

Hoogspanningslijnen en gezondheid deel I: kanker bij kinderen

Aan: de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat
Nr. 2018/08, Den Haag 18 april 2018

Gezondheidsraad



inhoud

Samenvatting	3	04 Andere vormen van kanker bij kinderen	26
01 Inleiding	6	4.1 Hersentumoren: afstand	27
1.1 Achtergrond	7	4.2 Hersentumoren: magneetveldsterkte	27
1.2 Kinderleukemie in Nederland	8	4.3 Lymfomen: magneetveldsterkte	29
1.3 Adviesaanvraag	8	4.4 Conclusie	30
1.4 Werkwijze	9	05 Andere factoren dan magnetische velden	31
1.5 Leeswijzer	10	5.1 Versturende factoren	32
02 Elektriciteitslijnen en magnetische velden	12	5.2 De corona-hypothese	32
2.1 Spanning, stroom en velden	13	5.3 De contactstroom hypothese	33
2.2 Veldsterkte	13	06 Conclusies en advies	34
2.3 Blootstelling bepalen	15	Literatuur	39
03 Leukemie bij kinderen	17		
3.1 Afstand tot bovengrondse elektriciteitslijnen	18		
3.2 Magneetveldsterkte	21		
3.3 Conclusies	24		



samenvatting

In Nederland ontstaan jaarlijks ongeveer 135 nieuwe gevallen van leukemie bij kinderen. Er zijn aanwijzingen dat kinderen die in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen wonen een tot ongeveer twee maal hogere kans hebben om deze ziekte te krijgen dan andere kinderen. Dat betekent dat één geval van kinderleukemie per twee jaar mogelijk samenhangt met de aanwezigheid van bovengrondse elektriciteitslijnen. Blootstelling aan magnetische velden die de lijnen opwekken zou hiervoor verantwoordelijk kunnen zijn, al vallen andere (onbekende) factoren of toeval niet uit te sluiten. Mede op basis van een advies van de Gezondheidsraad uit 2000 adviseert de Rijksoverheid aan gemeenten, provincies en netbeheerders een voorzorgsbeleid. Dat beleid wil zoveel mogelijk voorkomen dat er nieuwe situaties ontstaan waarin kinderen langdurig worden blootgesteld aan door bovengrondse hoogspanningslijnen

opgewekte magnetische velden die gemiddeld over het jaar sterker zijn dan 0,4 microtesla.

Adviesaanvraag

De toenmalige staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (het huidige Infrastructuur en Waterstaat) heeft de Gezondheidsraad gevraagd het advies uit 2000 te actualiseren en daarbij niet alleen naar leukemie te kijken, maar ook naar andere gezondheidseffecten. Dit eerste deeladvies gaat over kanker bij kinderen. In vervolgadvisen komen kanker en ziektes van het zenuwstelsel bij volwassenen aan bod.

Twee soorten onderzoek: naar afstand en naar magneetveldsterkte

De commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad heeft de gegevens over een mogelijke relatie tussen de blootstelling aan magnetische velden die worden opgewekt door bovengrondse en ondergrondse elektriciteits-

lijnen en het optreden van kanker bij kinderen opnieuw en in meer detail geanalyseerd, met inbegrip van de meest recente onderzoeken. De meeste onderzoeken meten niet de exacte blootstelling van kinderen, omdat dat te complex en tijdrovend is. In plaats daarvan wordt in sommige onderzoeken gekeken naar de afstand tussen de woning van het kind en de elektriciteitslijn, omdat met toenemende afstand de door de lijn veroorzaakte magneetveldsterkte afneemt en de afstand daarmee een indicatie geeft voor de magneetveldsterkte in de woning. In andere onderzoeken wordt de magneetveldsterkte in de woning bepaald door middel van berekeningen, metingen, of combinaties van beide.

Kinderleukemie

Alle onderzoeken bij elkaar duiden op een hoger risico op kinderleukemie naarmate de afstand kleiner en de magneetveldsterkte hoger is. Hierbij is het geschatte risico hoger naarmate de blootstelling aan magnetische velden nauwkeuriger is bepaald. Bij de meest representatieve blootstellingsschatting is de magneetveldsterkte



bepaald in alle woningen waar het kind tussen geboorte en diagnose heeft gewoond. Bij kinderen die langdurig zijn blootgesteld aan een gemiddelde magneetveldsterkte van 0,3 tot 0,4 microtesla of meer, lijkt het risico op leukemie naar schatting ruim twee en een half keer zo hoog als bij kinderen die op het achtergrondniveau worden blootgesteld. Bij deze risicoschatting is er sprake van een aanzienlijke onzekerheid, maar de kans dat er in werkelijkheid geen verhoogd risico is, acht de commissie klein. Deze nieuwe analyses bevestigen de eerdere conclusies van de Gezondheidsraad.

Andere vormen van kanker

Van andere vormen van kanker bij kinderen zijn alleen onderzoeksgegevens beschikbaar over hersentumoren en lymfomen, maar alleen voor hersentumoren zijn er voldoende gegevens om analyses uit te voeren. In onderzoeken met alleen afstand als blootstellingsmaat zijn geen aanwijzingen gevonden voor een verband met hersentumoren bij kinderen. In onderzoeken met magneetveldsterkte als blootstellingsmaat lijkt

het risico op hersentumoren bijna anderhalf keer zo hoog bij kinderen die in hun woningen langdurig zijn blootgesteld aan gemiddelde magneetveldsterktes van 0,4 microtesla of meer. Bij deze risicoschatting is er sprake van een aanzienlijke onzekerheid en acht de commissie de kans dat de verhoging op toeval berust groter dan bij leukemie.

Conclusies

Uit de analyses van de commissie komen aanwijzingen voor een relatie tussen blootstelling aan magnetische velden rondom bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van leukemie en wellicht ook hersentumoren bij kinderen. Als de resultaten worden samengevat in een door het Amerikaanse Environmental Protection Agency opgesteld classificatiesysteem voor oorzakelijkheid concludeert de commissie dat er voor leukemie en voor hersentumoren 'aanwijzingen voor een oorzakelijk verband' zijn met de blootstelling aan magnetische velden. Wel zijn de aanwijzingen bij hersentumoren zwakker dan bij leukemie. De

bewijskracht voor beide typen tumoren is, mede doordat hiervoor in proefdieronderzoek geen ondersteuning is gevonden, niet voldoende om te spreken van een 'waarschijnlijk' of 'bewezen' oorzakelijk verband.

Over het risico op lymfomen bij kinderen zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om een uitspraak te doen over een oorzakelijk verband. Het valt niet uit te sluiten dat andere factoren die samenhangen met de aanwezigheid van bovengrondse elektriciteitslijnen een rol spelen. In onderzoeken is daarvan tot nu toe echter niets gebleken. Ook is niet uit te sluiten dat toeval een rol speelt, met name bij de bevindingen over hersentumoren.

Aanbevelingen

De commissie ziet in de huidige stand van wetenschap geen aanleiding de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat te adviseren het beleid met betrekking tot bovengrondse hoogspanningslijnen te heroverwegen. Omdat er aanwijzingen zijn voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan magnetische



velden en een verhoogd risico op kinderleukemie en hersentumoren, en magnetische velden niet tegengehouden worden door bodem of bouwmaterialen, geeft de commissie vanuit gezondheidskundig oogpunt de staatssecretaris in overweging om het beleid uit te breiden naar ondergrondse elektriciteitskabels en andere bronnen van langdurige blootstelling aan magnetische velden uit het elektriciteitsnetwerk, zoals transformatorstations en transformatorhuisjes.



01 inleiding



Er zijn aanwijzingen dat kinderen die in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen wonen een hogere kans hebben om leukemie te krijgen dan andere kinderen. De oorzaak is onduidelijk: mogelijk spelen de door deze lijnen opgewekte magnetische velden hierbij een rol. Mede op basis van een advies van de Gezondheidsraad uit 2000 adviseert de Rijksoverheid aan gemeenten, provincies en netbeheerders een voorzorgsbeleid om zo veel als redelijkerwijs mogelijk te voorkomen dat door de aanleg van nieuwe bovengrondse hoogspanningslijnen of de bouw van woningen, scholen of kinderopvangplaatsen nieuwe situaties ontstaan waarin kinderen langdurig boven een bepaald niveau (0,4 microtesla gemiddeld over het jaar) worden blootgesteld aan magnetische velden. In 2014 heeft de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (het huidige Infrastructuur en Waterstaat) de Gezondheidsraad gevraagd het advies uit 2000 te actualiseren en zich daarbij niet alleen te richten op kinderleukemie, maar ook op andere gezondheidseffecten die mogelijk samenhangen met de aanwezigheid van bovengrondse elektriciteitslijnen.

1.1 Achtergrond

In 1979 vonden Amerikaanse onderzoekers dat er in de buurt van bovengrondse elektriciteitslijnen (de distributielijnen die in de Verenigde Staten veelal tussen de woningen door lopen) meer gevallen van kinderleukemie voorkwamen dan verderaf.¹ Elektriciteitslijnen wekken zogenoemde extreem-laagfrequente (ELF) elektrische en magnetische velden op (zie hoofdstuk 2). De vraag rees of blootstelling aan die velden de oorzaak zou

kunnen zijn. Dit leidde tot verder onderzoek, waarbij de aandacht niet alleen uitging naar kinderleukemie, maar ook naar andere vormen van kanker bij kinderen en volwassenen en naar andere ziektes.

In 2002 heeft het International Agency for Research on Cancer (IARC), een agentschap van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO), ELF magnetische velden bestempeld als ‘mogelijk kankerverwekkend bij mensen’, vooral omdat in epidemiologische onderzoeken een redelijk consistente associatie werd gevonden tussen blootstelling aan dergelijke velden en het risico op kinderleukemie.²

De Gezondheidsraad heeft diverse adviezen over dit onderwerp gepubliceerd.³⁻⁷ In 2000⁴ kwam de raad tot een gelijksoortige conclusie als het IARC: ‘de gegevens verkregen uit epidemiologisch onderzoek [wijzen] op een redelijk consistente associatie werd tussen wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen en een geringe verhoging van de kans op leukemie bij kinderen.’

Een associatie is een *statistische* samenhang en geeft geen uitsluitel over een mogelijk oorzakelijk verband (zie kader). De raad gaf destijds aan dat een oorzakelijk verband met blootstelling aan ELF magnetische velden met epidemiologisch onderzoek alleen niet is vast te stellen. In een advies over mogelijke oorzaken van kinderleukemie dat de raad samen met de Belgische Hoge Gezondheidsraad in 2012 heeft uitgebracht werden soortgelijke conclusies getrokken als in het advies uit 2000.⁸



Associatie of oorzakelijk verband

Bij relaties tussen blootstelling aan een bepaalde factor, zoals ELF magnetische velden, en een ziekte, zoals kinderleukemie, wordt onderscheid gemaakt tussen associatie en oorzakelijk verband. Men spreekt van een associatie tussen blootstelling en ziekte als beide vaker samen voorkomen dan op grond van toeval verwacht mag worden. Er is sprake van een oorzakelijk verband als de ziekte het gevolg is van de blootstelling. Een associatie tussen blootstelling en ziekte, bepaald uit een statistische analyse, geeft op zich geen uitsluitel over een al dan niet oorzakelijk verband. Dit kan niet bepaald worden op basis van statistiek alleen. Daarvoor is aanvullende informatie nodig, bijvoorbeeld uit experimenteel onderzoek of over een biologisch werkingsmechanisme.

1.2 Kinderleukemie in Nederland

Leukemie bij kinderen is een zeldzame ziekte. Gemiddeld worden er in Nederland per jaar ongeveer 135 nieuwe gevallen van kinderleukemie vastgesteld⁹, op een totaal van circa 2,8 miljoen kinderen t/m 15 jaar.¹⁰ Daarbij gaat het om alle vormen van kinderleukemie. De meeste daarvan, ruim 80%, zijn acute lymfatische leukemieën. Andere vormen zijn acute myeloïde leukemie en chronische vormen van leukemie.

Het aantal kinderen dat in Nederland in de directe nabijheid van een bovengrondse hoogspanningslijn woont is zo'n vijftien jaar geleden door de Gezondheidsraad en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) geschat op ongeveer 15.000.^{4,11} Destijds is berekend dat ongeveer één extra geval van kinderleukemie per twee jaar in Nederland het gevolg zou kunnen zijn van het wonen nabij een bovengrondse hoogspannings-

lijn, uitgaande van een ongeveer twee maal zo hoog risico in deze populatie en onder de aanname dat het een oorzakelijk verband betreft.

Vanwege deze mogelijke gezondheidsrisico's en de maatschappelijke ongerustheid over die risico's adviseert de Rijksoverheid sinds 2005 aan gemeenten, provincies en netbeheerders een voorzorgsbeleid. Daarbij wordt geadviseerd '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)'.¹² Een nadere toelichting op dit advies is in 2008 gepubliceerd.¹³

1.3 Adviesaanvraag

De toenmalige staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (het huidige Infrastructuur en Waterstaat) wilde weten of nieuwe onderzoeksgegevens aanleiding vormen om het voorzorgsbeleid te heroverwegen. Daarom heeft zij de Gezondheidsraad verzocht de eerdere adviezen te actualiseren aan de hand van de volgende vragen:

1. Is er een verband tussen het wonen binnen een bepaalde afstand van bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van gezondheidsrisico's zoals kinderleukemie, andere vormen van kanker



bij kinderen en volwassenen en de ziekte van Alzheimer, en speelt de spanning op de lijnen daarbij een rol?

2. Is er een verband tussen de blootstelling aan ELF magnetische velden en het optreden van gezondheidsrisico's?
3. Indien er een verhoogd risico is dat samenhangt met het langdurig verblijven in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen, zijn er dan aanwijzingen voor andere factoren dan het magnetisch veld die samenhangen met de aanwezigheid van bovengrondse elektriciteitslijnen die dat risico zouden kunnen verklaren?

De vaste commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad zorgt voor de beantwoording van de adviesaanvraag. Omdat de adviesvraag uiteenlopende gezondheidsrisico's bestrijkt, is de beantwoording opgeknipt in drie delen:

- in het voorliggende deel I gaat de commissie in op leukemie en andere vormen van kanker bij kinderen;
- in deel II bespreekt zij leukemie en andere vormen van kanker bij volwassenen;
- in deel III bespreekt zij de ziekte van Alzheimer en andere neurodegeneratieve aandoeningen.

Deel I is op 18 april 2018 aangeboden aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat.

De [adviesaanvraag](#), de [samenstelling van de commissie](#) en de [aanbiedingsbrief](#) staan op www.gezondheidsraad.nl.

1.4 Werkwijze

De commissie heeft de gegevens over een mogelijke relatie tussen de blootstelling aan magnetische velden die worden opgewekt door bovengrondse en ondergrondse elektriciteitslijnen en het optreden van kanker bij kinderen opnieuw en in meer detail geanalyseerd, met inbegrip van de meest recente onderzoeken. Zij heeft in de wetenschappelijke literatuur gezocht naar twee soorten epidemiologische onderzoeken:

- onderzoeken naar een associatie tussen de afstand van de woning tot bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van kanker bij kinderen;
- onderzoeken naar een associatie tussen de magneetveldsterkte in de woning en het optreden van kanker bij kinderen.

In de onderzoeken die in dit advies in beschouwing zijn genomen is doorgaans geen onderscheid gemaakt tussen verschillende vormen van kinderleukemie. Daarom hebben de analyses en conclusies betrekking op leukemie bij kinderen in het algemeen.

Drie commissieleden met epidemiologische en statistische expertise hebben onafhankelijk van elkaar de kwaliteit van de beschikbare onderzoeken beoordeeld. Uiteindelijk resulteerde dat in een gemeenschappelijk



oordeel over de kwaliteit, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen onderzoeken van *voldoende* en *onvoldoende* kwaliteit. Alleen onderzoeken van voldoende kwaliteit zijn meegewogen in het advies. Een onderzoek is als onvoldoende gekwalificeerd als er, naar het oordeel van de drie experts, een hoog risico op vertekening van de resultaten is.

Vervolgens heeft de commissie de resultaten uit de onderzoeken van voldoende kwaliteit per type kanker gecombineerd in een meta-analyse (zie kader), zowel voor afstand als voor magneetveldsterkte, om op systematische wijze alle beschikbare gegevens tegelijk te analyseren. De commissie heeft de uitkomsten van haar eigen meta-analyses vergeleken met de uitkomsten van recent gepubliceerde gepoolde of meta-analyses. Beschrijvende reviews van de wetenschappelijke literatuur zijn in dit advies niet in aanmerking genomen.

Meta-analyses en gepoolde analyses

Bij meta-analyses en gepoolde analyses worden de resultaten uit verschillende onderzoeken met een overeenkomstige vraagstelling en aanpak gecombineerd, om tot één risicoschatting te komen op basis van alle beschikbare gegevens.

In een gepoolde analyse worden de originele basisgegevens van een aantal onderzoeken bij elkaar genomen en als één gegevensbestand geanalyseerd en gecorrigeerd voor eventuele versturende factoren (confounders).

Bij een meta-analyse worden de gepubliceerde risicoschattingen van een aantal onderzoeken bij elkaar genomen en wordt één gemiddeld risico berekend. Bij een meta-analyse is men afhankelijk van de wijze waarop in de individuele onderzoeken de risicoschattingen zijn berekend en eventueel gecorrigeerd. Bij een gepoolde analyse kunnen de onderzoekers daar zelf over beslissen.

De commissie heeft zich beperkt tot epidemiologische onderzoeken, omdat die de belangrijkste bron van informatie zijn voor dit onderwerp. Voor een overzicht van experimenteel onderzoek met proefdieren en gekweekte cellen wordt verwezen naar twee belangrijke reviews.^{14,15}

Bij de onderzoeken naar een associatie tussen blootstelling aan ELF magnetische velden en het optreden van kanker bij kinderen, is de commissie nagegaan hoe sterk bij een verhoogd risico de bewijskracht is voor een oorzakelijk verband. De commissie hanteert daarbij de systematiek van het Amerikaanse Environmental Protection Agency (EPA), dat de volgende classificaties onderscheidt:¹⁶

- oorzakelijk verband bewezen;
- oorzakelijk verband waarschijnlijk;
- aanwijzingen voor oorzakelijk verband;
- uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk;
- oorzakelijk verband onwaarschijnlijk.

De zoekstrategieën, de kwaliteitscriteria, een overzicht van de onderzoeken en kwaliteitsoordelen en een toelichting op de classificaties voor bewijskracht staan in het [achtergronddocument](#).

1.5 Leeswijzer

Het advies begint met een korte uitleg in hoofdstuk 2 van enkele technische begrippen.



In hoofdstuk 3 bespreekt de commissie de gegevens over het optreden van kinderleukemie in relatie tot de afstand van de woning tot bovengrondse elektriciteitslijnen en in relatie tot blootstelling aan magnetische velden van boven- en ondergrondse elektriciteitslijnen.

In hoofdstuk 4 komen de overeenkomstige gegevens met betrekking tot andere vormen van kanker bij kinderen aan bod.

In hoofdstuk 5 gaat de commissie in op andere factoren dan de magneetveldsterkte die de gevonden associaties zouden kunnen verklaren.

In hoofdstuk 6, ten slotte, geeft de commissie haar slotbeschouwing en advies.



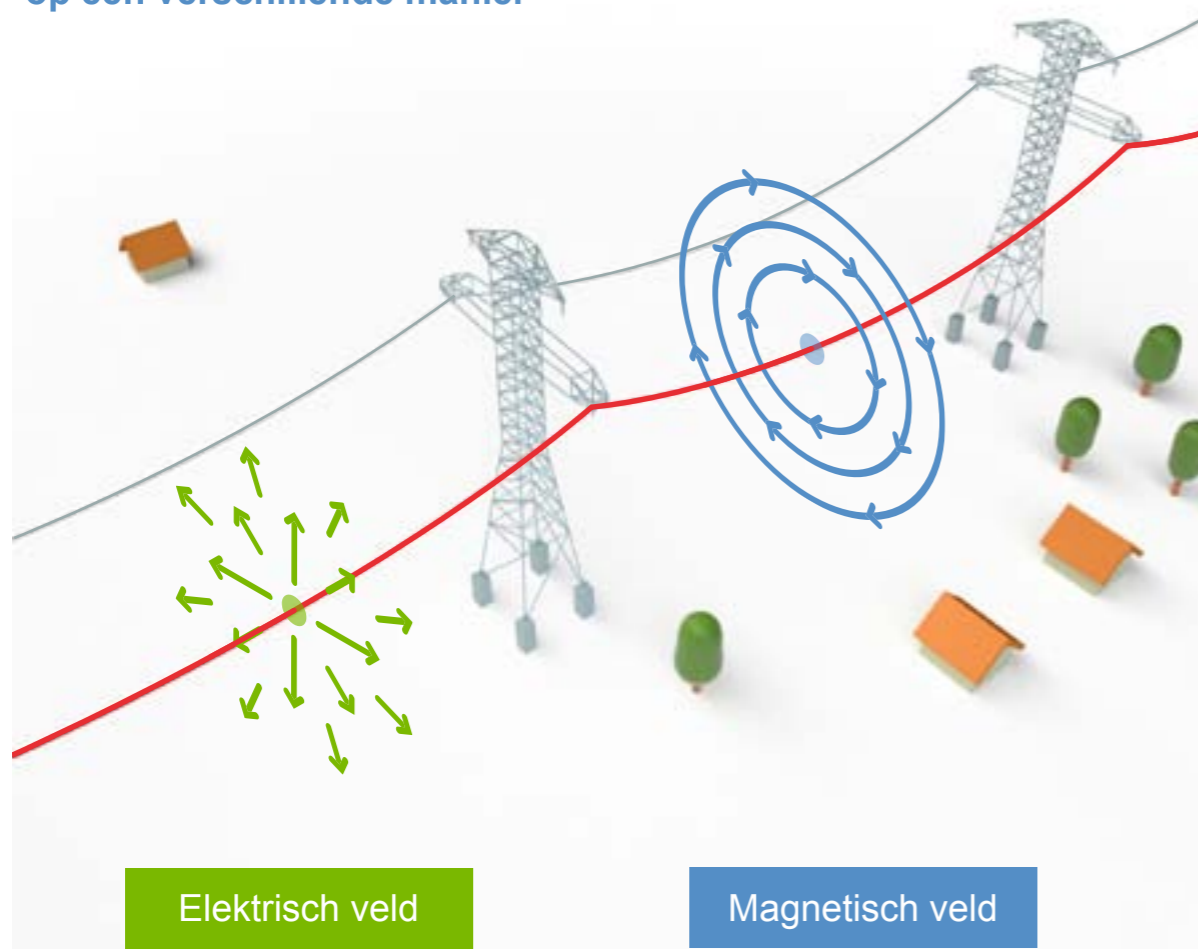
02 elektriciteitslijnen en magnetische velden



2.1 Spanning, stroom en velden

De spanning op een elektriciteitslijn veroorzaakt een elektrisch veld. Als er stroom door de lijn loopt, ontstaat er ook een magnetisch veld. Een elektrisch veld en een magnetisch veld verspreiden zich op verschillende wijzen. Figuur 1 is een vereenvoudigde weergave daarvan.

Elektrisch veld en magnetisch veld verspreiden zich op een verschillende manier



Figuur 1. Schematische weergave elektrisch en magnetisch veld bij een hoogspanningslijn

De spanning op het elektriciteitsnet wisselt 50 keer per seconde van + naar – en weer terug (wisselspanning), ofwel met een frequentie van 50 hertz (Hz). Dit is een extreem lage frequentie (ELF). Ter vergelijking, mobiele telefoons werken bij veel hogere frequenties, rond 900 en 2.000 megahertz (een megahertz is een miljoen hertz).

Het elektriciteitsnet

Het elektriciteitsnet tussen energiecentrale en woning bestaat uit transport- en distributielijnen en -kabels. Lijnen zijn bovengrondse verbindingen, kabels liggen onder de grond. Transportverbindingen in Nederland zijn hoogspanningslijnen of -kabels met een spanning van 380 of 220 kilovolt (kV; 1 kV is 1000 V). Zij transporteren de stroom van de centrale naar een onderstation. Het zijn de snelwegen van het elektriciteitstransport. Tussen onderstations en transformatorstations lopen eveneens hoogspanningslijnen en -kabels, maar met een lagere spanning van 150, 110 of 50 kV. Het transport vanaf de transformatorstations naar de transformatorhuisjes in woonwijken en bij bedrijven vindt plaats door middel van distributiekabels met een middenspanning van 25, 20, 12.5, 10, 6, 5 of 3 kV. In de transformatorhuisjes wordt de spanning nog verder verlaagd naar 400 en 230 V en via laagspanningsdistributiekabels naar de eindbestemming gebracht. Bovengrondse elektriciteitslijnen zijn in Nederland (vrijwel) uitsluitend hoogspanningslijnen. In andere landen lopen soms ook distributielijnen bovengronds.

2.2 Veldsterkte

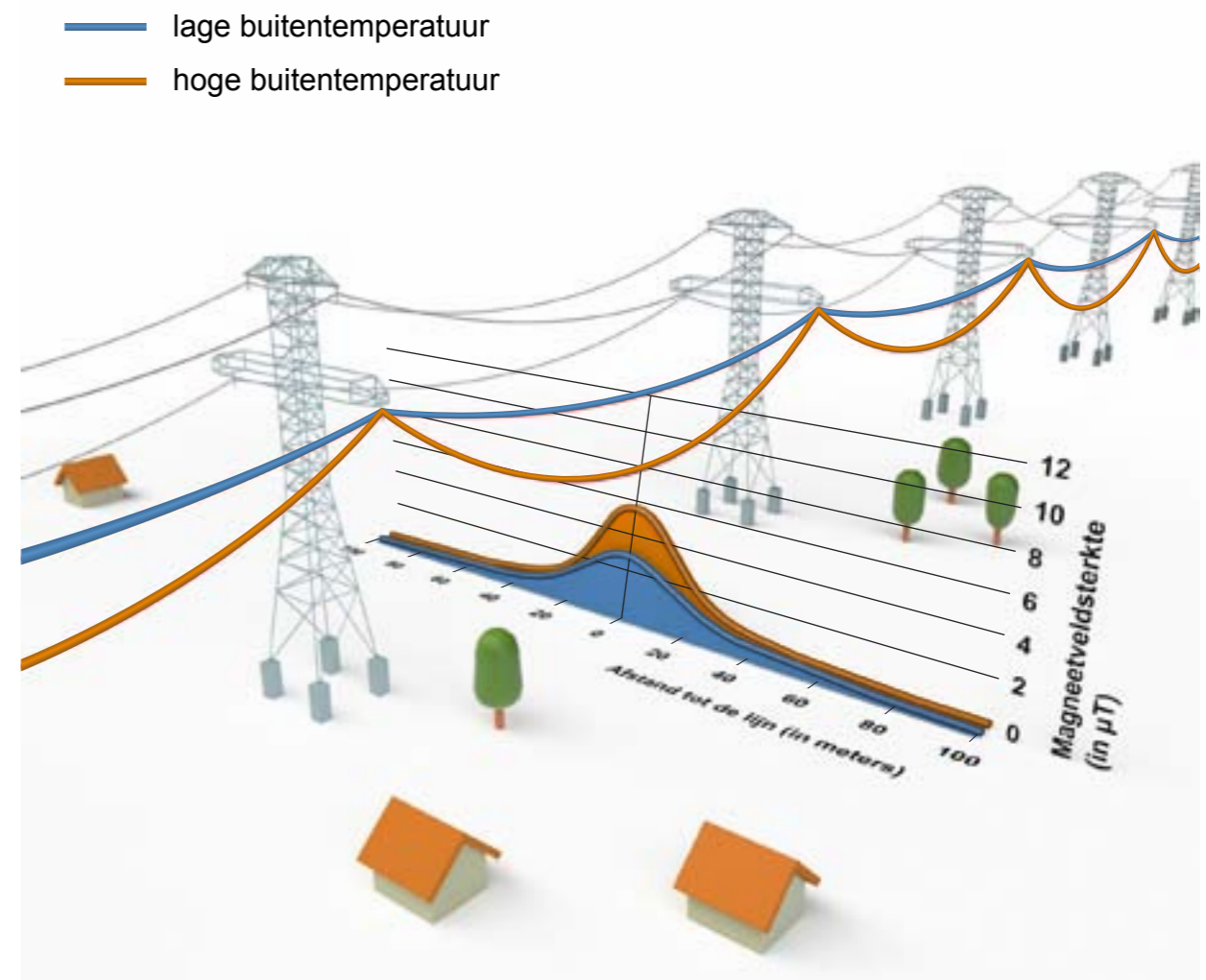
De sterkte van een elektrisch veld wordt uitgedrukt in volt per meter (V/m). Hoe hoger de spanning, hoe sterker het elektrisch veld. De sterkte van een magnetisch veld wordt uitgedrukt in tesla (T). In de praktijk wordt de sterkte van magnetische velden van het elektriciteitssysteem altijd uitgedrukt in microtesla (μT = 1 miljoenste T). Hoe meer stroom er door een lijn



gaat, des te sterker het magnetisch veld. De sterke van het magnetisch veld neemt snel af naarmate de afstand tot de lijn toeneemt. Globaal is de veldsterkte een factor vier lager bij verdubbeling van de afstand. De afstand tot een geleider, en daarmee de magneetveldsterkte, hangt ook af van de mate waarin deze doorhangt tussen twee masten (de 'zeeg') (zie figuur 2). Geleiders hangen verder door naarmate ze warmer zijn. Dit is onder meer afhankelijk van de sterkte van de stroom door de geleider en van de omgevingstemperatuur. In de praktijk is de situatie complexer, omdat er meerdere geleiders en verschillende stroomcircuits in een hoogspanningslijn aanwezig zijn, waardoor er lokaal gedeeltelijke 'uitdoving' of verzwakking van magnetische velden kan optreden. Als een manier om invulling te geven aan het voorzorgbeleid wordt er bij de aanleg van nieuwe verbindingen naar gestreefd de corridor rond een hoogspanningslijn waar de magnetische veldsterkte gemiddeld over het jaar hoger is dan $0,4 \mu\text{T}$, de 'magneetveldzone', zo smal mogelijk te houden. Een elektrisch veld wordt aanzienlijk afgezwakt door bomen, planten en bebouwing. Het dringt vrijwel niet door materialen heen en resulteert in een oppervlaktelading die naar de aarde wordt afgevoerd. In een woning is het elektrisch veld afkomstig van een elektriciteitslijn al snel 10 tot 100 keer zwakker dan daarbuiten. Het magnetische veld daarentegen wordt bijna niet afgezwakt door planten, bouwmaterialen, bodem of ander obstakels. Het dringt makkelijk door in huizen en tot en in het menselijk lichaam, zie figuur 3. Bij onderzoeken naar de relatie tussen bovengrondse elektriciteitslijnen en mogelijke gezondheidseffecten gaat de

aandacht daarom uit naar magnetische velden en niet naar elektrische velden.

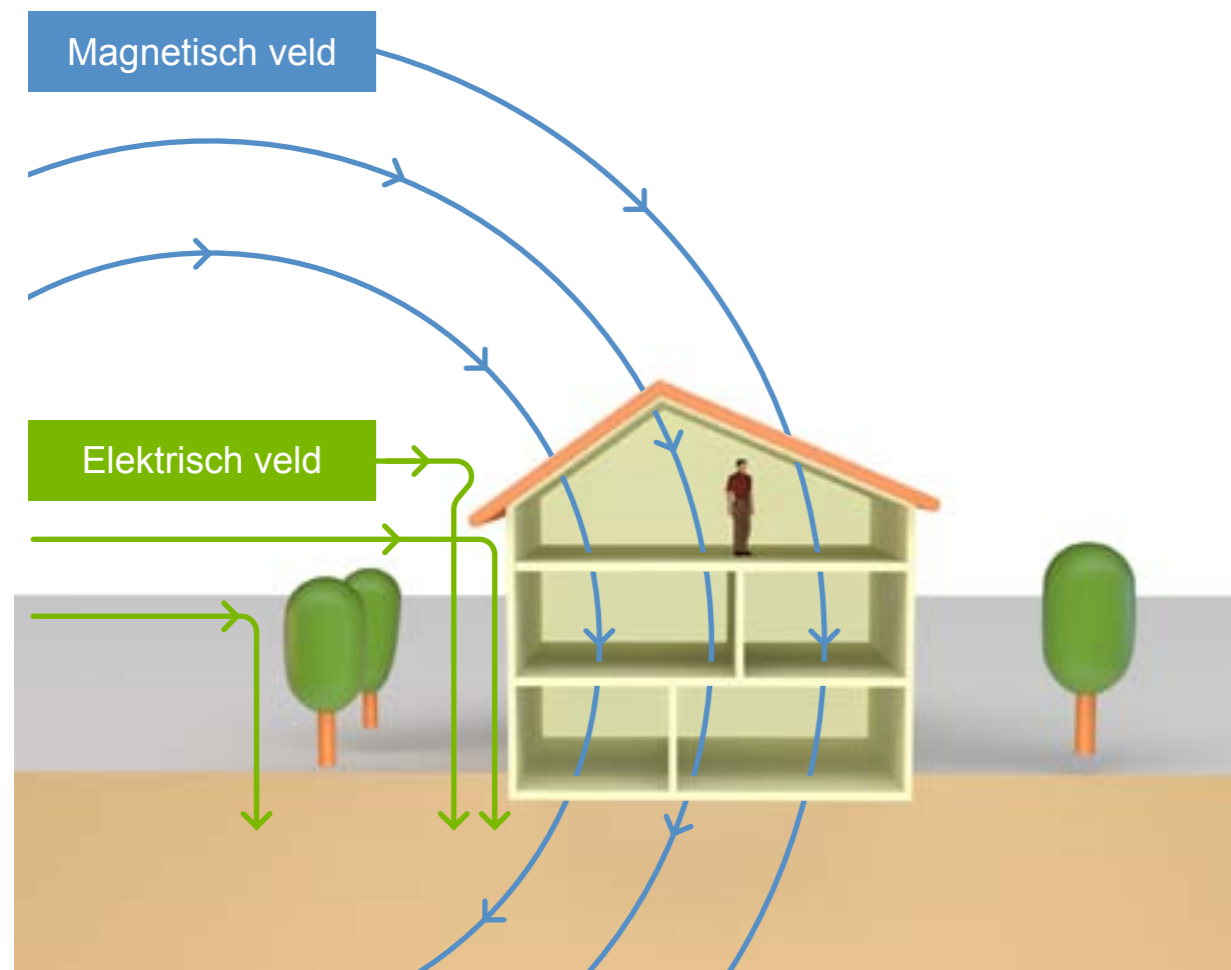
Hoe groter de afstand tot de elektriciteitslijnen, hoe zwakker het magnetisch veld



Figuur 2. Relatie tussen afstand tot de lijn en magneetveldsterkte op de grond



Een elektrisch veld is niet invasief, een magnetisch veld wel



Figuur 3. Schematische weergave van de mate waarin elektrisch en magnetisch veld doordringen

2.3 Blootstelling bepalen

Een nauwkeurige bepaling van de blootstelling van individuele mensen aan magnetische velden is niet eenvoudig. Dat kan eigenlijk alleen maar door middel van langdurige metingen op het lichaam. Dit is echter een

kostbare en tijdrovende methode die maar zeer sporadisch in epidemiologische onderzoeken wordt toegepast. In veruit de meeste onderzoeken wordt gewerkt met maten die de werkelijke blootstelling slechts bij benadering weergeven: de *afstand* van de woning tot een hoogspanningslijn (doorgaans gemeten als de afstand tot het midden van de lijn op grondniveau) of de *magneetveldsterkte* die in of bij de woning wordt gemeten of berekend. Beide blootstellingsmaten hebben hun beperkingen.

Afstand als blootstellingsmaat heeft het voordeel dat hij eenvoudig en redelijk nauwkeurig te bepalen is. Het nadeel is dat het een heel grove maat is voor de werkelijke blootstelling aan de door elektriciteitslijnen veroorzaakte magnetische velden. Die blootstelling is namelijk ook afhankelijk van andere factoren, zoals de hoogte van de lijn boven de grond (zie figuur 2) en vooral de hoeveelheid stroom die door de lijn getransporteerd wordt. Deze kan in de tijd aanzienlijk fluctueren.

Magneetveldsterkte is in dat opzicht een nauwkeurigere blootstellingsmaat, maar de bepaling daarvan heeft ook beperkingen. Ze kan plaatsvinden door middel van metingen of berekeningen. Metingen zijn niet per definitie nauwkeuriger dan berekeningen. Bij metingen in de woning zijn onderzoekers afhankelijk van de medewerking van de bewoners. Als die geweigerd wordt, kan dat leiden tot vertekening van de resultaten ('deelname bias'). Bij berekeningen speelt dat probleem niet. Daarnaast wordt berekende blootstelling doorgaans bepaald over een langere periode,



soms vele jaren, terwijl meting van de magnetische veldsterkte in de woning hooguit gedurende enkele dagen plaatsvindt. Metingen geven daarmee een minder representatief beeld van de blootstelling over een langere periode.

Daarnaast spelen zowel bij onderzoeken met afstand als bij die met magneetveldsterkte als blootstellingsmaat nog enkele andere complicerende factoren een rol. De eerste is dat mensen vaak een (aanzienlijk) deel van de dag elders doorbrengen, bijvoorbeeld op school of op het werk. Daar kan de blootstelling aan magnetische velden lager maar ook hoger zijn dan in de eigen woning. Verder vormen hoogspanningslijnen

niet de enige bron van blootstelling aan magnetische velden. Ook huishoudelijke apparatuur genereert tijdens het gebruik magnetische velden. Dat resulteert doorgaans in korte piekblootstellingen die bovenop de meer chronische blootstelling door elektriciteitslijnen komen.

Al deze complicerende factoren worden in de verschillende onderzoeken naar gezondheidseffecten op verschillende manieren verwerkt, en niet altijd met dezelfde mate van nauwkeurigheid. Dat bepaalt mede de kwaliteit van het onderzoek.



03 leukemie bij kinderen



In de analyse van de commissie op basis van alle beschikbare onderzoeksgegevens wordt een associatie tussen langdurige blootstelling aan ELF magnetische velden en een verhoogd risico op leukemie bij kinderen gevonden. De associatie wordt meer uitgesproken naarmate de blootstelling nauwkeuriger is bepaald. Bij onderzoeken die afstand tot een bovengrondse elektriciteitslijn als blootstellingsmaat hanteren is geen duidelijke associatie te zien, maar bij onderzoeken naar magneetveldsterkte wel. De associatie is het duidelijkst wanneer de veldsterkte is gemeten of berekend op alle woonadressen tussen geboorte en diagnose. Dit is de meest representatieve maat voor langdurige blootstelling. Bij blootstelling aan een magneetveldsterkte van meer dan 0,3 tot 0,4 μT is het risico op leukemie naar schatting 2,7 keer zo hoog (95% betrouwbaarheidsinterval 1,6-4,8) als bij blootstelling op het achtergrondniveau.

3.1 Afstand tot bovengrondse elektriciteitslijnen

3.1.1 Kwaliteit beschikbaar onderzoek

De commissie heeft 23 onderzoeken naar de relatie tussen de afstand tot bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van leukemie bij kinderen gevonden. Daarvan waren er 9 volgens de commissie van onvol-

doende kwaliteit, zie tabel 1. Met de gegevens uit de 14 overige onderzoeken heeft de commissie een meta-analyse uitgevoerd.

Ook is de commissie nagegaan of er gepoolde of meta-analyses zijn gepubliceerd over onderzoeken met afstand als blootstellingsmaat. Dat bleek er één te zijn: de gepoolde analyse van Kheifets e.a. uit 2010.¹⁷

Er is één onderzoek gevonden waar het optreden van leukemie bij kinderen is onderzocht in relatie tot de afstand tot ondergrondse hoogspanningskabels.¹⁸ Omdat dit niet binnen de vraagstelling van dit advies valt is dit onderzoek niet in de analyses meegenomen. Het is wel opgenomen in de analyse naar magneetveldsterkte (§ 3.2), omdat het voor de magneetveldsterkte niet uitmaakt of die door een bovengrondse of ondergrondse verbinding wordt veroorzaakt.

De commissie acht het mogelijk dat er vertekening van de resultaten is doordat sommige onderzoeken die afstand als blootstellingsmaat hanteren en waar geen associaties gevonden zijn, niet zijn gepubliceerd ('publicatiebias').

Details van alle onderzoeken en de risicoschattingen staan in het [achtergronddocument](#).



Tabel 1. Kwaliteitsanalyse van onderzoeken naar relatie tussen afstand en risico op kinderleukemie

Voldoende kwaliteit	Onvoldoende kwaliteit	
Feychting & Ahlbom (1993) ¹⁹	Kabuto e.a. (2006) ^{27 a}	Coleman e.a. (1989) ³³
Petridou e.a. (1997) ²⁰	Wünsch-Filho e.a. (2011) ^{28 b}	Myers e.a. (1990) ³⁴
Tynes & Haldorsen (1997) ²¹	Sermage-Faure e.a. (2013) ²⁹	Fajardo-Gutierrez e.a. (1993) ³⁵
Li e.a. (1998) ²²	Bunch e.a. (2014) ^{30 c}	Olsen e.a. (1993) ³⁶
McBride et al (1999) ²³	Pedersen e.a. (2014) ³¹	Mizoue e.a. (2004) ³⁷
Bianchi e.a. (2000) ^{24 a}	Crespi e.a. (2016) ³²	Feizi e.a. (2007) ³⁸
Kleinerman e.a. (2000) ²⁵		Abdul Rahman e.a. (2008) ³⁹
UK Childhood Cancer Study (2000) ²⁶		Sohrabi e.a. (2010) ⁴⁰
		Tabrizi & Bidgoli (2015) ⁴¹

^a Opgenomen in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).¹⁷

^b Niet-gepubliceerde gegevens van dit onderzoek zijn opgenomen in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).¹⁷

^c Actualisering van gegevens uit Kroll e.a. (2010)⁴² die gebruikt zijn in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).¹⁷

3.1.2 Gepoolde analyse 2010

In 2010 publiceerden Kheifets e.a.¹⁷ een gepoolde analyse van gegevens uit onderzoeken met afstand als blootstellingsmaat. Het ging om 5 onderzoeken die sinds 2000 zijn gepubliceerd^{24,27,42-44} en 1 onderzoek dat op dat moment nog niet gepubliceerd was.²⁸ De 9 onderzoeken waarvan de commissie de kwaliteit als onvoldoende heeft beoordeeld waren niet in deze gepoolde analyse opgenomen.

Kheifets e.a. hebben de afstand tot de hoogspanningslijnen bij de analyse ingedeeld in drie categorieën: 0 tot 50 meter, 50 tot 100 meter en 100 tot 200 meter. Hun conclusie luidt: hoe kleiner de afstand tot hoogspanningslijnen, hoe hoger het risico op het optreden van leukemie bij kinderen.

Voor een afstand van 0 tot 50 meter van de hoogspanningslijn komt uit de gepoolde analyse van Kheifets e.a. een geschatte verhoging van het risico met een factor 1,6 (NB: alle risicoschattingen in de tekst zijn afgerond op 1 decimaal). Alleen voor die afstandscategorie is de risicoschatting ook statistisch significant verhoogd, zie tabel 2. Voor uitleg over risicoschatting en significantie, zie het kader.

Risicoschatting en betrouwbaarheidsinterval

De risicoschatting geeft weer wat de geschatte kans op een bepaald effect is in een bepaalde situatie relatief ten opzichte van de controlesituatie. Een risicoschatting van 1,3 bijvoorbeeld, wil in dit geval zeggen dat de geschatte kans op optreden van leukemie 1,3 keer zo groot of 30% hoger is bij kinderen die dichtbij hoogspanningslijnen wonen ten opzichte van de kans bij kinderen die op verdere afstand wonen. Een risicoschatting van 0,9 wil zeggen dat de gevonden kans 0,9 keer zo groot is, ofwel 10% kleiner.

Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (BI) geeft aan hoe onzeker de gevonden risicoschatting is. Het betekent dat, wanneer we het onderzoek 100 maal in dezelfde populatie met verschillende steekproeven zouden herhalen, in 95 gevallen het werkelijke verband (in dit geval het ware relatief risico) binnen het betrouwbaarheidsinterval ligt. Bij een relatief risico van 1 is de kans op leukemie gelijk aan de controlesituatie. Als het 95% BI de waarde 1 bevat is het gevonden verband niet statistisch significant. Als de laagste waarde van het 95% BI groter is dan 1, spreken we van een statistisch significant verhoogd risico.

Het is ook mogelijk om statistische uitspraken te doen over een gevonden associatie met behulp van een statistische toets. Deze levert een p-waarde op, die aangeeft hoe groot de kans is om de gevonden of een sterkere associatie waar te nemen als er in werkelijkheid geen associatie is. Wanneer de p-waarde kleiner is dan 5% spreken we van een statistisch significante associatie. Belangrijk is dat statistische significantie niet betekent dat het bestaan van een associatie bewezen is (net zoals een niet statistisch significant resultaat niet betekent dat het bewezen is dat er geen associatie is). Daarnaast zegt statistische significantie niets over het al of niet oorzakelijk zijn van een verband.



3.1.3 Analyses van de commissie

De commissie heeft een meta-analyse uitgevoerd van de gegevens uit de 14 onderzoeken van voldoende kwaliteit, inclusief de originele gegevens van 2 onderzoeken^{24,27} die ook zijn opgenomen in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010),¹⁷ zie tabel 1. Van de overige drie onderzoeken uit de gepoolde analyse van Kheifets bevatten er twee (Lowenthal e.a., 2007 en Malagoli e.a., 2010)^{43,44} in de oorspronkelijke publicatie geen gegevens over afstand (Kheifets heeft die gegevens direct van de onderzoekers gekregen), en van het derde onderzoek (Kroll e.a., 2010⁴²) is een actualisatie verschenen die in de meta-analyse van de commissie is opgenomen (Bunch e.a., 2014³⁰).

Om de resultaten van de meta-analyse te kunnen vergelijken met die van de gepoolde analyse van Kheifets, heeft de commissie de afstand ingedeeld in dezelfde drie categorieën: 0 tot 50 meter, 50 tot 100 meter en 100 tot 200 meter. In de adviesaanvraag wordt gevraagd of mogelijk de lijnspanning van belang kan zijn. De commissie heeft daarom voor dezelfde categorieën ook een analyse uitgevoerd met alleen de gegevens van hoogspanningslijnen met een spanning hoger dan 200 kV.

In de meta-analyse van de commissie is een verhoogde risicoschatting gevonden bij een afstand van 0 tot 50 meter (een factor 1,2) en bij een afstand van 50 tot 100 meter (een factor 1,3), en een verlaagd risico bij 100-200 meter (een factor 0,9). Alleen voor de categorie 50 tot 100 meter

is de risicoschatting statistisch significant verhoogd. De commissie heeft op deze gegevens ook een analyse uitgevoerd om te onderzoeken of het risico toeneemt met afnemende afstand. Deze afstands-responsrelatie was niet statistisch significant ($p=0.20$).

Voor alle drie de afstandscategorieën geldt dat de gegevens uit de geanalyseerde onderzoeken heterogeen zijn, dat wil zeggen dat de resultaten van de individuele onderzoeken in de meta-analyse niet eenduidig zijn. Dat vermindert de zeggingskracht van de meta-analyse.

De analyse van de gegevens over hoogspanningslijnen met een lijnspanning van 200 kV of hoger gaf een risicoschatting van 1,5 voor afstanden van 0 tot 50 meter, 1,1 voor afstanden van 50 tot 100 meter en 1,0 van 100 tot 200 meter. Deze risicoschattingen waren statistisch niet significant. Het risico is niet duidelijk hoger dan wanneer alle lijnen onafhankelijk van de spanning op de lijn in beschouwing worden genomen. Hieruit komen geen aanwijzingen dat de spanning op de lijn een belangrijke factor is voor de risicoschatting. Deze analyse is echter gebaseerd op slechts 2 tot 4 onderzoeken per afstandscategorie.

Tabel 2 vat de resultaten van de gepoolde analyse van Kheifets e.a. en van de meta-analyses van de commissie samen. Meer informatie over de analyses en de daarvoor gebruikte gegevens staat in het [achtergrond-document](#).



Tabel 2. Analyse van gegevens over relatie tussen afstand en risico op kinderleukemie

Afstand tot hoogspanningslijn in meters	Risicoschatting ^a	95% BI ^a	Aantal onderzoeken
<i>Gepoolde analyse Kheifets e.a.¹⁷</i>			
0-50	1,59	1,02-2,50	6
50-100	1,30	0,89-1,91	6
100-200	1,20	0,90-1,59	6
>200 (referentiegroep)	1,00		
<i>Meta-analyse commissie</i>			
0-50	1,22	0,93-1,61	11
50-100	1,27	1,02-1,58	9
100-200	0,90	0,72-1,12	3
Referentiegroep ^b	1,00		
<i>Meta-analyse commissie lijnspanning ≥200 kV</i>			
0-50	1,45	0,78-2,70	4
50-100	1,06	0,74-1,50	4
100-200	1,01	0,73-1,40	2
Referentiegroep ^b	1,00		

^a Voor toelichting op risicoschatting en betrouwbaarheidsinterval zie kader. Statistisch significante waarden zijn vet aangegeven.

^b De referentieafstanden in de verschillende onderzoeken zijn niet gelijk.

3.2 Magneetveldsterkte

3.2.1 Kwaliteit beschikbaar onderzoek

De commissie heeft 29 onderzoeken naar de relatie tussen magneetveldsterkte en het optreden van leukemie bij kinderen gevonden. Bij de kwaliteitsanalyse van de commissie bleek dat 5 daarvan van onvoldoende kwaliteit zijn, zie tabel 3. Met de gegevens van de overige 24 onderzoeken heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.

Tabel 3. Kwaliteit onderzoeken naar relatie tussen magneetveldsterkte en risico op kinderleukemie

Voldoende kwaliteit	Onvoldoende kwaliteit
Savitz e.a. (1988) ^{47 b}	Bianchi e.a. (2000) ^{24 c}
London e.a. (1991) ⁴⁸	Schüz e.a. (2001) ⁵⁵
Feychting & Ahlbom (1993) ^{19 a b}	Kabuto e.a. (2006) ^{27 c}
Olsen e.a. (1993) ^{36 a b f}	Meji-Arangure e.a. (2007) ⁵⁶
Verkasalo e.a. (1993) ^{49 a b}	Malagoli e.a. (2010) ⁴³
Linet e.a. (1997) ^{50 a b}	Does e.a. (2011) ⁵⁷
Tynes & Haldorsen (1997) ^{21 a b}	Wünsch-Filho e.a. (2011) ^{28 d}
Dockerty e.a. (1998) ^{51 a b}	Bunch e.a. (2015) ¹⁸
Michaelis e.a. (1998) ^{52 a b}	Pedersen e.a. (2015) ⁵⁸
Green e.a. (1999) ^{53 b}	Salvan e.a. (2015) ⁵⁹
McBride e.a. (1999) ^{23 a b}	Bunch e.a. (2016) ^{60 e}
UK Childhood Cancer Study (1999) ^{54 a g}	Kheifets e.a. (2017) ⁶¹
	Tomenius (1986) ^{62 b}
	Coghill (1996) ^{63 b}
	Feizi e.a. (2007) ³⁸
	Jirik e.a. (2012) ⁶⁴
	Tabrizi & Bidgoli (2015) ⁴¹

^a Opgenomen in de gepoolde analyse van Ahlbom e.a. (2000).⁴⁵

^b Opgenomen in de gepoolde analyse van Greenland e.a. (2000).⁴⁶

^c Opgenomen in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).¹⁷

^d Niet-gepubliceerde gegevens van dit onderzoek zijn opgenomen in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).¹⁷

^e Actualisering van gegevens uit Kroll e.a. (2010)⁴² die opgenomen zijn in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).¹⁷

^f Niet opgenomen in de huidige analyse; actualisering in Pedersen e.a. (2015).⁵⁸

^g Niet opgenomen in de huidige analyse vanwege waarschijnlijke overlap in gebied en tijdsperiode met Bunch e.a. (2015)¹⁸, dat een recenter onderzoek is.

Ook is de commissie nagegaan of er eerder meta-analyses of gepoolde analyses zijn gepubliceerd. In 2000 zijn twee gepoolde analyses verschenen: Ahlbom e.a.⁴⁵ en Greenland e.a.⁴⁶ In 2010 is de eerdergenoemde gepoolde analyse van Kheifets e.a. gepubliceerd.¹⁷

De commissie acht bij deze onderzoeken publicatiebias niet waarschijnlijk. Het gaat bij dit onderwerp altijd om grote en dus dure onderzoeken die daarom vrijwel altijd zullen worden gepubliceerd.



Details van alle onderzoeken en de uitkomsten ervan staan in het [achtergronddocument](#).

3.2.2 Gepoolde analyses uit 2000 en 2010

Ahlbom e.a. (2000)⁴⁵ hebben een gepoolde analyse uitgevoerd met de gegevens uit 9 onderzoeken met magneetveldsterkte als blootstellingsmaat. Zij concluderen dat blootstelling aan een magnetisch veld met een sterkte van 0,4 μT of meer geassocieerd is met een verhoging van het risico op het optreden van leukemie bij kinderen met een factor 2,0.

Greenland e.a. (2000)⁴⁶ komen op basis van een analyse van de gegevens uit 12 onderzoeken op een verhoging van het risico met een factor 1,7 bij een magneetveldsterkte van 0,3 μT of meer.

De meest recente gepoolde analyse is die van Kheifets e.a. (2010).¹⁷ Daarin worden de gegevens uit 7 onderzoeken die zijn verschenen na de analyses van Ahlbom en Greenland gecombineerd. Bij een magneetveldsterkte van 0,4 μT of meer berekenen Kheifets e.a. een verhoging van het risico met een factor 1,5. Net als in de analyse van Ahlbom, is in de analyse van Kheifets een blootstellings-responsrelatie waarneembaar: hoe sterker het geschatte magneetveld waaraan kinderen worden blootgesteld, hoe hoger het risico op het optreden van leukemie.

Een samenvatting van de resultaten van de drie gepoolde analyses staat in tabel 4.

3.2.3 Analyses van de commissie

De commissie heeft met de gegevens uit de 24 onderzoeken van voldoende kwaliteit (inclusief die van de originele onderzoeken uit de gepoolde analyses van Ahlbom, Greenland en Kheifets) meta-analyses uitgevoerd. Daarin zijn zowel onderzoeken met gemeten als met berekende veldsterkte opgenomen. De magneetveldsterkte is voor de analyse ingedeeld in drie blootstellingscategorieën:

- tussen 0,1 en 0,2 μT (of tussen 0,1 en 0,3 μT , afhankelijk van de afbakening van de blootstellingscategorieën in de individuele onderzoeken);
- 0,2 tot 0,3 μT (of 0,3 tot 0,4 μT , afhankelijk van de afbakening van de blootstellingscategorieën in de individuele onderzoeken);
- 0,3 μT of meer (of 0,4 μT of meer, afhankelijk van de afbakening van de blootstellingscategorieën in de individuele onderzoeken).
- De referentiegroepen konden verschillen, afhankelijk van de afbakening van de blootstellingscategorieën in de individuele onderzoeken.

De meta-analyse van de commissie waarin alle onderzoeken zijn opgenomen laat bij blootstelling aan een magneetveldsterkte van meer dan 0,3 of 0,4 μT een statistisch significant verhoogd risico zien. Het risico is



verhoogd met naar schatting een factor 1,6 (95% BI 1,1-2,3). Dit komt overeen met de resultaten van de eerder gepubliceerde gepoolde analyses (zie tabel 4). De commissie heeft op deze gegevens ook een meta-regressieanalyse uitgevoerd om te onderzoeken of het risico toeneemt met toenemende blootstelling en vond geen statistisch significante blootstellings-responsrelatie ($p=0,15$).

De commissie heeft vervolgens in nadere analyses onderscheid gemaakt tussen onderzoeken die de magneetveldsterkte op verschillende woonadressen hebben gemeten of berekend (het adres waar het kind is geboren, het adres waar het kind woonde op het moment van diagnose en eventuele andere adressen in de tussenliggende periode), en onderzoeken die alleen op één adres hebben gekeken (geboorteadres of adres bij diagnose). De eerste methode geeft een representatiever beeld van de blootstelling over een langere periode dan de tweede.

Uit de meta-analyse van onderzoeken die alle woonadressen hebben meegenomen, komt een hogere risicoschatting naar voren bij blootstelling aan een veldsterkte van meer dan 0,3 of 0,4 μT , naar schatting een factor 2,7 (95% BI 1,6-4,8), dan bij onderzoeken die slechts één adres hebben onderzocht, naar schatting een factor 1,2 (95% BI 0,8-1,9) (zie tabel 4). Een meta-regressieanalyse vond in de groep ‘verschillende adressen’ geen statistisch significante blootstellings-responsrelatie ($p=0,07$).

Tabel 4. Analyse gegevens over relatie tussen magneetveldsterkte en risico op kinderleukemie

Blootstelling (magneetveldsterkte in μT)	Risicoschatting ^a	95% BI ^a	Aantal onderzoeken
<i>Gepoolde analyse Ahlbom e.a. (2000)⁴⁵</i>			
$\geq 0,4$	2,00	1,27-3,13	9
0,2- $<0,4$	1,11	0,84-1,47	9
0,1- $<0,2$	1,08	0,89-1,31	9
$<0,1$ (referentiegroep)	1,00		
<i>Gepoolde analyse Greenland e.a. (2000)⁴⁶</i>			
$>0,3$	1,68	1,23-2,31	9
$>0,2 \leq 0,3$	1,06	0,78-1,44	8
$>0,1 \leq 0,2$	1,01	0,84-1,21	12
$\leq 0,1$ (referentiegroep)	1,00		
<i>Gepoolde analyse Kheifets e.a. (2010)¹⁷</i>			
$\geq 0,4$	1,46	0,80-2,68	7
0,2- $<0,4$	1,22	0,78-1,89	7
0,1- $<0,2$	1,07	0,81-1,41	7
$<0,1$ (referentiegroep)	1,00		
<i>Meta-analyse commissie, alle onderzoeken</i>			
$>0,3$ of $>0,4$	1,62	1,13-2,34	12
0,2-0,4	1,18	0,93-1,50	13
0,1-0,2 of 0,1-0,3	1,18	1,00-1,39	18
Referentiegroep ^b	1,00		
<i>Meta-analyse commissie; magneetveld bepaald op alle woonadressen</i>			
$>0,3$ of $>0,4$	2,71	1,55-4,75	5
0,2-0,4	1,35	0,99-1,84	6
0,1-0,2 of 0,1-0,3	1,19	0,96-1,46	9
Referentiegroep ^b	1,00		
<i>Meta-analyse commissie; magneetveld alleen bepaald op geboorteadres of adres bij diagnose</i>			
$>0,3$ of $>0,4$	1,21	0,79-1,85	7
0,2-0,4	0,99	0,69-1,42	7
0,1-0,2 of 0,1-0,3	1,19	0,86-1,65	9
Referentiegroep ^b	1,00		

^a Voor toelichting op risicoschatting en betrouwbaarheidsinterval zie tekstkader in §3.1. Statistisch significante waarden zijn vet aangegeven.

^b De referentiegroepen in de verschillende onderzoeken zijn niet gelijk.



De heterogeniteit van de resultaten tussen de verschillende onderzoeken is relatief laag.

Tabel 4 vat de resultaten van de gepubliceerde gepoolde analyses en van de meta-analyses van de commissie samen. Meer informatie over de analyses en de daarvoor gebruikte gegevens staat in het [achtergronddocument](#).

3.3 Conclusies

De meta-analyses van de commissie van de gegevens over afstand tot bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van kinderleukemie laten geen duidelijke associaties met het optreden van kinderleukemie zien. Binnen een afstand van 0 tot 100 meter is er geen duidelijke toename van de risicoschatting naarmate men dichterbij een hoogspanningslijn woont. Bij een afstand van 0 tot 50 meter is het risico naar schatting verhoogd met een factor 1,2 en bij een afstand van 50 tot 100 meter met een factor 1,3. Het risico bij een afstand van 100 tot 200 meter is niet verhoogd, maar die schatting is gebaseerd op slechts drie onderzoeken.

Uit de analyses komen geen duidelijke aanwijzingen dat de hoogte van de spanning op de lijn van invloed is op de hoogte van het risico, maar er is slechts een gering aantal onderzoeken beschikbaar over hoogspanningslijnen met een lijnspanning van 200 kV of meer.

De resultaten van onderzoeken in de meta-analyses zijn heterogeen, wat de zeggingskracht van de uitkomsten van de meta-analyses van de commissie vermindert.

De meta-analyses van de commissie van de gegevens over de gemeten en/of berekende magneetveldsterkte laten wel een duidelijke associatie zien met een verhoogd risico op kinderleukemie. De commissie hecht de meeste waarde aan de analyse waarin alleen de onderzoeken zijn opgenomen die de blootstelling op alle woonadressen van geboorte tot diagnose hebben bepaald, omdat dat naar verhouding het meest representatieve beeld geeft van de blootstelling over een langere periode. Die analyse geeft aan dat bij een veldsterkte van meer dan 0,3 à 0,4 μT het risico naar schatting 2,7 maal is verhoogd (95% BI 1,6-4,8). Dat is hoger dan de schattingen uit eerdere onderzoeken, al overlappen de betrouwbaarheidsintervallen van de eerdere en huidige risicoschattingen elkaar. Er is echter geen statistisch significante blootstellings-responsrelatie gevonden.

Deze bevindingen bevestigen de uitkomsten van de eerder in de wetenschappelijke literatuur gepubliceerde gepoolde analyses en de eerdere conclusies van de Gezondheidsraad.

Al met al ziet de commissie in de beschikbare gegevens over associaties tussen magneetveldsterkte en een verhoogd risico op kinderleukemie



‘aanwijzingen’ voor een oorzakelijk verband. Omdat er nauwelijks aanvullend bewijs is uit dierexperimenteel of in vitro-onderzoek en er vooralsnog geen inzicht is in een mogelijk werkingsmechanisme^{14,15} acht de commissie de EPA-classificaties ‘waarschijnlijk oorzakelijk verband’ en ‘bewezen oorzakelijk verband’ niet van toepassing.



04 andere vormen van kanker bij kinderen



Van andere vormen van kanker zijn alleen gegevens bekend over hersentumoren en lymfomen. Op grond van de zeer beperkte hoeveelheid gegevens kan slechts worden geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn voor een associatie tussen de afstand van de woning tot bovengrondse elektriciteitslijnen en het risico op hersentumoren bij kinderen. De commissie heeft wel aanwijzingen gevonden voor een associatie tussen langdurige blootstelling aan magneetveldsterktes van boven 0,3 à 0,4 μT en het risico op hersentumoren bij kinderen. Dat risico is naar schatting met een factor 1,4 verhoogd, maar de onzekerheidsmarge is groot. Voor lymfomen zijn de gegevens te beperkt om conclusies te trekken.

4.1 Hersentumoren: afstand

Er zijn slechts twee onderzoeken waarin de relatie tussen afstand tot bovengrondse hoogspanningslijnen en andere vormen van kanker bij kinderen is onderzocht. In beide gevallen gaat het om hersentumoren. Beide onderzoeken waren van voldoende kwaliteit om mee te wegen in dit advies, maar een meta-analyse uitvoeren van slechts twee onderzoeken is niet zinvol.

Feychting en Ahlbom (1993)¹⁹ vonden voor een afstand van 50 meter of minder een verlaagd risico op het optreden van een hersentumor bij kinderen (risicoschatting 0,5; 95% BI 0,0-2,8). Bunch e.a. (2014)³⁰ vonden voor een afstand tussen 0 en 200 meter een risicoschatting van 1,1 (95% BI 0,8-1,4).

4.2 Hersentumoren: magneetveldsterkte

4.2.1 Kwaliteit beschikbaar onderzoek

In 2010 is een gepoolde analyse gepubliceerd van Kheifets e.a.⁶⁵ waarin de gegevens zijn gecombineerd van 10 onderzoeken naar de relatie tussen de sterkte van ELF magnetische velden en het optreden van hersentumoren bij kinderen. Sindsdien zijn er 3 nieuwe onderzoeken verschenen, waarvan er 1 (Bunch e.a. 2016)⁶⁰ een uitbreiding is van een eerder onderzoek (Kroll e.a., 2010).⁴² Het onderzoek van Bunch e.a. (2015)¹⁸ betreft magneetvelden van ondergrondse kabels. De kwaliteitsanalyse van de onderzoeken staat in tabel 5.

Tabel 5. Kwaliteit van onderzoeken naar relatie tussen magneetveldsterkte en risico op hersentumoren bij kinderen

Voldoende kwaliteit	Onvoldoende kwaliteit
Savitz e.a. (1988) ^{47 a}	UK Childhood Cancer Study (1999) ^{54 a d}
Feychting & Ahlbom (1993) ^{19 a}	Schüz e.a. (2001) ^{67 a}
Olsen e.a. (1993) ^{36 a c}	Saito e.a. (2010) ^{68 a}
Verkasalo e.a. (1993) ^{49 a}	Bunch e.a. (2015) ¹⁸
Preston-Martin e.a. (1996) ^{66 a}	Pedersen e.a. (2015) ⁵⁸
Tynes & Haldorsen (1997) ^{21 a}	Bunch e.a. (2016) ^{60 b}

^a Opgenomen in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).⁶⁵

^b Actualisering van gegevens uit Kroll e.a. (2010)⁴² die gebruikt zijn in de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).¹⁷

^c Niet opgenomen in de huidige analyse; actualisering in Pedersen e.a. (2015).⁵⁸

^d Niet opgenomen in de huidige analyse vanwege waarschijnlijke overlap in gebied en tijdsperiode met Bunch e.a. (2016)⁶⁰, dat een recenter onderzoek is.



De commissie acht het mogelijk dat de resultaten voor hersentumoren vertekend zijn doordat er wellicht onderzoeken waar geen associaties gevonden zijn niet zijn gepubliceerd ('publicatiebias'). Hersentumoren zijn vaak secundaire uitkomsten bij studies die verbanden tussen hoogspanningslijnen en kinderleukemie bestuderen. Het is mogelijk dat de resultaten hiervan alleen beschreven worden als de resultaten significant zijn.

4.2.2 Gepoolde analyse 2010

Kheifets e.a. concluderen op basis van een analyse van 10 onderzoeken dat bij een magneetveldsterkte van meer dan 0,4 μT het risico op een hersentumor naar schatting verhoogd is met een factor 1,2. Volgens de onderzoekers levert deze analyse 'weinig bewijs' voor een associatie tussen blootstelling aan ELF magnetische velden en hersentumoren bij kinderen.

4.2.3 Analyses van de commissie

De commissie heeft een meta-analyse uitgevoerd met de gegevens uit de 10 onderzoeken die in de gepoolde analyse van Kheifets zijn opgenomen (met geactualiseerde gegevens uit een van deze onderzoeken, zie boven) en 2 nieuwe onderzoeken (Pedersen e.a. (2016)⁵⁸ en Bunch e.a. (2015)¹⁸). De magneetveldsterkte is voor de analyse ingedeeld in vier blootstellingscategorieën:

- 0 tot 0,1 μT (de referentiecategorie);

- tussen 0,1 en 0,2 μT (of tussen 0,1 en 0,3 μT , afhankelijk van de afbakening van de blootstellingscategorieën in de geanalyseerde onderzoeken);
- 0,2 tot 0,4 μT ;
- 0,3 μT of meer (of 0,4 μT of meer, afhankelijk van de afbakening van de blootstellingscategorieën in de geanalyseerde onderzoeken).

In de meta-analyse van de commissie was het risico op een hersentumor bij blootstelling in de hoogste blootstellingscategorie, meer dan 0,3 of 0,4 μT , naar schatting verhoogd met een factor 1,4 (95% BI 0,8-2,7). De commissie heeft op deze gegevens ook een meta-regressieanalyse uitgevoerd om te onderzoeken of het risico toeneemt met toenemende blootstelling, en vond geen statistisch significante blootstellings-responsrelatie ($p=0,08$).

Tabel 6 vat de resultaten van gepoolde analyse van Kheifets en van de meta-analyse van de commissie samen. Meer informatie over de analyses en de daarvoor gebruikte gegevens staat in het [achtergronddocument](#).

Uit de meta-analyse komt een hogere risicoschatting dan uit de gepoolde analyse van Kheifets e.a. (2010).⁶⁵ Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in de meta-analyse van de commissie twee recente onderzoeken^{18,58} zijn opgenomen die beide een verhoogd risico in de categorie meer dan



0,3 of 0,4 µT laten zien. Een van deze onderzoeken betreft blootstelling aan magneetvelden van ondergrondse kabels.

Tabel 6. Analyse gegevens over relatie tussen magneetveldsterkte en risico op hersentumoren bij kinderen

Blootstelling (magneetveldsterkte in µT)	Risicoschatting ^a	95% BI ^a	Aantal onderzoeken
Gepoolde analyse Kheifets e.a. (2010)⁶⁵			
≥0,4	1,15	0,60-2,21	10
0,2-<0,4	0,77	0,43-1,37	10
0,1-<0,2	0,90	0,60-1,37	10
<0,1 (referentiegroep)	1,00		
Meta-analyse commissie			
>0,3 of 0,4	1,44	0,77-2,69	6
0,2-0,4	1,29	0,74-2,27	7
0,1-0,2 of 0,1-0,3	0,96	0,74-1,24	8
Referentiegroep ^b	1,00		

^a Voor toelichting op risicoschatting en betrouwbaarheidsinterval zie kader in § 3.1.

^b De referentiegroepen in de verschillende onderzoeken zijn niet gelijk.

4.3 Lymfomen: magneetveldsterkte

4.3.1 Kwaliteit beschikbaar onderzoek

Er zijn geen meta-analyses of gepoolde analyses over lymfomen gepubliceerd. Wel zijn er in zes onderzoeken naar leukemie ook gegevens over lymfomen verzameld. De kwaliteitsanalyse van die onderzoeken staat in tabel 7. De details van de onderzoeken staan in het [achtergronddocument](#).

Evenals bij hersentumoren acht de commissie het mogelijk dat de resultaten voor lymfomen vertekend zijn doordat er wellicht onderzoeken waar

geen associaties gevonden zijn niet zijn gepubliceerd ('publicatiebias'). Lymfomen zijn vaak secundaire uitkomsten bij studies die verbanden tussen hoogspanningslijnen en kinderleukemie bestuderen. Het is mogelijk dat de resultaten hiervan alleen beschreven worden als de resultaten significant zijn.

Tabel 7. Kwaliteit onderzoeken naar relatie tussen magneetveldsterkte en risico op lymfomen bij kinderen

Voldoende kwaliteit	Onvoldoende kwaliteit
Savitz e.a. (1988) ⁴⁷	Verkasalo e.a. (1993) ⁴⁹
Feychting & Ahlbom (1993) ¹⁹	Tynes & Haldorsen (1997) ²¹
Olsen e.a. (1993) ^{36 a}	Pedersen e.a. (2015) ⁵⁸

^a Niet opgenomen in de huidige analyse; actualisering in Pedersen e.a. (2015).⁵⁸

4.3.2 Analyses van de commissie

De resultaten van de meta-analyse geven aanwijzingen voor een associatie tussen langdurige blootstelling aan magnetische velden en de kans op het optreden van lymfomen bij kinderen. Bij blootstelling boven 0,2 µT is het risico naar schatting met een factor 1,9 verhoogd, maar er zit een grote onzekerheid in deze schatting (95% BI 0,8-4,9). Het aantal onderzoeken is gering. Bovendien is in alle onderzoeken het aantal kinderen met lymfoom gering (tussen de 0 en 3 gevallen in de hoogste blootstellingscategorie). De commissie heeft op deze gegevens ook een meta-regressieanalyse uitgevoerd om te onderzoeken of het risico toeneemt met toenemende blootstelling, maar vond geen significante blootstellings-responsrelatie (p=0,18). De commissie vindt het daarom niet verantwoord om een conclusie te trekken.



Tabel 8 vat de resultaten van de meta-analyse van de commissie samen. Meer informatie over de analyse en de daarvoor gebruikte gegevens staat in het [achtergronddocument](#).

Tabel 8. Meta-analyse commissie gegevens relatie tussen magneetveldsterkte en risico op lymfomen bij kinderen

Blootstelling (magneetveldsterkte in μT)	Risicoschatting ^a	95% BI ^a	Aantal onderzoeken
>0,2	1,91	0,75-4,86	3
0,01-0,2 of 0,1-0,4	1,02	0,63-1,63	4
Referentiegroep ^b	1,00		

^a Voor toelichting op risicoschatting en betrouwbaarheidsinterval zie tekstkader in § 3.1.

^b De referentiegroepen in de verschillende onderzoeken zijn niet gelijk.

4.4 Conclusie

Over afstand tot bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van hersentumoren bij kinderen zijn maar beperkt gegevens beschikbaar. Die beperkte gegevens wijzen niet op een associatie.

De gegevens over magneetveldsterkte en het optreden van hersentumoren bij kinderen suggereren wel een associatie. Bij een veldsterkte van meer dan 0,3 à 0,4 μT is het risico volgens de meta-analyse van de commissie naar schatting 1,4 maal verhoogd (95% BI 0,8-2,7). Dat betekent dat de aanwijzingen voor een associatie tussen blootstelling aan ELF

magnetische velden en het risico op hersentumoren bij kinderen wat sterker zijn geworden ten opzichte van de eerdere analyse van Kheifets e.a. (2010). De commissie heeft geen statistisch significante blootstellings-responsrelatie gevonden.

In de onderzoeken naar lymfomen bij kinderen zijn slechts heel weinig patiënten opgenomen. De commissie vindt het daarom niet verantwoord conclusies uit deze gegevens te trekken.

De bewijskracht voor een oorzakelijk verband tussen het risico op hersentumoren bij kinderen en blootstelling aan elektromagnetische velden wordt volgens de commissie het best getypeerd door de classificatie ‘aanwijzingen voor oorzakelijk verband’. De commissie acht de aanwijzingen echter minder sterk dan bij kinderleukemie. Wat betreft de relatie tussen lymfomen bij kinderen en blootstelling aan magnetische velden, vindt de commissie de classificatie ‘uitspraak over oorzakelijkheid niet mogelijk’ van toepassing vanwege het geringe aantal uitgevoerde onderzoeken en het kleine aantal patiënten daarin.



05 andere factoren dan magnetische velden



Naast de blootstelling aan ELF magnetische velden zouden ook andere factoren kunnen samenhangen met de aanwezigheid van bovengrondse elektriciteitslijnen. Het valt niet uit te sluiten dat een of meer van die andere factoren een rol spelen bij de associaties die zijn gevonden in onderzoeken met afstand of magneetveldsterkte als blootstellingsmaat. Evenmin valt uit te sluiten dat sommige van de gevonden associaties op toeval berusten.

Er is van meet af aan in epidemiologische onderzoeken gezocht naar mogelijke versturende factoren ('confounders') die de gevonden associaties zouden kunnen verklaren. Ook zijn er diverse hypothesen over mogelijk alternatieve oorzaken. Geen van die versturende factoren of hypothesen vormen naar het oordeel van de commissie een deugdelijke wetenschappelijke verklaring voor de waargenomen associatie tussen het wonen nabij bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van kanker bij kinderen.

5.1 Versturende factoren

Er zijn factoren die mogelijk samenhangen met de aanwezigheid van bovengrondse elektriciteitslijnen en met leukemie. Die zouden de resultaten van onderzoeken kunnen vertekenen. Zo kunnen gezinnen die in de buurt van hoogspanningslijnen wonen een lagere sociaal-economische positie hebben dan gezinnen die verder weg wonen. Huizen dichtbij hoogspanningslijnen kunnen immers goedkoper zijn. In het advies van de Gezondheidsraad over mogelijke oorzaken van kinderleukemie uit 2012⁸ was de

conclusie dat er onvoldoende epidemiologische bewijzen zijn voor een directe associatie tussen sociaal-economische status en kinderleukemie.

Ook verkeersdichtheid kan een versturende factor zijn. Hoogspanningslijnen volgen soms drukke verkeersaders. In de buurt daarvan kan blootstelling aan uitlaatgassen plaatsvinden. Onderzoeken naar de relatie tussen verkeersdichtheid en kinderleukemie laten inderdaad een associatie zien⁶⁹, maar in onderzoeken naar bovengrondse elektriciteitslijnen waarin werd gecorrigeerd voor verkeersdichtheid, had deze correctie geen invloed op het eindresultaat.^{45,56,58}

5.2 De corona-hypothese

Op korte afstand (binnen enkele meters) van de draden van een hoogspanningslijn is een sterk elektrisch veld aanwezig dat elektrische ontladingen in de lucht kan veroorzaken, de corona. Deze ontladingen kunnen fijnstof elektrisch opladen. Een hypothese die een aantal jaren geleden naar voren kwam, is dat daardoor het fijnstof mogelijk een grotere kans heeft in het lichaam terecht te komen en gezondheidseffecten te veroorzaken.⁷⁰ Het RIVM concludeerde in 2007 en in 2011 dat bovengrondse hoogspanningslijnen de schadelijke effecten van fijnstof niet beïnvloeden; de oplading van fijnstof door bovengrondse hoogspanningslijnen is te gering om het fijnstof meer dan normaal aan luchtwegen, longen en de huid te laten 'plakken'.^{71,72}



5.3 De contactstroom hypothese

Een andere hypothese is dat het optreden van contactstroom mogelijk een oorzaak zou kunnen zijn van de gevonden associatie tussen blootstelling aan een magnetisch veld en kinderleukemie.⁷³ Die vraag is vooral relevant in de Verenigde Staten, waar de aarding van het elektriciteitsnet nog vaak via de (metalen) waterleiding loopt. Als een kind dan in een metalen bad zit, kan via contact met de kraan een elektrische stroom (de

contactstroom) gaan lopen die mogelijk van invloed zou kunnen zijn op het optreden van leukemie. In een aantal onderzoeken is dat bestudeerd.⁷⁴ Er blijken inderdaad contactstromen te kunnen optreden (maar die zijn te zwak om voelbaar te zijn). Een relatie met het optreden van leukemie is echter niet gevonden.



06 conclusies en advies



In eerdere adviezen heeft de Gezondheidsraad geconcludeerd dat epidemiologisch onderzoek wijst op een redelijk consistente associatie tussen wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen en het risico op leukemie bij kinderen.⁴⁻⁶ De adviezen waren destijds mede de aanleiding voor de Rijksoverheid om voorzorgsbeleid bij bovengrondse hoogspanningslijnen te adviseren.

De commissie heeft nu alle beschikbare relevante epidemiologische gegevens over leukemie en andere vormen van kanker bij kinderen opnieuw geanalyseerd, in meer detail en met inbegrip van de nieuwste onderzoeksgegevens, en komt tot de conclusie dat de recente analyses de eerdere conclusies bevestigen en versterken.

Gegevens over afstand hebben beperkte informatiewaarde

De gegevens over afstand tot bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van verschillende vormen van kanker bij kinderen laten geen duidelijke associaties zien, maar de hoeveelheid gegevens van goede kwaliteit is beperkt. De kans op het krijgen van kinderleukemie lijkt naar schatting met een factor 1,2 verhoogd te zijn bij kinderen die binnen ongeveer 50 meter van een bovengrondse elektriciteitslijn wonen. Er is echter sprake van aanzienlijke heterogeniteit tussen de uitkomsten van de onderzoeken. Bovendien acht de commissie publicatiebias niet uitgesloten.

Daarom vindt de commissie deze bevindingen op zichzelf geen sterke aanwijzing voor een verhoogd risico bij kortere woonafstand.

Uit de analyses komen geen duidelijke aanwijzingen dat de hoogte van de spanning op de lijn van invloed is op de risicoschatting, maar dat kan het gevolg zijn van het geringe aantal onderzoeken bij de lijnen met spanningen van 200 kV of meer.

Met betrekking tot het optreden van andere vormen van kanker zijn vrijwel geen gegevens bekend. Er zijn slechts twee onderzoeken beschikbaar over hersentumoren en afstand tot hoogspanningslijnen, en die geven geen aanwijzingen voor een associatie.

Afstand tot een hoogspanningslijn wordt in deze analyses gebruikt als een (grote) maat voor blootstelling aan magnetische velden. Dichterbij een bovengrondse lijn en bij een hogere spanning op de lijn en de daarmee gepaard gaande hogere stroomsterkte neemt de blootstelling aan het magnetisch veld toe.

Wel duidelijke associatie bij gegevens over magneetveldsterkte

De gegevens over magneetveldsterkte en het optreden van verschillende vormen van kanker bij kinderen laten wel duidelijke associaties zien.



De analyses wijzen op een verhoging van het risico op het krijgen van kinderleukemie bij langdurige blootstelling aan een veldsterkte van meer dan 0,3 à 0,4 μT met naar schatting een factor 1,6. De blootstellings-responsrelatie was niet statistisch significant. Worden alleen de onderzoeken in beschouwing genomen waarin de blootstelling op alle woonadressen van geboorte tot diagnose is bepaald, en die daarmee een representatiever beeld geven van de blootstelling over een langere periode, dan valt de schatting van het risico hoger uit: een factor 2,7. Ook bij deze studies was de blootstellings-responsrelatie niet statistisch significant. De heterogeniteit tussen de onderzoeken die de interpretatie van de bevindingen zou kunnen bemoeilijken, is gering. De commissie acht bij deze onderzoeken publicatiebias niet waarschijnlijk. Het gaat bij dit onderwerp altijd om grote en dus dure onderzoeken die daarom vrijwel altijd zullen worden gepubliceerd.

Over de relatie van andere typen kanker met magneetveldsterkte zijn alleen gegevens over hersentumoren en lymfomen beschikbaar. Voor langdurige blootstelling aan magnetische velden met een veldsterkte van meer dan 0,3 à 0,4 μT heeft de commissie voor tumoren in de hersenen bij kinderen een verhoging van het risico gevonden met naar schatting een factor 1,4 (95% BI 0,8-2,7). Er is geen statistisch significante blootstellings-responsrelatie gevonden.

In de onderzoeken naar lymfomen bij kinderen konden slechts heel weinig patiënten worden opgenomen. De commissie vindt het daarom niet verantwoord conclusies uit deze gegevens te trekken. Er zijn ook gegevens bekend over kanker in het algemeen, maar die vindt de commissie te specifiek om te analyseren.

De commissie acht het mogelijk dat de resultaten voor hersentumoren en lymfomen vertekend zijn doordat er wellicht onderzoeken waar geen associaties gevonden zijn niet zijn gepubliceerd (publicatiebias). Hersentumoren en lymfomen zijn vaak secundaire uitkomsten bij studies die verbanden tussen hoogspanningslijnen en kinderleukemie bestuderen. Het is mogelijk dat de resultaten hiervan alleen beschreven worden als de resultaten significant zijn.

Aanwijzingen voor oorzakelijk verband

De commissie acht een oorzakelijk verband tussen de blootstelling aan ELF magnetische velden en het risico op leukemie en hersentumoren bij kinderen niet bewezen, maar is wel van oordeel dat er aanwijzingen zijn voor een dergelijk verband. Die aanwijzingen zijn voor leukemie sterker dan voor hersentumoren. Voor het risico op lymfomen bij kinderen vindt de commissie de EPA-classificatie 'uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk' van toepassing, vanwege het geringe aantal uitgevoerde onderzoeken en het kleine aantal patiënten daarin.



Volgens de commissie is de EPA-classificatie ‘aanwijzingen voor oorzakelijk verband’ van toepassing op het risico op leukemie en hersentumoren bij kinderen omdat:

- zij in haar meta-analyses van de geactualiseerde onderzoeksgegevens een associatie tussen blootstelling aan magnetische velden en kinderleukemie en hersentumoren vindt, die bij kinderleukemie meer uitgesproken is naarmate de blootstelling nauwkeuriger is bepaald;
- de meta-analyses berusten op meerdere observationele onderzoeken bij mensen, die van voldoende kwaliteit zijn en door verschillende onderzoeksgroepen zijn uitgevoerd;
- de uitkomsten consistent zijn met eerdere bevindingen zoals beschreven in het Gezondheidsraadadvies uit 2000⁴ en diverse gepoolde analyses;^{17,45,46}
- er geen aanwijzingen zijn dat andere factoren dan het magneetveld de waargenomen associatie kunnen verklaren.

De commissie acht het beschikbare bewijsmateriaal onvoldoende voor de EPA-classificatie ‘oorzakelijk verband waarschijnlijk’, omdat:

- het bewijsmateriaal uitsluitend uit observationeel onderzoek bij mensen bestaat;
- niet is uit te sluiten dat andere factoren dan het magnetisch veld of toeval toch een rol spelen;

- er nauwelijks aanvullend bewijs is uit dierexperimenteel of in vitro-onderzoek;
- er geen inzicht is in een mogelijk werkingsmechanisme.^{14,15}

De commissie acht de aanwijzingen voor hersentumoren zwakker dan voor kinderleukemie. Daarnaast vindt zij het mogelijk dat de resultaten voor hersentumoren en lymfomen vertekend zijn als gevolg van publicatiebias.

Geen aanwijzingen voor andere factoren

Mogelijke factoren die de uitkomsten van onderzoeken naar wonen nabij hoogspanningslijnen en het optreden van kanker bij kinderen zouden kunnen vertekenen zijn een lage sociaal-economische positie en verkeersdichtheid. Maar in onderzoeken waarin voor deze factoren werd gecorrigeerd, bleek dat geen invloed te hebben op de uitkomst.

Ook zijn er verschillende hypothesen over mogelijk alternatieve oorzaken. Maar ook die vormen naar het oordeel van de commissie geen deugdelijke wetenschappelijke verklaring voor de waargenomen associatie tussen het wonen nabij bovengrondse elektriciteitslijnen en het optreden van kanker bij kinderen.

Het is niet uit te sluiten dat andere, tot nog toe onbekende factoren of het toeval een rol spelen.



Uitbreiding voorzorgbeleid

Al met al ziet de commissie in de huidige stand van wetenschap geen aanleiding de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat te adviseren het huidige beleid met betrekking tot bovengrondse elektriciteitslijnen te heroverwegen. Omdat er aanwijzingen zijn voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan magnetische velden en een verhoogd risico op kinderleukemie en hersentumoren, en magnetische velden niet

tegengehouden worden door bodem of bouwmaterialen, geeft de commissie vanuit gezondheidskundig oogpunt de staatssecretaris in overweging om het beleid uit te breiden naar ondergrondse elektriciteitskabels en andere bronnen van langdurige blootstelling aan magnetische velden uit het elektriciteitsnetwerk, zoals transformatorstations en transformatorhuisjes.



literatuur



- ¹ Wertheimer N, Leeper E. *Electrical wiring configurations and childhood cancer*. Am J Epidemiol 1979; 109(3): 273-84.
- ² IARC - International Agency for Research on Cancer. *Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields*. Lyon: IARC, 2002.
- ³ Gezondheidsraad. *Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid*. Den Haag, Gezondheidsraad, 1992; publicatienr. 1992/07.
- ⁴ Gezondheidsraad. *Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz)*. Den Haag, Gezondheidsraad, 2000; publicatienr. 2000/06.
- ⁵ Gezondheidsraad. *Briefadvies Hoogspanningslijnen*. Den Haag, Gezondheidsraad, 2007; publicatienr. 2007/25.
- ⁶ Gezondheidsraad. *Briefadvies Hoogspanningslijnen*. Den Haag, Gezondheidsraad, 2008; publicatienr. 2008/04.
- ⁷ Gezondheidsraad. *Briefadvies Hoogspanningslijnen en de ziekte van Alzheimer*. Den Haag, Gezondheidsraad, 2009; publicatienr. 2009/05.
- ⁸ Health Council of the Netherlands. *Childhood leukaemia and environmental factors*. The Hague, Health Council of the Netherlands, 2012; publication no. 2012/33.
- ⁹ Nederlandse Kankerregistratie. <http://www.cijfersoverkanker.nl>, geraadpleegd 2 maart 2018.
- ¹⁰ CBS. <http://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7461bev/table?ts=1519633323395>, geraadpleegd 2 maart 2018.
- ¹¹ Pruppers MJM. *Blootstelling aan extreem laag frequente elektromagnetische 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*. Bilthoven, RIVM, 2003: RIVM-briefrapport 032/2003.
- ¹² Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu. *Advies met betrekking tot hoogspanningslijnen*. <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-infrastructuur-en-waterstaat/documenten/brieven/2005/01/01/advies-met-betrekking-tot-hoogspanningslijnen,geraadpleegd-17-11-2017>.
- ¹³ Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu. *Verduidelijking van het advies met betrekking tot hoogspanningslijnen*. <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-infrastructuur-en-waterstaat/documenten/brieven/2008/11/11/brief-aan-gemeenten-met-verduidelijking-advies-met-betrekking-tot-hoogspanningslijnen,geraadpleegd-17-11-2017>.
- ¹⁴ WHO - World Health Organization. *Extremely low frequency fields*. Environmental Health Criteria 238 Geneva: World Health Organization; 2007.
- ¹⁵ SCENHIR - Scientific Committee on Emerging, Newly Identified Health Risks. *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. Brussels, European Commission; 2015; <https://ec.europa.eu/>



health/sites/health/files/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf, geraadpleegd 03-11-2017.

- ¹⁶ Owens EO, Patel MM, Kirrane E, Long TC, Brown J, Cote I, e.a. *Framework for assessing causality of air pollution-related health effects for reviews of the National Ambient Air Quality Standards*. Regul Toxicol Pharmacol 2017; 88: 332-7.
- ¹⁷ Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, Lowenthal RM, e.a. *Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia*. Br J Cancer 2010; 103(7): 1128-35.
- ¹⁸ Bunch KJ, Swanson J, Vincent TJ, Murphy MF. *Magnetic fields and childhood cancer: an epidemiological investigation of the effects of high-voltage underground cables*. J Radiol Prot 2015; 35(3): 695-705.
- ¹⁹ Feychting M, Ahlbom A. *Magnetic-fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power-lines*. Am J Epidemiol 1993; 138(7): 467-81.
- ²⁰ Petridou E, Trichopoulos D, Kravaritis A, Pourtsidis A, Dessypris N, Skalkidis Y, e.a. *Electrical power lines and childhood leukemia: a study from Greece*. Int J Cancer 1997; 73(3): 345-8.
- ²¹ Tynes T, Haldorsen T. *Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines*. Am J Epidemiol 1997; 145(3): 219-26.
- ²² Li CY, Lee WC, Lin RS. *Risk of leukemia in children living near high-voltage transmission lines*. J Occup Environ Med 1998; 40(2): 144-7.
- ²³ McBride ML, Gallagher RP, Theriault G, Armstrong BG, Tamaro S, Spinelli JJ, e.a. *Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada*. Am J Epidemiol 1999; 149(9): 831-42.
- ²⁴ Bianchi N, Crosignani P, Rovelli A, Tittarelli A, Carnelli CA, Rossitto F, e.a. *Overhead electricity power lines and childhood leukemia: a registry-based, case-control study*. Tumori 2000; 86(3): 195-8.
- ²⁵ Kleinerman RA, Kaune WT, Hatch EE, Wacholder S, Linet MS, Robison LL, e.a. *Are children living near high-voltage power lines at increased risk of acute lymphoblastic leukemia?* Am J Epidemiol 2000; 151(5): 512-5.
- ²⁶ UK Childhood Cancer Study Investigators. *Childhood cancer and residential proximity to power lines*. Br J Cancer 2000; 83(11): 1573-80.
- ²⁷ Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, e.a. *Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan*. Int J Cancer 2006; 119(3): 643-50.
- ²⁸ Wünsch-Filho V, Pelissari DM, Barbieri FE, Sant'Anna L, de Oliveira CT, de Mata JF, e.a. *Exposure to magnetic fields and childhood acute lymphocytic leukemia in Sao Paulo, Brazil*. Cancer Epidemiol 2011; 35(6): 534-9.
- ²⁹ Sermage-Faure C, Demoury C, Rudant J, Goujon-Bellec S, Guyot-Goubin A, Deschamps F, e.a. *Childhood leukaemia close to high-*



- voltage power lines--the Geocap study, 2002-2007*. Br J Cancer 2013; 108(9): 1899-906.
- ³⁰ Bunch KJ, Keegan TJ, Swanson J, Vincent TJ, Murphy MF. *Residential distance at birth from overhead high-voltage powerlines: childhood cancer risk in Britain 1962-2008*. Br J Cancer 2014; 110(5): 1402-8.
- ³¹ Pedersen C, Raaschou-Nielsen O, Rod NH, Frei P, Poulsen AH, Johansen C, e.a. *Distance from residence to power line and risk of childhood leukemia: a population-based case-control study in Denmark*. Cancer Causes Control 2014; 25(2): 171-7.
- ³² Crespi CM, Vergara XP, Hooper C, Oksuzyan S, Wu S, Cockburn M, e.a. *Childhood leukaemia and distance from power lines in California: a population-based case-control study*. Br J Cancer 2016; 115(1): 122-8.
- ³³ Coleman MP, Bell CM, Taylor HL, Primic-Zakelj M. *Leukaemia and residence near electricity transmission equipment: a case-control study*. Br J Cancer 1989; 60(5): 793-8.
- ³⁴ Myers A, Clayden AD, Cartwright RA, Cartwright SC. *Childhood cancer and overhead powerlines: a case-control study*. Br J Cancer 1990; 62(6): 1008-14.
- ³⁵ Fajardo-Gutierrez A, Garduno-Espinosa J, Yamamoto-Kimura L, Hernandez-Hernandez DM, Gomez-Delgado A, Mejia-Arangure M, e.a. *[Residence close to high-tension electric power lines and its association with leukemia in children]*. Bol Med Hosp Infant Mex 1993; 50(1): 32-8.
- ³⁶ Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. *Residence near high-voltage facilities and risk of cancer in children*. Br Med J 1993; 307(6909): 891-5.
- ³⁷ Mizoue T, Onoe Y, Moritake H, Okamura J, Sokejima S, Nitta H. *Residential proximity to high-voltage power lines, risk of childhood hematological malignancies*. J Epidemiol 2004; 14(4): 118-23.
- ³⁸ Feizi AA, Arabi MA. *Acute childhood leukemias and exposure to magnetic fields generated by high voltage overhead power lines - a risk factor in Iran*. Asian Pac J Cancer Prev 2007; 8(1): 69-72.
- ³⁹ Abdul Rahman HI, Shah SA, Alias H, Ibrahim HM. *A case-control study on the association between environmental factors and the occurrence of acute leukemia among children in Klang Valley, Malaysia*. Asian Pac J Cancer Prev 2008; 9(4): 649-52.
- ⁴⁰ Sohrabi MR, Tarjoman T, Abadi A, Yavari P. *Living near overhead high voltage transmission power lines as a risk factor for childhood acute lymphoblastic leukemia: a case-control study*. Asian Pac J Cancer Prev 2010; 11(2): 423-7.
- ⁴¹ Tabrizi MM, Bidgoli SA. *Increased risk of childhood acute lymphoblastic leukemia (ALL) by prenatal and postnatal exposure to high voltage power lines: a case control study in Isfahan, Iran*. Asian Pac J Cancer Prev 2015; 16(6): 2347-50.



- ⁴² Kroll ME, Swanson J, Vincent TJ, Draper GJ. *Childhood cancer and magnetic fields from high-voltage power lines in England and Wales: a case-control study*. Br J Cancer 2010; 103(7): 1122-7.
- ⁴³ Malagoli C, Fabbi S, Teggi S, Calzari M, Poli M, Ballotti E, e.a. *Risk of hematological malignancies associated with magnetic fields exposure from power lines: a case-control study in two municipalities of northern Italy*. Environ Health 2010; 9: 16.
- ⁴⁴ Lowenthal RM, Tuck DM, Bray IC. *Residential exposure to electric power transmission lines and risk of lymphoproliferative and myeloproliferative disorders: a case-control study*. Intern Med J 2007; 37(9): 614-9; 10.1111/j.1445-5994.2007.01389.x.
- ⁴⁵ Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, e.a. *A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia*. Br J Cancer 2000; 83(5): 692-8.
- ⁴⁶ Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. *A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia*. Epidemiology 2000; 11: 624-34.
- ⁴⁷ Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. *Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields*. Am J Epidemiol 1988; 128(1): 21-38.
- ⁴⁸ London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC, Peters JM. *Exposure to residential electric and magnetic-fields and risk of childhood leukemia*. Am J Epidemiol 1991; 134(9): 923-37.
- ⁴⁹ Verkasalo P, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Jarvinen PJ, Heikkila KV, e.a. *Risk of cancer in Finnish children living close to power lines*. Br Med J 1993; 307: 895-9.
- ⁵⁰ Linet MS, Hatch EE, Kleieman RA, Robinson LL, Kaune WT, Friedman DR, e.a. *Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children*. New Eng J Med 1997; 337: 1-7.
- ⁵¹ Dockerty JD, Elwood JM, Skegg DC, Herbison GP. *Electromagnetic field exposures and childhood cancers in New Zealand*. Cancer Causes Control 1998; 9(3): 299-309.
- ⁵² Michaelis J, Schüz J, Meinert R, Zemmann E, Grigat JP, Kaatsch P, e.a. *Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia*. Epidemiology 1998; 9: 92-4.
- ⁵³ Green LM, Miller AB, Villeneuve PJ, Agnew DA, Greenberg ML, Li J, e.a. *A case-control study of childhood leukemia in southern Ontario, Canada, and exposure to magnetic fields in residences*. Int J Cancer 1999; 82: 161-70.
- ⁵⁴ UK Childhood Cancer Study Investigators. *Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer*. Lancet 1999; 354(9194): 1925-31.
- ⁵⁵ Schüz J, Grigat JP, Brinkmann K, Michaelis J. *Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: results from a German population-based case-control study*. Int J Cancer 2001; 91(5): 728-35.



- ⁵⁶ Mejia-Arangure JM, Fajardo-Gutierrez A, Perez-Saldivar ML, Gorodezky C, Martinez-Avalos A, Romero-Guzman L, e.a. *Magnetic fields and acute leukemia in children with Down syndrome*. *Epidemiology* 2007; 18(1): 158-61.
- ⁵⁷ Does M, Scelo G, Metayer C, Selvin S, Kavet R, Buffler P. *Exposure to electrical contact currents and the risk of childhood leukemia*. *Radiat Res* 2011; 175(3): 390-6; 10.1667/RR2357.1.
- ⁵⁸ Pedersen C, Johansen C, Schüz J, Olsen JH, Raaschou-Nielsen O. *Residential exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukaemia, CNS tumour and lymphoma in Denmark*. *Br J Cancer* 2015; 113(9): 1370-4.
- ⁵⁹ Salvan A, Ranucci A, Lagorio S, Magnani C, Group SR. *Childhood leukemia and 50 Hz magnetic fields: findings from the Italian SETIL case-control study*. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12(2): 2184-204.
- ⁶⁰ Bunch KJ, Swanson J, Vincent TJ, Murphy MF. *Epidemiological study of power lines and childhood cancer in the UK: further analyses*. *J Radiol Prot* 2016; 36(3): 437-55; 10.1088/0952-4746/36/3/437.
- ⁶¹ Kheifets L, Crespi CM, Hooper C, Cockburn M, Amoon AT, Vergara XP. *Residential magnetic fields exposure and childhood leukemia: a population-based case-control study in California*. *Cancer Causes Control* 2017; 10.1007/s10552-017-0951-6.
- ⁶² Tomenius L. *50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm County*. *Bioelectromagnetics* 1986; 7(2): 191-207.
- ⁶³ Coghill RW, Steward J, Philips A. *Extra low frequency electric and magnetic fields in the bedplace of children diagnosed with leukaemia: a case-control study*. *Eur J Cancer Prev* 1996; 5(3): 153-8.
- ⁶⁴ Jirik V, Pekarek L, Janout V, Tomaskova H. *Association between childhood leukaemia and exposure to power-frequency magnetic fields in Middle Europe*. *Biomed Environ Sci* 2012; 25(5): 597-601.
- ⁶⁵ Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Feychting M, Johansen C, Monroe J, e.a. *A pooled analysis of extremely low-frequency magnetic fields and childhood brain tumors*. *Am J Epidemiol* 2010; 172(7): 752-61.
- ⁶⁶ Preston MS, Navidi W, Thomas D, Lee PJ, Bowman J, Pogoda J. *Los Angeles study of residential magnetic fields and childhood brain tumors*. *Am J Epidemiol* 1996; 143(2): 105-19.
- ⁶⁷ Schüz J, Kaletsch U, Kaatsch P, Meinert R, Michaelis J. *Risk factors for pediatric tumors of the central nervous system: results from a German population-based case-control study*. *Med Pediatr Oncol* 2001; 36(2): 274-82.
- ⁶⁸ Saito T, Nitta H, Kubo O, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, e.a. *Power-frequency magnetic fields and childhood brain tumors: a case-control study in Japan*. *J Epidemiol* 2010; 20(1): 54-61.



- ⁶⁹ Pearson RL, Wachtel H, Ebi KL. *Distance-weighted traffic density in proximity to a home is a risk factor for leukemia and other childhood cancers*. J Air Waste Manag Assoc 2000; 50(2): 175-80.
- ⁷⁰ Gezondheidsraad. *Elektromagnetische velden. Jaarbericht 2001*. Den Haag, Gezondheidsraad, 2001: publicatienr. 2001/14.
- ⁷¹ Kelfkens G, Pruppers MJM. *Hoogspanningslijnen en fijn stof. Een literatuuronderzoek*. Bilthoven, RIVM, 2007: RIVM Rapport 610790001/2007.
- ⁷² Kelfkens G, Pruppers MJM. *Hoogspanningslijnen en fijn stof. Update van het literatuuronderzoek uit 2007*. Bilthoven, RIVM, 2011: RIVM briefrapport 610790017/2011.
- ⁷³ Kavet R, Zaffanella LE, Daigle JP, Ebi KL. *The possible role of contact current in cancer risk associated with residential magnetic fields*. Bioelectromagnetics 2000; 21(7): 538-53.
- ⁷⁴ Kavet R, Hooper C, Buffler P, Does M. *The relationship between residential magnetic fields and contact voltage: a pooled analysis*. Radiat Res 2011; 176(6): 807-15.



De Gezondheidsraad, ingesteld in 1902, is een adviesorgaan met als taak de regering en het parlement 'voor te lichten over de stand der wetenschap ten aanzien van vraagstukken op het gebied van de volksgezondheid en het gezondheids(zorg)onderzoek' (art. 22 Gezondheidswet).

De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn en Sport; Infrastructuur en Waterstaat; Sociale Zaken en Werkgelegenheid en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. De raad kan ook op eigen initiatief adviezen uitbrengen, en ontwikkelingen of trends signaleren die van belang zijn voor het overheidsbeleid.

De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden als regel opgesteld door multidisciplinaire commissies van – op persoonlijke titel benoemde – Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.

U kunt dit document downloaden van www.gezondheidsraad.nl.

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

Gezondheidsraad. Hoogspanningslijnen en gezondheid deel I: kanker bij kinderen. Den Haag: Gezondheidsraad, 2018; publicatienr. 2018/08.

Infographics: Joris Fiselier Infographics

Auteursrecht voorbehouden

