestaat uit 50 kV-kabels). Een ondergrondse hoogspanningsverbinding bestaat meestal ook uit twee groepen van drie kabels die ongeveer 1,2 meter onder het maaiveld liggen. Bovengrondse en ondergrondse verbindingen worden aan elkaar gekoppeld in zogenaamde opstijpunten of in schakelstations.

In de schakelstations wordt de hoogspanning naar middenspanning (meestal 10 kV) omgezet en over het middenspanningsnetwerk verdeeld. Dit netwerk bestaat in Nederland vrijwel alleen uit ondergrondse kabels. In transformatorhuisjes wordt de middenspanning tenslotte omgezet naar laagspanning voor de energievoorziening van huishoudens en bedrijven. Het laagspanningsnetwerk van ondergrondse kabels bestaat uit het lichtnet van 230 volt (V) en 400 V (krachtstroom) en een industrienetwerk van 700 V.

Elektrische en magnetische velden

Op de draad van een elektrisch apparaat dat met het stopcontact is verbonden, staat elektrische spanning, ook als het apparaat 'uit' staat. Ook op de draden van een hoogspanningslijn staat elektrische spanning. Als het apparaat 'aan' staat, loopt er bovendien een elektrische stroom. Er loopt dan ook een elektrische stroom door de draden van de bovengrondse hoogspanningslijn om de energie van het ene punt naar het andere te brengen.

Een draad waar elektrische spanning op staat, veroorzaakt een **elektrisch veld**. Bij een hoogspanningsverbinding is de sterkte van het elektrische veld afhankelijk van de hoogte van de spanning, de afstand tot de draden en de manier waarop de draden aan de mast hangen. Ondergrondse kabels veroorzaken boven de grond geen elektrisch veld.

Een draad waar ook een elektrische stroom door loopt, veroorzaakt naast een elektrisch veld ook een **magnetisch veld**. Bij een hoogspanningsverbinding hangt de sterkte van het magnetische veld af van de stroom door de draden, de afstand tot de draden en de manier waarop de draden aan de mast hangen of in de grond liggen. Ondergrondse kabels veroorzaken ook magnetische velden boven de grond.

De elektrische en magnetische velden rond de hoogspanningslijnen worden ook wel extreem-laagfrequente (ELF) velden genoemd. Het Nederlandse elektriciteitsnetwerk transporteert namelijk '50 hertz (Hz) wisselstroom'. Dat wil zeggen dat de stroom met een frequentie van



50 maal per seconde van richting verandert. De elektrische en magnetische velden rond een hoogspanningslijn veranderen hierdoor ook met een frequentie van 50 maal per seconde.

Sterkte van het magnetische veld

De sterkte van het magnetische veld wordt uitgedrukt in de eenheid tesla of microtesla (1 tesla = 1 miljoen microtesla)¹. Op 1 meter hoogte boven de grond direct onder de draden van een **bovengrondse hoogspanningslijn** is de sterkte van het magnetische veld in de regel niet meer dan 20 microtesla, maar meestal lager. De sterkte van het magnetische veld is het hoogst midden tussen twee masten, op het punt waar de draden het laagst hangen. Volgens een aanbeveling van de Europese Unie (uit 1999) zijn leden van de bevolking afdoende beschermd tegen acute effecten van blootstelling aan 50 Hz magnetische velden als de sterkte van het veld lager is dan 100 microtesla. Dit niveau wordt nergens overschreden op de voor het publiek toegankelijke plaatsen in de buurt van hoogspanningslijnen.

In Nederland is geen totaaloverzicht beschikbaar van de sterkte van magnetische velden onder hoogspanningslijnen, boven **ondergrondse hoogspanningskabels, bij onderstations of bij opstijpunten**. Er is wel een indicatief overzicht beschikbaar voor bovengrondse hoogspanningslijnen. Voor zowel ondergrondse kabels als voor opstijpunten geldt dat men in de praktijk dicht bij de draden kan komen dan bij bovengrondse hoogspanningslijnen. Het magnetische veld wordt nauwelijks door de grond afgeschermd; de kabels liggen normaal gesproken op 1,2 meter onder de grond. Hierdoor kan het magnetische veld op 1 meter hoogte boven een ondergrondse kabel hoger zijn dan op 1 meter hoogte onder een bovengrondse hoogspanningslijn. De zone waar het magnetische veld sterker is dan bijvoorbeeld 0,4 microtesla is boven de ondergrondse kabel smaller dan onder een vergelijkbare bovengrondse hoogspanningslijn. De sterkte van het magnetische veld bij opstijpunten is naar schatting vergelijkbaar met ondergrondse kabels.

Elektrische apparaten moeten voldoen aan de Europese normen die een maximaal niveau van 100 microtesla hanteren. Binnen enkele tientallen centimeters van apparaten, zoals een stofzuiger, worden wel veldsterkten van meer dan 0,4 microtesla gemeten. Een overzicht van magnetische veldsterkten van enkele apparaten zijn te vinden op de websites van het ministerie van VROM en het RIVM.

Kinderleukemie

Leukemie is een ziekte die bij kinderen en volwassenen voorkomt. Leukemie bij kinderen is een ernstige ziekte die naast een kans van 20% op overlijden door een ingrijpende en pijnlijke behandeling leidt tot blijvende schade in het lichaam. Na genezing kunnen pijnklachten, groeistoornissen, onvruchtbaarheid, hartritme stoornissen en neuropsychologische veranderingen optreden

Leukemie kenmerkt zich door een ongecontroleerde deling van onrijpe bloedcellen. Door een storing in het rijpingsproces groeien deze cellen niet uit tot normale bloedcellen. Daardoor krijgen de kinderen te maken met onder meer bloedarmoede, stollings- en afweerstoornissen. Leukemie wordt onderverdeeld: zo spreekt men van acute leukemie als het ziekteproces zich snel voltrekt en van chronische leukemie wanneer het ziekteproces zich langzaam voltrekt. Volgens de kankerregistratie over de periode 1999-2003 krijgen in Nederland elk jaar gemiddeld 135 kinderen leukemie. Bij vrijwel alle kinderen (95%) betreft het acute leukemie.

¹ De microtesla is eigenlijk de eenheid van de magnetische fluxdichtheid en niet van de magnetische veldsterkte. Omdat in de literatuur vrijwel altijd de magnetische veldsterkte in microtesla wordt uitgedrukt, sluit dit kennisbericht voor de leesbaarheid bij die, onjuiste, 'traditie' aan.



Kinderleukemie treedt vooral op bij jonge kinderen; meer dan de helft van de Nederlandse kinderen die leukemie krijgen, is jonger dan 5 jaar.

Het is niet bekend hoe leukemie precies ontstaat. Omdat leukemie verschillende verschijningsvormen kent, is het bovendien onwaarschijnlijk dat er één enkele oorzaak is. In wetenschappelijk onderzoek zijn zowel erfelijke als allerlei omgevingsfactoren als mogelijke oorzaak onderzocht. Voorbeelden van andere mogelijke factoren zijn: infectieziekten en blootstelling aan benzeen, bestrijdingsmiddelen, ioniserende straling en magnetische velden.

Aantal patiënten

Als wordt aangenomen dat het magnetische veld van **bovengrondse hoogspanningslijnen** de oorzaak van de verhoging van het risico is (volgens uitgangspunt 1), kan een schatting worden gemaakt hoeveel kinderen hierdoor leukemie zouden krijgen. Daarbij is uitgegaan van de volgende gegevens:

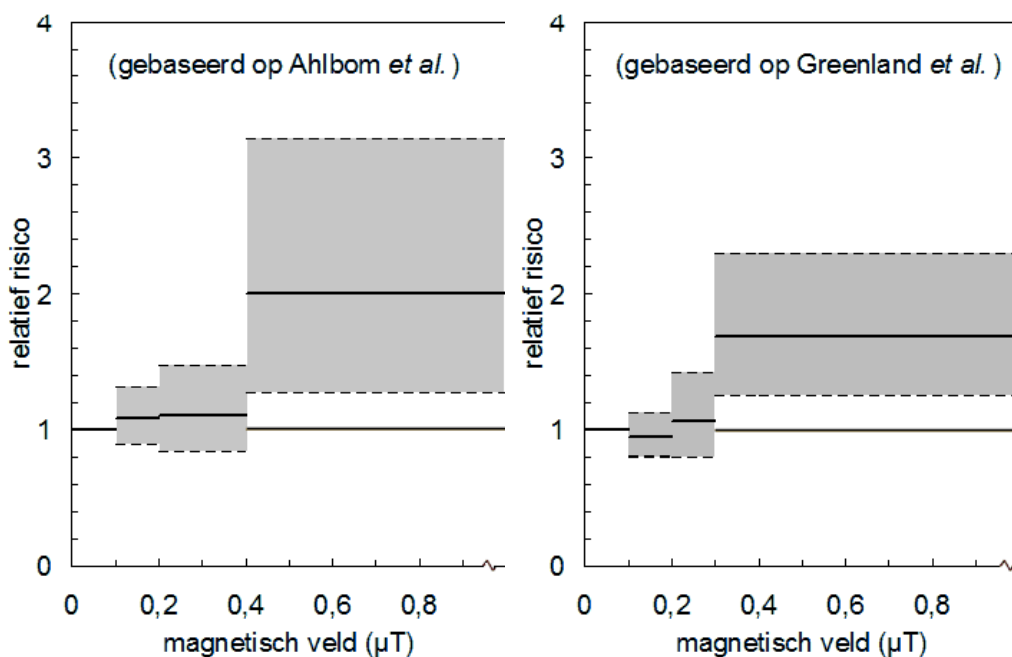
- er zijn in Nederland in totaal 3 miljoen kinderen tussen 0 en 15 jaar;
- daarvan wonen er ongeveer 11.000 binnen de zone waar het magnetische veld gemiddeld over een jaar hoger is dan 0,4 microtesla;
- jaarlijks wordt in Nederland bij gemiddeld 135 kinderen leukemie vastgesteld, ongeveer 4,5 keer per 100.000 kinderen;
- het relatieve risico op kinderleukemie uit de gepoolde analyses van Ahlbom en Greenland is 1,7 tot 2,0.

Uitgaande van deze gegevens zou ongeveer één kind per twee jaar in Nederland leukemie krijgen door de magnetische velden van hoogspanningslijnen. In totaal krijgen in diezelfde periode gemiddeld 270 kinderen leukemie.

Het is onmogelijk in te schatten hoeveel kinderen in deze redenering leukemie zouden krijgen door de magnetische velden van **andere bronnen** dan bovengrondse hoogspanningslijnen. Er zijn geen goede meetgegevens over de hoogte van die velden in Nederland. Het is ook niet bekend hoelang kinderen aan die velden worden blootgesteld of van welke blootstellingsparameter moet worden uitgegaan. Het is dan ook niet mogelijk op basis van de huidige wetenschappelijke informatie een inschatting te geven in hoeverre maatregelen om de magnetische velden te reduceren van invloed zijn op het aantal kinderen met leukemie.

Wetenschappelijk onderzoek naar magnetische velden als mogelijke oorzaak

De gepoolde analyses van de onderzoeksgroepen van Ahlbom en van Greenland (kortweg Ahlbom en Greenland) lijken sterk op elkaar, maar verschillen op enkele punten. Zo hebben beiden op grond van kwaliteitscriteria en onderlinge vergelijkbaarheid de beschikbare onderzoeken beoordeeld en geschikte onderzoeken geselecteerd. Uiteindelijk hebben zij grotendeels dezelfde onderzoeken gebruikt: negen door Ahlbom en twaalf door Greenland; acht onderzoeken worden door beiden gebruikt. Wat de blootstelling betreft, hanteert Greenland als hoogste categorie een blootstelling hoger dan 0,3 microtesla en Ahlbom hoger dan 0,4 microtesla. Ondanks de verschillen in opzet komen beiden tot dezelfde conclusie dat er een hoger risico op kinderleukemie bestaat in de hoogste blootstellingscategorie (zie Figuur 2).



Figuur 2 Relatieve risico of kansverhouding (-----) en 95%-betrouwbaarheidsinterval (grijs gebied begrensd door - - - -) als functie van de sterkte van het magnetische veld volgens de gepoolde analyses van Ahlbom et al. en Greenland et al. (bron: Van der Plas et al., 2000).

Greenland vindt een relatief risico (kansverhouding) van 1,69 [95% betrouwbaarheidsinterval 1,25 - 2,29] voor blootstelling hoger dan 0,3 microtesla vergeleken met blootstelling lager dan 0,1 microtesla. Ahlbom berekent een relatief risico van 2,00 [95% betrouwbaarheidsinterval 1,27 - 3,13] voor blootstelling hoger dan 0,4 microtesla vergeleken met blootstelling lager dan 0,1 microtesla. Dit houdt in dat in de hoogste blootstellingcategorie het optreden van kinderleukemie 1,7 respectievelijk 2,0 keer vaker voorkomt. Het betrouwbaarheidsinterval geeft aan tussen welke uitersten de werkelijke waarde waarschijnlijk ligt.



Bijlage 2. Beleid in Nederland en Europa

Beleid in Europa

De Europese Unie (EU) heeft in 1999 blootstellingslimieten (basisrestricties) en daarvan afgeleide referentieniveaus aanbevolen. Als de blootstelling lager is dan de referentieniveaus kan ervan worden uitgegaan dat de limieten niet worden overschreden. Voor magnetische velden die met de elektriciteitsvoorziening samenhangen bedraagt het referentieniveau 100 microtesla. De EU-aanbeveling is gebaseerd op de aanbevelingen van de International Commission for Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP). De aanbevelingen van ICNIRP zijn gebaseerd op wetenschappelijk vastgestelde effecten van magnetische velden die tijdens of kort na blootstelling optreden. Vrijwel alle Europese landen baseren hun beleid voor bescherming van de bevolking op het referentieniveau van 100 microtesla uit de EU-aanbeveling.

Specifiek voor hoogspanningslijnen hebben Nederland, Italië en Zwitserland aanvullend beleid dat gebaseerd is op het voorzorgsbeginsel. Italië vertaalt het voorzorgsbeginsel door het wettelijk vastleggen van twee limieten voor de magnetische veldsterkte: 3 microtesla in bestaande situaties en 1 microtesla in nieuwe situaties. Zwitserland hanteert voor nieuwe woningen, scholen en ziekenhuizen een maximale sterkte van het magnetische veld van 1 microtesla bij een maximale belasting van de hoogspanningslijn. Het advies van de Nederlandse rijksoverheid gaat verder dan in de andere landen en wordt hierna toegelicht.

Beleid Nederlandse rijksoverheid

Nederland kent, net als de meeste andere Europese landen, geen wettelijk vastgestelde limieten voor blootstelling van de bevolking aan magnetische velden van hoogspanningslijnen. Wel heeft de Nederlandse rijksoverheid de Europese aanbeveling overgenomen in adviezen aan lokale overheden. In het kader van productaansprakelijkheid zijn de Europese blootstellingslimieten van toepassing via de Nederlandse wetgeving.

Specifiek voor hoogspanningslijnen adviseert de Nederlandse rijksoverheid:

"...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)".

Dit advies heeft de volgende ontstaansgeschiedenis:

- **2001:** In het vierde Nationaal Milieubeleidsplan geeft de Nederlandse overheid aan beleid voor hoogspanningslijnen te willen maken. Basis voor het beleid is de samenhang tussen wonen in de buurt van hoogspanningslijnen en het optreden van kinderleukemie. Hoewel een oorzakelijk verband niet bewezen is, wil de overheid op grond van het voorzorgsbeginsel met het nemen van maatregelen niet op volledige wetenschappelijke zekerheid wachten.
- **2001 - 2005:** Het beleid wordt verder uitgewerkt in overleg tussen het Ministerie van VROM en beheerders van het hoogspanningsnetwerk, gemeenten, provincies en maatschappelijke organisaties.
- **Eind 2005:** Het beleid wordt in de vorm van een advies aan gemeenten, provincies en netbeheerders gepubliceerd.
- **Eind 2008:** Het advies wordt bevestigd en een aantal begrippen waaronder langdurig verblijf, gevoelige bestemmingen en bestaande situaties worden verduidelijkt.



Het beleid richt zich daarmee uitsluitend op **nieuwe situaties**. Dat kunnen nieuw te bouwen woningen zijn of nieuw aan te leggen hoogspanningslijnen. De rijksoverheid probeert het beleidsdoel te bereiken door gemeenten en netbeheerders te vragen om geen gevoelige bestemmingen te realiseren binnen een zone langs bovengrondse hoogspanningslijnen waar het magnetische veld gemiddeld over een jaar hoger is dan 0,4 microtesla. Gevoelige bestemmingen zijn plekken waar kinderen normaal gesproken langdurig verblijven, zoals woningen, scholen, crèches en kinderdagverblijven. Het beleid beperkt zich tot bovengrondse hoogspanningslijnen. De andere componenten van het hoog- en middenspanningsnetwerk (ondergrondse kabels, onderstations, transformatorhuisjes) vallen hier niet onder.

Het beleid gaat uit van **indicatieve zones** langs bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het magnetische veld gemiddeld over een jaar hoger is dan 0,4 microtesla. Bij het berekenen van de breedte van deze indicatieve zone zijn enkele jaren geleden zodanige aannames gemaakt dat de werkelijke 0,4 microteslazone (specifieke zones) voor de meeste bovengrondse hoogspanningslijnen smaller is dan de indicatieve zone. De breedte van de indicatieve zones varieert van 90 meter (2 x 45 m) tot 430 meter (2 x 215 m).

GGD richtlijn

Op 21 juni 2006 heeft het landelijke centrum medische milieukunde (LCM) een standpunt uitgebracht ten aanzien van de elektromagnetische velden die samenhangen met elektriciteitsvoorzieningen. In het LCM werkten de Medische Milieukundige GGD medewerkers samen om te komen tot gezamenlijke standpunten.

Volgens het LCM bestaat er onzekerheid over een oorzakelijk verband en de ernst van het eventuele effect. Daarom adviseert zij om uit voorzorg **langdurig verblijf van kinderen** in een **magnetisch veld hoger dan 0,4 microtesla zoveel als redelijkerwijs mogelijk is**, te vermijden. Het advies richt zich daarmee op alle bronnen van magnetische velden die samenhangen met het elektriciteitsnetwerk.

Verder adviseert het LCM om in specifieke lokale situaties waarbij sprake is van langdurig verblijf van kinderen rondom bronnen van magnetische velden, te streven naar een zo laag mogelijke magnetische veldsterkte, met als advieswaarde 0,4 microtesla. Wat redelijkerwijs mogelijk is, kan zowel in bestaande als in nieuwe situaties worden afgewogen. Het LCM benadrukt daarbij dat gemeenten, op grond van de VROM nota "Nuchter Omgaan met risico's", in alle specifieke lokale situaties tot een eigen afweging kunnen komen.