Hoogspanningslijnen en gezondheid: kanker bij volwassenen

Aan: de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat,
de minister van Economische Zaken en Klimaat en
de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid

Nr. 2022/14, Den Haag, 29 juni 2022

Gezondheidsraad

inhoud

Samenvatting 4

01 Inleiding 7

1.1 Achtergrond 8
1.2 Werkwijze 9
1.3 Leeswijzer 13

02 Elektriciteitslijnen en magnetische velden 14

2.1 Spanning, stroom en velden 15
2.2 Veldsterkte 16
2.3 Blootstelling bepalen 18

03 Leukemie 21

3.1 Blootstelling in de woonomgeving 22
3.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden 23
3.3 Conclusies 23

04 Borstkanker 25

4.1 Blootstelling in de woonomgeving 26
4.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden 27
4.3 Conclusies 27

05 Hersenkanker 29

5.1 Blootstelling in de woonomgeving 30
5.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden 30
5.3 Conclusies 31

06 Testiskanker 32

6.1 Blootstelling in de woonomgeving 33
6.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden 33
6.3 Conclusies 33

07 Alvleesklierkanker 35

7.1 Blootstelling in de woonomgeving 36
7.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden 36
7.3 Conclusies 37

08 Longkanker 38

8.1 Blootstelling in de woonomgeving 39
8.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden 39
8.3 Conclusies 40

09 Prostaatkanker 41

9.1 Blootstelling in de woonomgeving 42

9.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden 42

9.3 Conclusies 42

10 Huidmelanomen 44

10.1 Blootstelling in de woonomgeving 45

10.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden 45

10.3 Conclusies 46

11 Advies 47

11.1 Aanbevelingen 49

Literatuur 51

samenvatting

In Nederland geldt voorzorgbeleid voor hoogspanningslijnen. 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. Het voorzorgbeleid is mede gebaseerd op een eerder advies van de Gezondheidsraad. In 2000 concludeerde de raad dat er aanwijzingen zijn dat kinderen die in de buurt van deze lijnen wonen een hogere kans hebben om leukemie te krijgen dan andere kinderen. De oorzaak is onduidelijk; mogelijk spelen de door de hoogspanningslijnen opgewekte magnetische velden hierbij een rol.

Drie deeladviezen

De 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 bij kinderen te kijken, maar ook naar de ziekte van Alzheimer en kanker bij volwassenen. Het deel over kinderleukemie is in 2018 verschenen. Daarin gaf de Gezondheidsraad in overweging het voorzorgbeleid uit te breiden naar andere bronnen van langdurige blootstelling aan magnetische velden uit het elektriciteitsnetwerk, zoals ondergrondse elektriciteitskabels, transformatorstations en transformatorhuisjes. Het voorliggende deeladvies gaat over kanker bij volwassenen. Neurodegeneratieve ziekten bij volwassenen komen in een ander deeladvies aan bod.

Werkwijze

De Commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad heeft de weten-schappelijke gegevens geanalyseerd over een mogelijke relatie tussen de blootstelling aan magnetische velden zoals die worden opgewekt door elektriciteitslijnen en andere bronnen, zoals transformatoren, en het optreden van diverse typen kanker. Ze heeft zich voornamelijk gebaseerd op epidemiologische onderzoeken en daarbij zowel onderzoeken naar blootstelling in de woonomgeving in beschouwing genomen als onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling. Bij sommige beroepsgroepen is de gemiddelde blootstelling aan magnetische velden aanzienlijk hoger dan in de woon-omgeving. Als magnetische velden de gezondheid kunnen schaden, zal dat eerder aan het licht komen bij beroepsmatig blootgestelden. Daarbij past wel de kanttekening dat de beroepsbevolking homogener van samenstelling is dan de algemene bevolking. Die laatste omvat ook potentieel gevoeligere groepen als kinderen, ouderen en chronisch zieken.

In de meeste epidemiologische onderzoeken is de blootstelling aan magnetische velden bij benadering bepaald. In onderzoeken naar blootstelling in de woonomgeving wordt vaak uitgegaan van een berekend of een gemeten magnetisch veld in de woning. Soms wordt de afstand tussen de woning en een hoogspanningslijn als blootstellingsmaat gebruikt. In onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling wordt de blootstelling meestal gereconstrueerd aan de hand van het beroepsverleden van werknemers.

Epidemiologisch onderzoek kan aan het licht brengen dat bij een bepaalde blootstelling een bepaalde ziekte vaker voorkomt dan verwacht. Zo'n associatie hoeft niet te betekenen dat die blootstelling de ziekte veroorzaakt, maar kan wel een aanwijzing zijn voor een mogelijk oorzakelijk verband.

Conclusies

Onderzoek in de woonomgeving laat een associatie zien tussen de nabijheid van hoogspanningslijnen en een verhoogd risico op leukemie bij volwassenen. Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau is eveneens een associatie gevonden met een verhoogd risico op leukemie. De commissie beschouwt dit als aanwijzingen voor een oorzakelijk verband. Deze bevindingen zijn in lijn met de conclusie uit het eerdere advies van de Gezondheidsraad dat er aanwijzingen zijn voor een verhoogd risico op leukemie bij kinderen die langdurig in de buurt van een hoogspanningslijn wonen.

Voor de andere onderzochte typen kanker laat onderzoek in de woonomgeving geen associaties zien tussen de nabijheid van hoogspanningslijnen en het risico op de ziekte. De omvang en de kwaliteit van dat onderzoek zijn echter beperkt. Daarom acht de commissie de onderzoeksgegevens in de woonomgeving onvoldoende voor een uitspraak over een oorzakelijk verband tussen de nabijheid van hoogspanningslijnen en het risico op de andere typen kanker.

Bij beroepsgroepen met aanzienlijk hogere blootstellingen aan magnetische velden dan in de woonomgeving, zijn er ook bij andere typen kanker dan leukemie associaties gevonden. Zo zijn bij beroepsmatige blootstellingen associaties gevonden met het risico op borstkanker bij mannen, hersenkanker en alvleesklierkanker. De in de werkomgeving waargenomen associaties beschouwt de commissie als aanwijzingen voor een oorzakelijk verband tussen de beroepsmatige blootstelling en de genoemde typen kanker.

Voor het vaststellen van een oorzakelijk verband is ook informatie nodig uit (dier)experimenteel en mechanistisch onderzoek. De meest recente overzichtspublicaties van dergelijk onderzoek geven geen steun voor een oorzakelijk verband.

Advies

Uit onderzoek in de woonomgeving komen aanwijzingen naar voren dat leukemie zich vaker voordoet bij volwassenen die in de buurt van hoogspanningslijnen wonen. De commissie

beschouwt dit als een extra argument voor de toepassing van het huidige beleid ten aanzien van bovengrondse hoogspanningslijnen, dat al is gebaseerd op voorzorg vanwege aanwijzingen voor een mogelijk oorzakelijk verband tussen het risico op leukemie bij kinderen en de nabijheid van hoogspanningslijnen.
Ook beschouwt de commissie het als een extra argument voor de eerdere aanbeveling om te overwegen dat beleid uit te breiden naar ondergrondse elektriciteitskabels en andere bronnen van langdurige blootstelling aan magnetische velden uit het elektriciteitsnetwerk, zoals transformatorstations en transformatorhuisjes.

Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden die aanzienlijk hoger kan zijn dan in de woonomgeving, ziet de commissie aanwijzingen voor een verhoogd risico op verschillende typen kanker. Ze adviseert daarom uit voorzorg om de beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden zo laag als redelijkerwijs mogelijk is te houden.

De commissie verwacht niet dat meer epidemiologisch onderzoek op korte termijn meer zekerheid zal opleveren over de invloed van blootstelling aan magnetische velden op het risico op kanker. Meer onderzoek naar mogelijke onderliggende biologische mechanismen acht ze op dit moment zinvoller.

Door de energietransitie neemt het gebruik van windturbines en zonnepanelen als primaire bron van energie een hoge vlucht. Tegelijkertijd zijn de elektrische auto en de warmtepomp bezig met een opmars. Mede door deze veranderingen in de productie en het verbruik, zal er meer elektriciteit worden getransporteerd. De blootstelling aan magnetische velden in de buurt van onderdelen van het elektriciteitsnetwerk en op sommige werkplekken kan daardoor toenemen. Daarom beveelt de commissie aan om de blootstelling aan magnetische velden in de woon- en werkomgeving te monitoren.

01 inleiding

De staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (het huidige Infrastructuur en Waterstaat) heeft de Gezondheidsraad verzocht om actualisering van het advies uit 2000 over gezondheidseffecten van het wonen nabij bovengrondse hoogspanningslijnen.[1] In dat advies constateerde de raad dat er een redelijk consistente associatie is tussen wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen en een verhoging van het voorkomen van leukemie bij kinderen. Dat zou dan betekenen dat één geval van kinderleukemie per twee jaar mogelijk samenhangt met de aanwezigheid van bovengrondse elektriciteitslijnen. De staatssecretaris stelde de Gezondheidsraad 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 extreem-laagfrequente 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 heeft de beantwoording van de adviesaanvraag opgesplitst in drie delen:

- een deel over leukemie en andere typen kanker bij kinderen, uitgebracht op 18 april 2018;[2]
- een deel over kanker bij volwassenen, het voorliggende advies, op 29 juni 2022 aangeboden aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), de minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW);
- een deel over neurodegeneratieve ziekten, gelijktijdig met het voorliggende advies aangeboden aan dezelfde bewindspersonen.

De samenstelling van de commissie staat achter in dit advies. De adviesaanvraag en de aanbiedingsbrief staan op www.gezondheidsraad.nl.

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.[3] Elektriciteitslijnen wekken zogenoemde extreem-laagfrequente (ELF) elektrische en magnetische velden op (zie hoofdstuk 2; kortheidshalve wordt in dit advies hierna gesproken over 'magnetische velden' als ELF-magnetische velden bedoeld worden).
De vraag rees of blootstelling aan die velden de oorzaak zou kunnen zijn van kinderleukemie. Dit leidde tot verder onderzoek, waarbij de aandacht

niet alleen uitging naar kinderleukemie, maar ook naar andere typen kanker bij kinderen en volwassenen en naar andere ziekten.
In sommige onderzoeken zijn associaties gevonden tussen blootstelling aan de magnetische velden die door elektriciteitslijnen of elektrische apparatuur worden opgewekt en het voorkomen van bepaalde ziekten. Wat dat betekent staat in het volgende kader.

Associatie of oorzakelijk verband

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

1.2 Werkwijze

Hieronder geeft de commissie kort weer hoe zij te werk is gegaan bij de literatuuranalyse voor dit advies. De commissie heeft zich voornamelijk gebaseerd op epidemiologisch onderzoek en aanvullende, ondersteunende informatie uit dierexperimenteel en mechanistisch onderzoek gezocht in de meest recente overzichtspublicaties. In de analyse zijn artikelen tot januari 2022 meegenomen.

Een uitgebreidere beschrijving van de werkwijze van de commissie staat in het achtergronddocument bij dit advies. Daarin staat ook een overzicht van de geselecteerde onderzoeken, het protocol voor de systematische analyse van de epidemiologische gegevens, de gedetailleerde uitkomsten van de meta-analyses en een toelichting op de classificaties voor de bewijskracht voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling en ziekte.

Verschillende typen kanker

De commissie heeft de relatie onderzocht tussen de blootstelling aan magnetische velden en het risico op specifieke typen van kanker bij volwassenen, waarover voldoende informatie beschikbaar was uit specifiek daarop gericht onderzoek: leukemie, borstkanker (bij vrouwen en bij mannen), hersenkanker, testiskanker, alvleesklierkanker, longkanker, prostaatkanker en huidmelanomen.

Blootstelling in de woonomgeving en op de werkvloer

Voor blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving, waar de adviesaanvraag primair op was gericht, heeft de commissie gekeken of het risico op de genoemde ziekten gerelateerd is aan de afstand van de woning tot hoogspanningslijnen (als maat voor blootstelling) of aan de gemeten of berekende blootstelling aan magnetische velden in de woning.

Voor enkele typen kanker is ook onderzoek gedaan naar een relatie tussen het gebruik van elektrische bedwarmers (zoals elektrische dekens en verwarmingselementen voor waterbedden) en het optreden van de ziekte. Deze onderzoeken heeft de commissie apart beoordeeld.

De commissie heeft niet alleen gekeken naar blootstelling in de woonomgeving, maar ook naar beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden. In sommige beroepen kan de blootstelling aan magnetische velden namelijk aanzienlijk hoger zijn dan in de woonomgeving. Als het magnetische veld het vermogen bezit om de gezondheid te schaden, zal dat waarschijnlijk eerder aan het licht komen bij personen die in hun beroep aan relatief hoge magnetische veldsterktes worden blootgesteld, zoals elektrische lassers of mensen die werken in een elektriciteitscentrale. Er is dan ook aanzienlijk meer onderzoek verricht naar mogelijke effecten van beroepsmatige blootstelling. Wel tekent de commissie daarbij aan dat de algemene bevolking gevarieerder van samenstelling is dan de beroepsbevolking en groepen omvat die gevoeliger zouden kunnen zijn, zoals kinderen, ouderen en chronisch zieken.

Bij beroepsmatige blootstelling heeft de commissie het risico op de genoemde ziekten bij werknemers die gedurende langere tijd (één of meerdere jaren) werkzaam zijn geweest in een beroep waar de blootstelling hoger is dan het achtergrondniveau vergeleken met het risico bij personen met blootstelling op alleen het achtergrondniveau. Bij de analyse maakt de commissie onderscheid tussen epidemiologische onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling in de algemene bevolking en onderzoek in specifieke industriële populaties, zoals werknemers in elektriciteitsbedrijven. In die populaties kan de blootstelling over het algemeen beter worden gekarakteriseerd, daarom hecht de commissie voor wat betreft beroepsmatige blootstelling de meeste waarde aan de uitkomsten van die onderzoeken.

In onderzoeken, zowel in de woonomgeving als op de werkplek, worden verschillende maten voor de blootstelling gehanteerd: de gemiddelde blootstelling over een bepaalde periode, uitgedrukt in microtesla (μT), of de cumulatieve blootstelling, uitgedrukt in μT-jaar. Beide worden doorgaans ingedeeld in verschillende categorieën. De commissie heeft voor deze onderzoeken een gemiddelde risicoschatting berekend voor alle blootstellingscategorieën en deze beschouwd als een maat voor ‘ooit blootgesteld boven het achtergrondniveau’. De meta-analyses zijn vervolgens uitgevoerd met deze gemiddelde risicoschattingen.

Meta-analyses

Wanneer over een specifieke vraagstelling drie of meer geschikte epidemiologische onderzoeken beschikbaar zijn, heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd. Bij meta-analyses worden de resultaten uit verschillende onderzoeken gecombineerd om tot één risicoschatting te komen. Met de meta-analyses heeft de commissie het relatieve risico

berekend van de blootstellingscategorie ‘ooit blootgesteld boven het achtergrondniveau’ t.o.v. de blootstellingscategorie ‘nooit blootgesteld boven het achtergrondniveau’. Bij de risicoschatting noemt de commissie ook steeds tussen haken het 95%-betrouwbaarheidsinterval, een maat voor de onzekerheid van de schatting (zie kader). Daarnaast benoemt de commissie ook of er veel heterogeniteit was in de risicoschattingen van de individuele onderzoeken die in de meta-analyse zijn opgenomen. De meta-analyses geven daarvoor twee maten: I^2 en tau^2. De commissie heeft alleen I^2 gebruikt. Een grote heterogeniteit (in dit advies gedefinieerd als een I^2 van meer dan 60%) betekent dat de resultaten van de individuele onderzoeken niet eenduidig zijn. Daardoor kan minder waarde worden toegekend aan de risicoschatting uit de meta-analyse.

Bij de meta-analyses van onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie naast de hoofdanalyse van blootstelling hoger dan het achtergrondniveau versus blootstelling op het achtergrondniveau ook enkele subanalyses uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de invloed van de volledigheid van de beroepsgeschiedenis en de betrouwbaarheid van de ziektediagnose op de risicoschattingen en op de heterogeniteit. Voor zover mogelijk heeft de commissie ook subanalyses uitgevoerd van de gegevens over het hoogste niveau van blootstelling en de langste duur van de blootstelling. De resultaten van zowel de hoofdanalyses als van de subanalyses staan in het achtergronddocument. De conclusies bespreekt de commissie in dit advies.

Risicoschatting en betrouwbaarheidsinterval

De risicoschatting geeft weer wat het geschatte risico op een bepaald effect is in een bepaalde situatie ten opzichte van de controlesituatie, het relatieve risico dus. Een risicoschatting van 1,3, bijvoorbeeld, wil zeggen dat het geschatte risico op het optreden van een ziekte 1,3 keer zo groot is, of 30% hoger, bij mensen die zijn blootgesteld ten opzichte van het risico bij mensen die niet of minder zijn blootgesteld. Een risicoschatting van 0,9 wil zeggen dat het risico 0,9 keer zo groot is, ofwel 10% lager. Bij een risicoschatting van 1 is het risico op de ziekte vergelijkbaar in beide situaties.

De meeste onderzoeken rapporteren relatieve risico’s, *rate ratio’s* (RR) of *odds ratio’s* (OR) als risicoschatting. Daarnaast worden in sommige onderzoeken ook andere risicomaten gebruikt: de SMR (*standardized mortality ratio* of sterfteratio), SIR (*standardized incidence ratio* of incidentieratio) en SRR (*standardized rate ratio*). Bij een ratio van 1 of van 100% is er geen verschil in risico tussen de blootgestelde groep en de bevolking als geheel.

Het 95%-betrouwbaarheidsinterval geeft aan hoe onzeker de gevonden risicoschatting is en binnen welke grenzen we verwachten dat het werkelijk risico zich bevindt. Het betekent dat, wanneer we het onderzoek 100 maal in dezelfde populatie met verschillende steekproeven zouden herhalen, in 95 gevallen het werkelijke risico binnen het betrouwbaarheidsinterval ligt.
Als het 95%-betrouwbaarheidsinterval de waarde 1 bevat, noemen we het gevonden verband statistisch niet significant verhoogd of verlaagd. Als de ondergrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval groter is dan 1, spreken we van een statistisch significant verhoogd risico. Als de bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval kleiner is dan 1, spreken we van een statistisch significant verlaagd risico.

De commissie baseert haar conclusies waar mogelijk op de subanalyse van de onderzoeken waarin de volledige beroepsgeschiedenis van een werknemer in beschouwing is genomen, dat wil zeggen dat voor alle beroepen die iemand heeft gehad de blootstelling is bepaald, waarmee een gemiddelde of cumulatieve blootstelling kan worden bepaald over het gehele beroepsleven. Die gegevens geven volgens de commissie het meest betrouwbare beeld van de beroepsmatige blootstelling. Zijn er te weinig gegevens voor deze subanalyse, dan baseert de commissie haar conclusies op de hoofdanalyse, dat wil zeggen op alle onderzoeken, ongeacht de volledigheid van de beroepsgeschiedenis. In het achtergronddocument is gemarkeerd welke gegevens in het advies zijn gebruikt. Voor de woonomgeving zijn te weinig gegevens beschikbaar om vergelijkbare subanalyses te doen.

De commissie heeft ook meegewogen of er sprake kan zijn van selectieve publicatie, dat wil zeggen dat onderzoeken waarin geen verband is gevonden een kleinere kans hebben om te worden gepubliceerd. Deze zogeheten publicatiebias zou de resultaten van de meta-analyses kunnen vertekenen. Over het algemeen geldt dat de resultaten van cohort-onderzoeken in de algemene bevolking en in industriële populaties ongeacht de uitkomsten worden gepubliceerd, omdat ze groot en kostbaar zijn. De commissie verwacht daarom dat haar bevindingen niet noemenswaardig zijn vertekend door selectieve publicatie.

Bewijskracht voor oorzakelijk verband

Als laatste gaat de commissie na of zij op basis van de beschikbare onderzoeksgegevens en de door haar uitgevoerde meta-analyses van die gegevens een conclusie kan trekken over een mogelijk oorzakelijk verband tussen de blootstelling en de onderzochte ziekte. Ze hanteert daarbij de internationaal gehanteerde systematiek van het Amerikaanse *Environmental Protection Agency* (EPA) die zij in eerdere adviezen heeft gebruikt [2,4] en waarin op basis van de kwaliteit en de aard en omvang van de onderzoeksgegevens vijf classificaties worden onderscheiden, zie tabel 1.[5]

Tabel 1 EPA-classificatie van de bewijskracht voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling en ziekte

Classificatie
Oorzakelijk verband bewezen
Oorzakelijk verband waarschijnlijk
Aanwijzingen voor oorzakelijk verband
Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk
Oorzakelijk verband onwaarschijnlijk

Een uitgebreide beschrijving van deze classificaties van de bewijskracht voor een oorzakelijk verband is opgenomen in het achtergronddocument. De commissie hanteert ze als volgt. Een statistisch significante associatie in een meta-analyse van epidemiologische onderzoeken beschouwt de commissie als een aanwijzing voor een oorzakelijk verband. Is de

associatie statistisch niet significant maar is de risicoschatting wel relatief hoog (1,25 of hoger), dan beschouwt de commissie dat eveneens als een aanwijzing voor een oorzakelijk verband. Als er weinig onderzoeken beschikbaar zijn, is de statistische power van de meta-analyse immers gering. Hogere classificaties (oorzakelijk verband waarschijnlijk of bewezen) kent de commissie alleen toe bij aanvullend bewijs uit experimenteel of mechanistisch onderzoek. Is er (te) weinig kwalitatief goed onderzoek uitgevoerd of spreken diverse onderzoeken elkaar tegen, dan acht de commissie een uitspraak over een oorzakelijk verband niet mogelijk. Is er voldoende goed epidemiologisch onderzoek verricht en komt daar geen enkele indicatie uit voor een oorzakelijk verband, dan kiest de commissie voor de classificatie ‘oorzakelijk verband onwaarschijnlijk’. Komt de commissie voor de werkomgeving tot de conclusie dat een oorzakelijk verband onwaarschijnlijk is, dan acht ze datzelfde oordeel in principe ook van toepassing op de woonomgeving, omdat de blootstelling daar lager is. Is ze van mening dat er aanwijzingen zijn voor een oorzakelijk verband op de werkplek, dan spreekt ze in principe voor de woonomgeving niet het oordeel ‘oorzakelijk verband onwaarschijnlijk’ uit.

1.3 Leeswijzer

Het advies begint met een uitleg in hoofdstuk 2 van enkele technische begrippen en blootstellingskarakteristieken. In de hoofdstukken 3 t/m 10 bespreekt de commissie de uitkomsten van de meta-analyses van de onderzoeken naar de relatie met de blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving en op het werk. Dat gebeurt achtereenvolgens voor leukemie, borstkanker, hersenkanker, testiskanker, alvleesklierkanker, longkanker, prostaatkanker en huidmelanomen. In hoofdstuk 11 bespreekt de commissie de samenhang tussen de bevindingen en geeft ze haar advies.

02 elektriciteitslijnen en magnetische velden

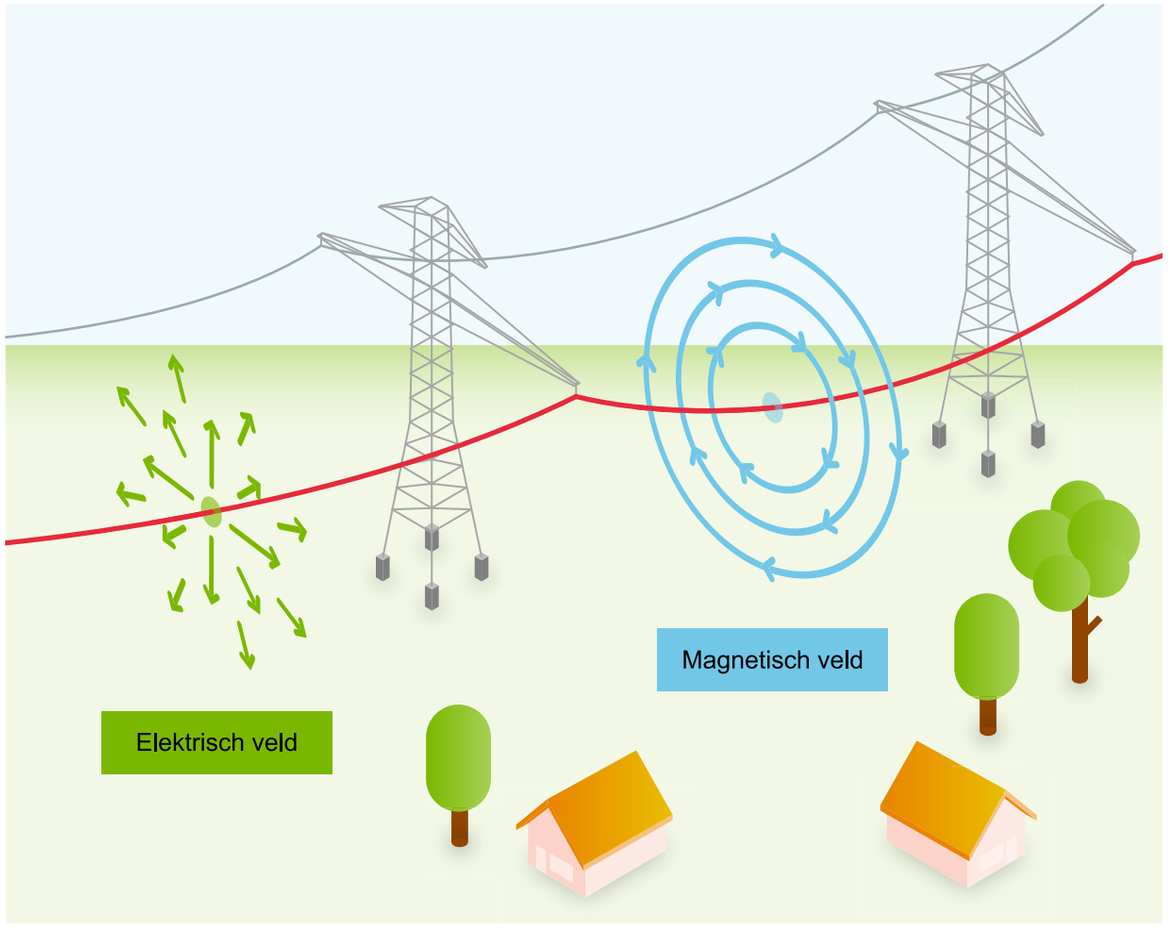
Dit hoofdstuk geeft een korte uitleg over magnetische velden en een beschrijving van enkele technische begrippen en blootstellings-karakteristieken.

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.

De spanning op het elektriciteitsnet wisselt 50 keer per seconde van positief naar negatief 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 2000 megahertz (een megahertz is een miljoen hertz).

De richting van een elektrisch veld en van een magnetisch veld verschilt



Figuur 1 Schematische weergave elektrisch en magnetisch veld bij een hoogspanningslijn

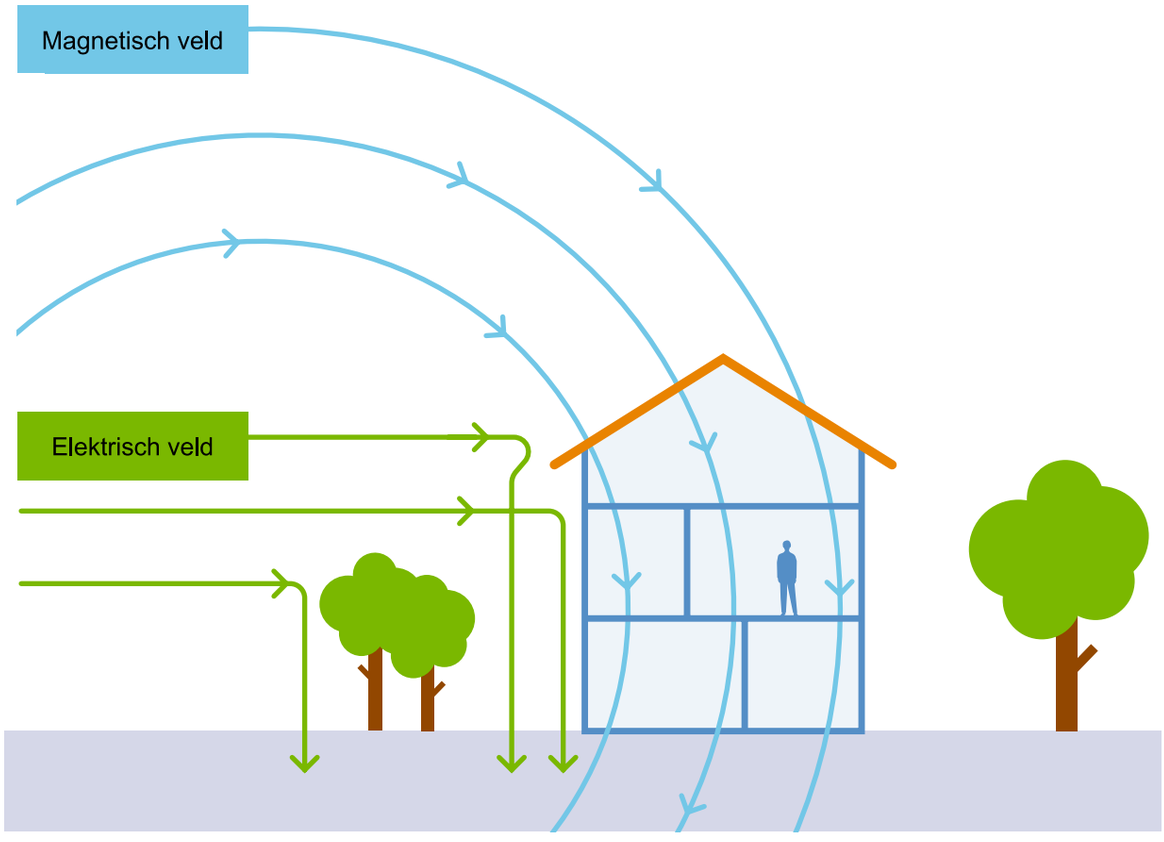
Het elektriciteitsnet

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 ook distributielijnen bovengronds.

2.2 Veldsterkte

Bij extreem lage frequenties wordt onderscheid gemaakt tussen elektrische en magnetische velden, die verschillende eigenschappen hebben. Het elektrische veld wordt aanzienlijk afgezwakt door bomen, planten en bebouwing (zie figuur 2). Het dringt vrijwel niet door materialen heen en resulteert in een oppervlaktelading die naar de aarde wordt afgevoerd. In een woning is het elektrische veld afkomstig van een naburige elektriciteitslijn al snel 10 tot 100 keer zwakker dan buiten de woning. Het magnetische veld daarentegen wordt nauwelijks afgezwakt door obstakels. Het dringt gemakkelijk door in huizen en in het menselijk lichaam (zie figuur 2). Bij onderzoeken naar de relatie tussen bovengrondse elektriciteitslijnen en mogelijke gezondheidseffecten gaat de aandacht daarom uit naar de blootstelling aan magnetische velden en niet naar die aan elektrische velden.

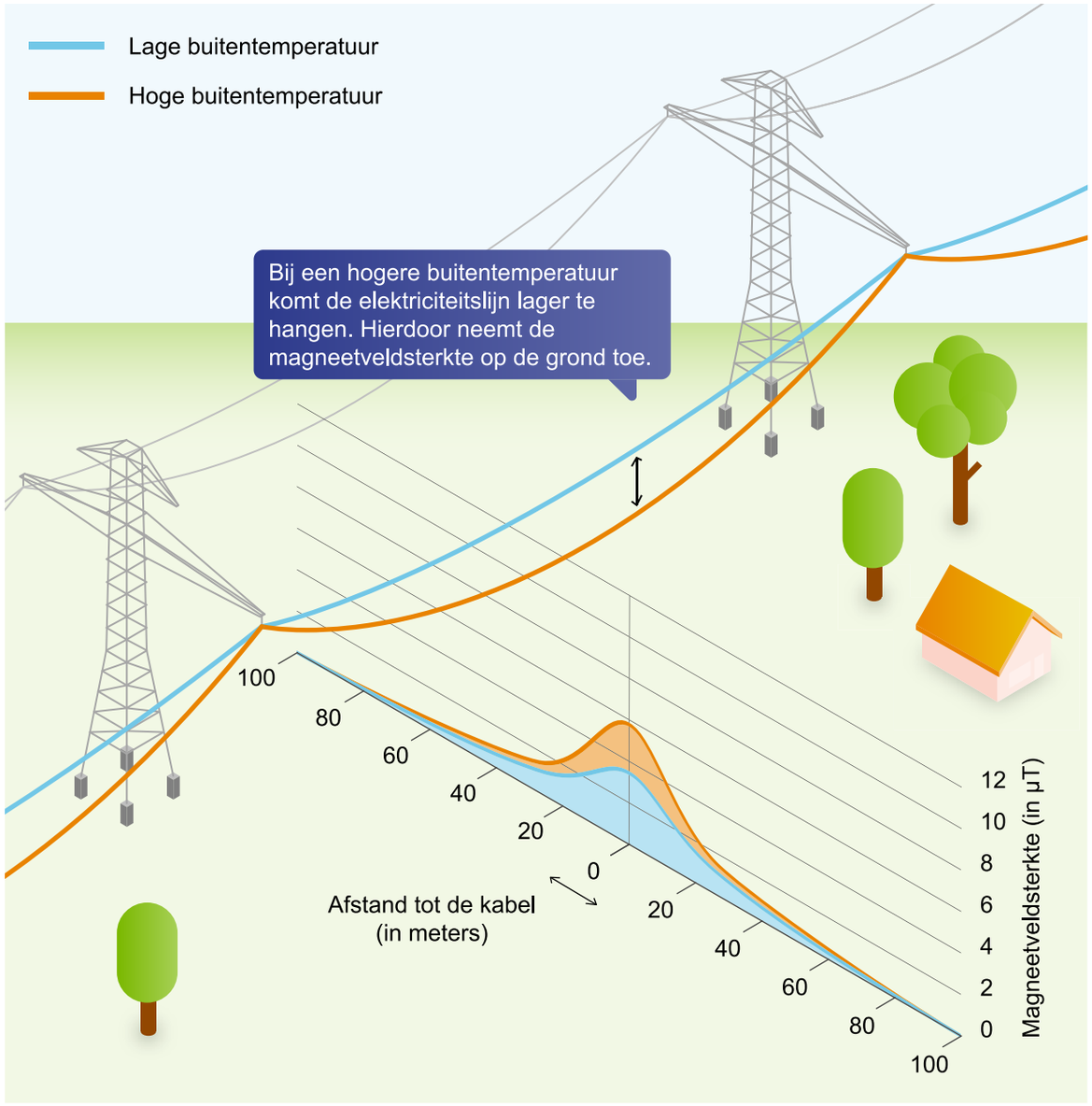
Een elektrisch veld is niet invasief, een magnetisch veld wel



Figuur 2 Schematische weergave van de mate waarin elektrische en magnetische velden door materialen dringen

De sterkte van een magnetisch veld wordt uitgedrukt in tesla (T). In de praktijk wordt de sterkte van magnetische velden van het elektriciteits-systeem 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 (zie figuur 3). Globaal is de veldsterkte een factor vier lager bij verdubbeling van de afstand. De afstand tot een bovengrondse hoogspanningslijn hangt ook af van de mate waarin deze doorhangt tussen twee masten (de ‘zeeg’). Geleiders (de eigenlijke lijnen) 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. Bij de aanleg van nieuwe verbindingen wordt ernaar gestreefd dat de magnetische velden van de verschillende geleiders elkaar zoveel mogelijk uitdoven, zodat de totale sterkte van het magnetische veld op leefniveau bij een hoogspanningslijn zo laag mogelijk is.

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



Figuur 3 Relatie tussen afstand tot de lijn en magnetische veldsterkte op de grond

De veldsterkten in de woonomgeving zijn gemiddeld over 24 uur niet meer dan 0,1-0,2 µT.[6-10] Die blootstelling is afkomstig van het elektriciteitssysteem in huis en van het gebruik van elektrische apparaten.
De aanwezigheid van een hoogspanningslijn kan de gemiddelde blootstelling verhogen tot meer dan 1 µT (zie figuur 3). Dat geldt ook voor het wonen naast of boven een inpandige transformator. Kortdurende piekblootstellingen bij gebruik van huishoudelijke apparatuur kunnen oplopen tot enkele tientallen µT wanneer de afstand tussen apparaat en gebruiker slechts enkele centimeters is.[10]

Beroepsmatige blootstellingen kunnen aanzienlijk hoger zijn dan blootstellingen in de woonomgeving, zoals bij elektriciëns (piekblootstelling tot meer dan 50 µT) en mensen die in de elektriciteitsindustrie werken (piekblootstelling tot 500 µT), lassers (tot 5 µT) en treinmachinisten (piekblootstelling tot meer dan 50 µT).[11-13]
Dergelijke piekblootstellingen kunnen frequenter optreden dan piekblootstellingen in het huishouden, afhankelijk van de aard van de werkzaamheden. De gemiddelde blootstelling over een werkdag op de werkvloer kan bij genoemde beroepen oplopen tot 26 µT.[13,14]

2.3 Blootstelling bepalen

De blootstelling van individuele mensen aan magnetische velden kan eigenlijk alleen maar nauwkeurig worden bepaald door middel van langdurige metingen op het lichaam. Die worden zelden in epidemiologische onderzoeken uitgevoerd en dan vooral in industriële populaties. In de meeste onderzoeken wordt gewerkt met methoden die de werkelijke blootstelling bij benadering bepalen.

Blootstelling bepalen in de woonomgeving

In de woonomgeving kan de blootstelling worden benaderd aan de hand van de afstand van de woning tot een hoogspanningslijn (doorgaans gemeten als de afstand tot het midden van de lijn op grondniveau), al dan niet rekening houdend met de lijnspanning. De blootstelling kan ook worden geschat door de magnetische veldsterkte in of bij de woning over een kortere of langere tijd te meten of te berekenen. Voor het berekenen van de cumulatieve blootstelling, of de gemiddelde blootstelling over een langere periode, is ook inzicht nodig in de woongeschiedenis: op welke adressen hebben de betreffende personen gewoond.

Afstand als maat voor de blootstelling 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 3), de configuratie van de lijnen en vooral van de hoeveelheid stroom die door de lijn getransporteerd wordt. Deze kan in de tijd aanzienlijk fluctueren. Deze informatie is echter in het algemeen niet voorhanden.

De gemeten of met modellen berekende blootstelling aan het magnetische veld is een meer relevante blootstellingsmaat dan afstand, maar de bepaling daarvan kent ook haar beperkingen. Metingen zijn niet per definitie nauwkeuriger dan gemodelleerde blootstelling. Bij metingen in de woning zijn onderzoekers afhankelijk van de medewerking van de bewoners. Als die geweigerd wordt, kan dat leiden tot selectieve deelname en daardoor mogelijk vertekening van de resultaten.
Bij gemodelleerde blootstelling speelt dat probleem niet. Daarnaast vinden metingen van de magnetische veldsterkte in de woning hooguit gedurende enkele dagen plaats, terwijl de gemodelleerde blootstelling bepaald wordt over een langere periode, soms vele jaren. Voor een langere periode kunnen metingen daarom een minder nauwkeurig beeld van de blootstelling geven dan gemodelleerde blootstelling. Anderzijds wordt bij gemodelleerde blootstelling ten gevolge van de aanwezigheid van een hoogspanningslijn doorgaans geen rekening gehouden met de blootstelling door andere bronnen nabij of in de woning, zoals inpandige transformatoren in appartementengebouwen, het elektriciteitssysteem in huis en het gebruik van elektrische apparaten. Die laatste resulteren doorgaans slechts in korte piekblootstellingen die bovenop de meer langdurige blootstelling van het elektriciteitssysteem in de woning en nabije hoogspanningslijnen komen. Een uitzondering daarop zijn bedwarmers (elektrische dekens en verwarmingselementen voor waterbedden) die doorgaans wel voor langdurige blootstelling zorgen.

Daarnaast speelt bij onderzoeken naar de blootstelling in de woonomgeving ook nog een rol dat mensen vaak een (aanzienlijk) deel van de dag op andere plaatsen dan thuis doorbrengen, bijvoorbeeld op het werk of op school. Op die andere plaatsen kan de blootstelling aan magnetische velden lager maar ook hoger zijn dan thuis.

Blootstelling bepalen op de werkvloer

Beroepsmatige blootstelling wordt op uiteenlopende wijzen bepaald.[15] Soms gebeurt dat redelijk nauwkeurig via uitgebreide metingen van de blootstelling bij bepaalde beroepen. In andere gevallen gebeurt dat minder nauwkeurig en gaat men er bijvoorbeeld simpelweg van uit dat bij een bepaald beroep een verhoogde blootstelling hoort. Soms wordt ook gebruik gemaakt van een zogenoemde beroepen-blootstelling-matrix (BBM). Daarin wordt een beroep gekoppeld aan een intensiteit van de blootstelling. Deze kan zijn gemeten of geschat door deskundigen, zoals een arbeidshygiënist.

In sommige onderzoeken wordt de gehele beroepsgeschiedenis van een persoon nagegaan, wat inzicht kan opleveren in de totale of gemiddelde blootstelling over iemands hele werkzame leven. In andere onderzoeken wordt slechts het hoofdberoep of het laatste beroep bij de blootstellingsbepaling betrokken. Dat gebeurt bijvoorbeeld in onderzoeken die informatie over iemands beroep halen uit overlijdensregisters of die zijn

gebaseerd op informatie uit een of meerdere volkstellingen. Dit geeft een minder nauwkeurig beeld van de totale blootstelling.

Bij onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling wordt uitgegaan van een 40-urige werkweek. In bepaalde beroepen is de blootstelling door werkzaamheden zo hoog, dat de blootstelling vanuit andere bronnen in de omgeving daarbij min of meer in het niet valt.[16] Er kunnen grote verschillen zijn tussen het blootstellingspatroon in de woon- en werkomgeving.

03 leukemie

In onderzoek in de woonomgeving is een associatie gevonden tussen de nabijheid van hoogspanningslijnen en een verhoogd risico op leukemie bij volwassenen. Ook bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau is een associatie gevonden met een verhoogd risico op leukemie. De commissie beschouwt dit als aanwijzingen voor een oorzakelijk verband.

Dit hoofdstuk bevat een beknopte weergave van de resultaten van de meta-analyses door de commissie. Details van alle onderzoeken en de analyses staan in het achtergronddocument.

3.1 Blootstelling in de woonomgeving

De commissie heeft 20 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling in de woonomgeving en het optreden van leukemie (ongeacht het type) bij volwassenen. Daarvan zijn 12 onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de acht resterende onderzoeken heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[17-24]

In sommige onderzoeken zijn naast, of in plaats van, leukemie in het algemeen bepaalde typen leukemie apart onderzocht. Voor acute myeloïde leukemie (AML) zijn uit zes onderzoeken in de woonomgeving voldoende gegevens beschikbaar voor aparte analyses, twee daarvan gaan over het gebruik van elektrische bedwarmers.[19-21,24-26]

3.1.1 Leukemie algemeen

Er zijn vier onderzoeken gevonden waarin de afstand tot hoogspanningslijnen als blootstellingsmaat is gebruikt. De meta-analyse van de gegevens voor het wonen op een afstand van 0 tot 50 meter van een hoogspanningslijn geeft een risicoschatting van 1,40 (1,10-1,78).[17,20,22,23]
De meta-analyse van de acht onderzoeken waarin de blootstelling aan magnetische velden is onderzocht geeft voor ooit blootgesteld boven het achtergrondniveau als gevolg van wonen in de nabijheid van een hoogspanningslijn voor het optreden van leukemie een risicoschatting van 1,11 (0,98-1,26).

3.1.2 AML

De commissie heeft vier onderzoeken gevonden waarin de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving en het risico op AML apart is onderzocht. De meta-analyse geeft voor ooit blootgesteld boven het achtergrondniveau een risicoschatting van 1,35 (1,01-1,79).
De commissie heeft twee onderzoeken gevonden waarin de relatie tussen het gebruik van elektrische bedwarmers en het optreden van AML is onderzocht. In het eerste onderzoek is een risicoschatting gevonden van 0,9 (0,5-1,6).[25] In het tweede onderzoek was de risicoschatting 0,9 (0,7-1,2).[26]

3.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden

De commissie heeft 62 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden tijdens de uitoefening van het beroep en het optreden van leukemie. Daarvan zijn 32 onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de 30 resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[19,21,27-54] De commissie heeft daarbij onderscheid gemaakt tussen onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling in de algemene bevolking en onderzoeken gericht op specifieke industriële populaties, zoals werknemers van elektriciteitsbedrijven.

In sommige van deze onderzoeken zijn naast, of in plaats van, leukemie in het algemeen bepaalde typen leukemie onderzocht. Voor AML zijn uit 17 onderzoeken voldoende gegevens beschikbaar voor aparte analyses.[21,26,28-33,37,40,47-49,52,53,55]

3.2.1 Leukemie algemeen

De meta-analyses van de onderzoeken met volledige beroepsgeschiedenis geven voor het risico op leukemie bij werknemers uit de algemene bevolking een risicoschatting van 1,08 (0,89-1,31). Bij blootstelling van werknemers uit industriële populaties is de risicoschatting 1,13 (0,96-1,34).

3.2.2 AML

Voor onderzoeken met een volledige beroepsgeschiedenis is bij werknemers uit de algemene bevolking voor het risico op AML de risicoschatting 0,94 (0,79-1,11). Voor personen uit industriële populaties is de risicoschatting 2,11 (0,84-5,31). Hier is de heterogeniteit tussen de onderzoeken hoog.

3.3 Conclusies

De geanalyseerde epidemiologische onderzoeken laten voor het wonen tussen 0 en 50 meter van een hoogspanningslijn zien dat het risico op leukemie naar schatting met een factor 1,4 is verhoogd. Voor AML is voor blootstelling in de woonomgeving ook een naar schatting met een factor 1,4 verhoogd risico gevonden. De commissie vindt daarom voor leukemie, en ook specifiek voor AML, de classificatie ‘aanwijzingen voor oorzakelijk verband’ van toepassing op blootstelling in de woonomgeving.

De meta-analyses van de onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling van werknemers uit de algemene bevolking laten geen duidelijk verhoogde risico’s zien op leukemie en AML. Maar bij werknemers uit industriële populaties is voor AML een ruim twee keer verhoogd risico gevonden. De verhoging is weliswaar statistisch niet significant, maar dat kan samenhangen met het geringe aantal onderzoeken. De commissie hecht het meeste gewicht aan deze onderzoeken, omdat de diagnose (AML) en de blootstellingsbepaling in industriële cohorten het meest

nauwkeurig zijn. De aard van de onderzoeken laat niet toe om een blootstellings-effectrelatie te bepalen. Mede omdat in de woonomgeving met haar lagere blootstelling eveneens een associatie met het risico op AML wordt gevonden, acht de commissie de EPA-classificatie ‘aanwijzingen voor oorzakelijk verband’ van toepassing op de relatie tussen het risico op leukemie, en specifiek op AML, en blootstelling aan magnetische velden op de werkplek.

04 borstkanker

Over het geheel genomen laten onderzoeken in de woonomgeving geen associaties zien tussen blootstelling aan magnetische velden en het risico op borstkanker. Enkele individuele studies laten echter een afwijkend beeld zien en daarom acht de commissie een uitspraak over een oorzakelijk verband in de woonomgeving toch niet mogelijk.
Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau is wel een associatie gevonden tussen blootstelling en ziekte. Dat geldt zowel voor vrouwen als voor mannen. De commissie beschouwt dit als aanwijzingen voor een oorzakelijk verband.

Dit hoofdstuk bevat een beknopte weergave van de resultaten van de meta-analyses door de commissie. Details van alle onderzoeken en de analyses staan in het achtergronddocument.

4.1 Blootstelling in de woonomgeving

De commissie heeft 20 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling in de woonomgeving en het optreden van borstkanker.
In 19 onderzoeken gaat het om borstkanker bij vrouwen en in één onderzoek om borstkanker bij mannen. De onderzoeken gaan over de nabijheid van hoogspanningslijnen of over het gebruik van elektrische bedwarmers.

4.1.1 Borstkanker bij vrouwen

De commissie heeft 19 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling in de woonomgeving en het optreden van borstkanker bij vrouwen. Daarvan is één onderzoek niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de 18 resterende onderzoeken heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd. In deze onderzoeken is de relatie tussen het wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen of tussen het gebruik van elektrische bedwarmers en het optreden van borstkanker bij vrouwen onderzocht.[18,20,23,56-70]

De meta-analyse geeft voor wonen op een afstand van minder dan 100 meter van een hoogspanningslijn en het optreden van borstkanker bij vrouwen een risicoschatting van 1,04 (0,92-1,17).

Voor blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau als gevolg van wonen in de nabijheid van een hoogspanningslijn geeft de meta-analyse voor het optreden van borstkanker bij vrouwen een risicoschatting van 1,02 (0,88-1,18). De heterogeniteit tussen deze onderzoeken is hoog.

De commissie heeft ook een meta-analyse uitgevoerd van de onderzoeken die het optreden van borstkanker bij vrouwen bestuderen in

relatie tot het gebruik van elektrische bedwarmers. Voor ooit gebruik van een elektrische bedwarmer is de risicoschatting 1,02 (0,96-1,09).

4.1.2 Borstkanker bij mannen

De commissie heeft één onderzoek gevonden naar de relatie tussen blootstelling in de woonomgeving en het optreden van borstkanker bij mannen. Voor blootstelling aan magnetische velden met een veldsterkte van 0,2 µT of hoger was de risicoschatting 2,1 (0,3-14,1).[57]

4.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden

De commissie heeft 48 onderzoeken gevonden naar beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden en het optreden van borstkanker. Daarvan gaan er 29 over borstkanker bij vrouwen en 19 over borstkanker bij mannen.

4.2.1 Borstkanker bij vrouwen

De commissie heeft 29 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau in het beroep en het optreden van borstkanker bij vrouwen. Daarvan zijn 10 onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de 19 resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[35,43,48,51,53,58,62,71-82]

De commissie heeft daarbij onderscheid gemaakt tussen onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling in de algemene bevolking en onderzoeken gericht op specifieke industriële populaties, zoals werknemers van elektriciteitsbedrijven.

De meta-analyses bij werknemers uit de algemene bevolking resulteren voor de onderzoeken met volledige beroepsgeschiedenis in een risicoschatting van 1,05 (0,99-1,11). Bij werknemers uit industriële populaties is de risicoschatting 1,05 (1,00-1,11). Omdat hier te weinig onderzoeken zijn met volledige beroepsgeschiedenis is deze risicoschatting gebaseerd op alle onderzoeken.

4.2.2 Borstkanker bij mannen

De commissie heeft 19 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in het beroep en het optreden van borstkanker bij mannen. Daarvan zijn 6 onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de 13 resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie een meta-analyse uitgevoerd.[32,39,48,74,81,83-90]

Deze meta-analyse laat een verhoogd risico zien op borstkanker bij werknemers uit de algemene bevolking bij blootstelling aan magnetische velden op de werkplek. De commissie komt tot een risicoschatting van

1,31 (1,07-1,61). Omdat hier te weinig onderzoeken zijn met volledige beroepsgeschiedenis is deze risicoschatting gebaseerd op alle onderzoeken. Bij werknemers uit industriële populaties is de.risico-schatting voor onderzoeken met een volledige beroepsgeschiedenis 0,74 (0,35-1,53).

4.3 Conclusies

De meta-analyses van de epidemiologische onderzoeken naar het wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen of blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving of het gebruik van elektrische bedwarmers laten geen associaties zien met het risico op borstkanker bij vrouwen. Omdat enkele individuele onderzoeken uitkomsten laten zien die afwijken van het totaalbeeld, acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing.

De meta-analyse van de onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling van werknemers laten voor borstkanker bij vrouwen geen verhoogd risico zien en voor borstkanker bij mannen een naar schatting met een factor 1,3 verhoogd risico. De aard van de onderzoeken laat niet toe om een blootstellings-effectrelatie te bepalen. Op grond van de gevonden associaties acht de commissie de EPA-classificatie ‘aanwijzingen voor oorzakelijk verband’ van toepassing op de relatie tussen het risico op borstkanker bij mannen en blootstelling aan magnetische velden op de werkplek. Voor borstkanker bij vrouwen is de classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’.

05 hersenkanker

Onderzoek in de woonomgeving laat geen associaties zien tussen wonen binnen 50 meter van een hoogspanningslijn en het risico op hersenkanker. De omvang van het onderzoek is echter beperkt, daarom acht de commissie een uitspraak over een oorzakelijk verband toch niet mogelijk. Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau is wel een associatie gevonden. De commissie beschouwt dit als een aanwijzing voor een oorzakelijk verband tussen het risico op hersenkanker en blootstelling op de werkplek.

5.1 Blootstelling in de woonomgeving

De commissie heeft 14 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving en het optreden van hersenkanker. Daarvan zijn zes onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de acht resterende onderzoeken heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[18-20,22-24,91,92]

Er zijn twee onderzoeken gevonden waarin naast blootstelling aan magnetische velden ook de relatie tussen de afstand tot hoogspanningslijnen en het optreden van hersenkanker is onderzocht. In het eerste onderzoek is de risicoschatting voor wonen op een afstand tussen 0 en 50 meter van een hoogspanningslijn 1,22 (0,88-1,69)[23]; in het tweede onderzoek is de risicoschatting 1,3 (0,8-2,1).[20]

Voor blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau als gevolg van wonen in de nabijheid van een hoogspanningslijn geeft de meta-analyse voor het optreden van hersenkanker een risicoschatting van 1,00 (0,91-1,10).

5.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden

De commissie heeft 56 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in het beroep en het optreden van hersenkanker. Daarvan zijn 24 onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de 32 resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[19,27-29,31,32,34,35,37-40,42,44,48,51-53,81,92-104]

De commissie heeft daarbij onderscheid gemaakt tussen onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling in de algemene bevolking en onderzoeken gericht op specifieke industriële populaties, zoals werknemers van elektriciteitsbedrijven.

De meta-analyses van de onderzoeken met volledige beroepsgeschiedenis geven voor het risico op hersenkanker bij werknemers uit de algemene bevolking een risicoschatting van 1,03 (0,93-1,13).

Bij blootstelling van werknemers uit industriële populaties is voor de onderzoeken met volledige beroepsgeschiedenis de risicoschatting 1,30 (1,08-1,57).

5.3 Conclusies

De geanalyseerde epidemiologische onderzoeken naar blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving laten geen associatie zien met het risico op hersenkanker. De commissie acht de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing.
De meta-analyse van de onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling van werknemers uit de algemene bevolking laat geen associatie zien met het risico op hersenkanker. Voor werknemers uit industriële populaties is dit wel het geval: het risico is naar schatting met een factor 1,3 verhoogd. De aard van de onderzoeken laat niet toe een blootstellings-effectrelatie te bepalen. Op grond van de gevonden associatie acht de commissie de EPA-classificatie ‘aanwijzingen voor oorzakelijk verband’ van toepassing op de relatie tussen het risico op hersenkanker en blootstelling aan magnetische velden op de werkplek.

06
testiskanker

Onderzoek in de woonomgeving laat geen associatie zien tussen wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen en het risico op testiskanker.
Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau zijn evenmin associaties gevonden. Omdat het onderzoek in de woonomgeving beperkt is en de resultaten van de onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling uiteenlopen, concludeert de commissie dat uitspraken over een oorzakelijk verband niet mogelijk zijn.

6.1 Blootstelling in de woonomgeving

Er zijn geen gegevens over testiskanker in relatie tot de afstand van de woning tot hoogspanningslijnen.
Er is één onderzoek gevonden waarin de relatie is onderzocht tussen de cumulatieve blootstelling aan magnetische velden afkomstig van hoogspanningslijnen in de woonomgeving, uitgedrukt in µT-jaar, en het optreden van testiskanker.[18] Bij mannen die ooit zijn blootgesteld aan magnetische velden boven het achtergrondniveau treedt testiskanker niet vaker op dan in de algemene bevolking. De commissie komt tot een incidentieratio (SIR) van 0,91 (0,78-1,29).

Daarnaast is er één onderzoek gevonden waarin de relatie tussen het gebruik van een elektrische bedwarmer en het optreden van testiskanker is onderzocht.[105] Bij mannen die ooit een elektrische bedwarmer hebben gebruikt werd een risicoschatting van 1,00 (0,70-1,40) gevonden.

Vanwege het geringe aantal onderzoeken heeft de commissie geen meta-analyses uitgevoerd.

6.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden

De commissie heeft 18 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in het beroep en het optreden van testiskanker. Daarvan zijn acht onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de 10 resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[27,32,43,48,74,81,87,106-108]

De commissie heeft daarbij onderscheid gemaakt tussen onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling in de algemene bevolking en onderzoeken gericht op specifieke industriële populaties, zoals werknemers van elektriciteitsbedrijven.

De meta-analyses van de commissie laten in geen van beide typen onderzoek een verhoogd risico zien op testiskanker bij blootstelling aan magnetische velden op de werkplek. Bij de onderzoeken onder werknemers uit de algemene bevolking komt de commissie tot een risicoschatting van 1,03 (0,86-1,23). Voor de onderzoeken onder werknemers uit specifieke industriële populaties is de risicoschatting 0,93 (0,81-1,06). Omdat er in beide gevallen te weinig onderzoeken zijn

met een volledige beroepsgeschiedenis zijn deze risicoschattingen gebaseerd op alle onderzoeken.

6.3 Conclusies

De geanalyseerde epidemiologische onderzoeken naar blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving laten geen associatie zien met het risico op testiskanker. Omdat dit echter maar weinig onderzoeken zijn, acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing.

De meta-analyse van de onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling van werknemers uit de algemene populatie en aan industriële populaties laten beide geen verhoogd risico zien op testiskanker. Omdat de resultaten van de onderzoeken uiteenlopen, acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ ook van toepassing op de relatie tussen het risico op testiskanker en blootstelling aan magnetische velden op de werkplek.

07 alvleesklierkanker

Onderzoek in de woonomgeving laat geen associaties zien tussen wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen en het risico op alvleesklierkanker. De omvang van het onderzoek is echter beperkt, daarom acht de commissie een uitspraak over een oorzakelijk verband niet mogelijk.
Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau is wel een associatie gevonden. De commissie beschouwt dit als een aanwijzing voor een oorzakelijk verband.

7.1 Blootstelling in de woonomgeving

Er is één onderzoek gevonden waarin de relatie tussen de afstand tot hoogspanningslijnen en sterfte aan alvleesklierkanker is onderzocht.[56] Een vergelijking van de sterfte aan alvleesklierkanker bij mensen die in de vijf jaar voorafgaand aan de diagnose op minder dan 100 meter van een hoogspanningslijn woonden en de sterfte aan alvleesklierkanker in de totale bevolking laat een sterfteratio (SMR) zien van 124 (25-361).
Er is één onderzoek gevonden waarin de relatie is onderzocht tussen de cumulatieve blootstelling aan magnetische velden afkomstig van hoogspanningslijnen in de woonomgeving, uitgedrukt in µT-jaar, en het optreden van alvleesklierkanker.[18] Bij personen die ooit zijn blootgesteld aan magnetische velden boven het achtergrondniveau treedt alvleesklierkanker niet vaker op dan in de algemene bevolking. De commissie komt op een incidentieratio (SIR) van 1,04 (0,94-1,16).
Vanwege het geringe aantal onderzoeken heeft de commissie geen meta-analyses uitgevoerd.

7.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden

De commissie heeft 15 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in het beroep en het optreden van alvleesklierkanker. Daarvan zijn vier onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de 11 resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[27,32,39,43,48,74,81,85,106,109,110]

De commissie heeft daarbij onderscheid gemaakt tussen onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling in de algemene bevolking en onderzoeken gericht op specifieke industriële populaties, zoals werknemers van elektriciteitsbedrijven.

De meta-analyses laten een verhoogd risico zien op alvleesklierkanker bij werknemers uit de algemene bevolking bij blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau op de werkplek. De commissie komt tot een risicoschatting van 1,10 (1,05-1,16). Omdat hier te weinig onderzoeken zijn met volledige beroepsgeschiedenis is deze risicoschatting gebaseerd op alle onderzoeken.

De meta-analyses van de onderzoeken met volledige beroepsgeschiedenis bij werknemers uit industriële populaties laten geen verhoogd risico op alvleesklierkanker bij blootstelling aan magnetische

velden op de werkplek zien. De risicoschatting is 1,00 (0,78-1,28). De heterogeniteit tussen de onderzoeken is hoog.

7.3 Conclusies

De geanalyseerde epidemiologische onderzoeken naar blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving laten geen verhoging zien van het risico op alvleesklierkanker. Omdat dit echter maar weinig onderzoeken zijn, acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing.

De meta-analyse van de onderzoeken bij werknemers uit de algemene bevolking laat een naar schatting met een factor 1,1 verhoogd risico op alvleesklierkanker zien, maar dat is niet het geval bij werknemers uit industriële populaties. De aard van de onderzoeken laat niet toe om een blootstellings-effectrelatie te bepalen. Op grond van de gevonden associatie acht de commissie de EPA-classificatie ‘aanwijzingen voor oorzakelijk verband’ van toepassing op de relatie tussen het risico op alvleesklierkanker en blootstelling aan magnetische velden op de werkplek.

08 longkanker

Onderzoek in de woonomgeving laat geen associaties zien tussen de nabijheid van hoogspanningslijnen en het risico op longkanker. De omvang van het onderzoek is echter beperkt, daarom is de conclusie dat een uitspraak over een oorzakelijk verband niet mogelijk is. Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden is evenmin een associatie gevonden. Daarom is ook voor beroepsmatige blootstelling de conclusie dat een uitspraak over een oorzakelijk verband niet mogelijk is.

8.1 Blootstelling in de woonomgeving

Er is één onderzoek gevonden waarin de relatie tussen de afstand tot hoogspanningslijnen en sterfte aan longkanker is onderzocht.[56] Onder mensen die in de vijf jaar voorafgaand aan de diagnose longkanker op minder dan 100 meter van een hoogspanningslijn woonden was de sterfte aan longkanker vergelijkbaar met de sterfte aan longkanker in de bevolking als geheel. Er werd een sterfteratio (SMR) gevonden van 114 (65-185).

Er is één onderzoek gevonden waarin de relatie tussen de cumulatieve blootstelling aan magnetische velden afkomstig van hoogspanningslijnen in de woonomgeving, uitgedrukt in µT-jaar, en het optreden van longkanker is onderzocht.[18] Bij personen die ooit zijn blootgesteld aan magnetische velden boven het achtergrondniveau treedt longkanker niet vaker op dan in de bevolking als geheel. De commissie komt tot een incidentieratio (SIR) van 0,92 (0,85-1,00).

Vanwege het geringe aantal onderzoeken heeft de commissie geen meta-analyses uitgevoerd.

8.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden

De commissie heeft 20 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in het beroep en het optreden van longkanker. Daarvan zijn zeven onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument).
Met de gegevens van de 13 resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[27,32,39,40,42,43,48,52,53,74,81,106,111]
De commissie heeft daarbij onderscheid gemaakt tussen onderzoeken bij werknemers in de algemene bevolking en onderzoeken gericht op specifieke industriële populaties, zoals werknemers van elektriciteitsbedrijven.

De meta-analyses laten geen verhoogd risico op longkanker zien bij blootstelling aan magnetische velden bij werknemers uit de algemene bevolking. De commissie komt tot een risicoschatting van 0,95 (0,79-1,14). Omdat hier te weinig onderzoeken zijn met volledige beroepsgeschiedenis is deze risicoschatting gebaseerd op alle onderzoeken. De heterogeniteit tussen de onderzoeken is hoog.

De meta-analyses van de onderzoeken met volledige beroeps-geschiedenis bij werknemers uit industriële populaties laten ook geen verhoogd risico op het optreden van longkanker bij blootstelling aan magnetische velden zien. De risicoschatting is 1,02 (0,92-1,14).
De heterogeniteit tussen de onderzoeken is hoog.

8.3 Conclusies

De geanalyseerde epidemiologische onderzoeken naar blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving laten geen associatie zien met het risico op longkanker. Omdat dit echter maar weinig onderzoeken zijn, acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing.

De meta-analyse van de onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling van werknemers uit de algemene bevolking laat ook geen verhoogd risico zien op longkanker. Dat geldt eveneens voor onderzoeken naar beroeps-matige blootstelling van werknemers uit industriële populaties. De aard van de onderzoeken laat niet toe om een blootstellings-effectrelatie te bepalen. Vanwege de heterogeniteit tussen de onderzoeken acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing op de relatie tussen het risico op longkanker en blootstelling aan magnetische velden op de werkplek.

09 prostaatkanker

Onderzoek in de woonomgeving laat geen associaties zien tussen wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen en het risico op prostaatkanker. De omvang van het onderzoek is echter beperkt, daarom is de conclusie dat een uitspraak over een oorzakelijk verband niet mogelijk is.
Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau is wel een associatie gevonden. De commissie beschouwt dit als een aanwijzing voor een oorzakelijk verband.

9.1 Blootstelling in de woonomgeving

Er zijn geen gegevens over prostaatkanker in relatie tot de afstand van de woning tot hoogspanningslijnen.

Er is één onderzoek gevonden waarin de relatie tussen de cumulatieve blootstelling aan magnetische velden afkomstig van hoogspanningslijnen in de woonomgeving, uitgedrukt in µT-jaar, en het optreden van prostaatkanker is onderzocht.[18] Bij mannen die ooit zijn blootgesteld aan magnetische velden boven het achtergrondniveau treedt prostaatkanker niet vaker op dan in de bevolking als geheel. De commissie komt tot een incidentieratio (SIR) van 0,99 (0,91-1,07).

Daarnaast is één onderzoek gevonden waarin de relatie tussen het gebruik van een elektrische bedwarmer en het optreden van prostaatkanker is onderzocht.[112] Bij mannen die ooit een elektrische bedwarmer hebben gebruikt werd een risicoschatting van 1,4 (0,9-2,2) gevonden.

Vanwege het geringe aantal onderzoeken heeft de commissie geen meta-analyses uitgevoerd.

9.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden

De commissie heeft 14 onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in het beroep en het optreden van prostaatkanker. Daarvan zijn vijf onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument).
Met de gegevens van de negen resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[27,32,39,40,43,74,81,106,113]
De commissie heeft daarbij onderscheid gemaakt tussen onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling in de algemene bevolking en onderzoeken gericht op specifieke industriële populaties, zoals werknemers van elektriciteitsbedrijven.

De meta-analyses resulteren voor het optreden van prostaatkanker bij werknemers uit de algemene bevolking in een risicoschatting van 1,06 (1,00-1,12). Omdat hier te weinig onderzoeken zijn met volledige beroepsgeschiedenis is deze risicoschatting gebaseerd op alle onderzoeken. De meta-analyses van de onderzoeken met volledige beroepsgeschiedenis bij werknemers uit industriële populaties geven voor het optreden van

prostaatkanker bij blootstelling aan magnetische velden op de werkplek een risicoschatting van 1,02 (0,88-1,17).

9.3 Conclusies

De geanalyseerde epidemiologische onderzoeken naar blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving laten geen associaties zien met het risico op prostaatkanker. Omdat dit ook maar weinig onderzoeken zijn, acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing.

De meta-analyses van de onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling laten geen verhoogd risico zien. Vanwege de heterogeniteit tussen de onderzoeken acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing op de relatie tussen het risico op prostaatkanker en blootstelling aan magnetische velden op de werkplek.

10 huidmelanomen

Onderzoek in de woonomgeving laat geen associatie zien tussen wonen in de nabijheid van hoogspanningslijnen en het risico op huidmelanomen. De omvang van het onderzoek is echter beperkt, daarom is de conclusie dat een uitspraak over een oorzakelijk verband niet mogelijk is.
Bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau is evenmin een associatie gevonden. Ook voor de werkomgeving, waar de resultaten van de onderzoeken niet eenduidig zijn, geldt dat de commissie geen uitspraak kan doen over een mogelijk oorzakelijk verband tussen blootstelling aan magnetische velden en huidmelanomen.

10.1 Blootstelling in de woonomgeving

De commissie heeft vier onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving en het optreden van huidmelanomen. Met deze gegevens heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.[18,23,114,115]

In één van deze onderzoeken is ook de relatie tussen de afstand tot hoogspanningslijnen en het optreden van huidmelanomen onderzocht. De risicoschatting voor wonen op een afstand tussen 0 en 50 meter van een hoogspanningslijn is 0,82 (0,61-1,11).[23]

Voor blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau als gevolg van wonen in de nabijheid van een hoogspanningslijn geeft de meta-analyse voor het optreden van huidmelanomen een risicoschatting van 1,10 (0,78-1,55).

10.2 Beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden

De commissie heeft acht onderzoeken gevonden naar de relatie tussen blootstelling aan magnetische velden in het beroep en het optreden van huidmelanomen. Daarvan zijn twee onderzoeken om uiteenlopende redenen niet in de analyses opgenomen (zie het achtergronddocument). Met de gegevens van de zes resterende onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling heeft de commissie meta-analyses uitgevoerd.

De commissie heeft daarbij onderscheid gemaakt tussen onderzoeken naar beroepsmatige blootstelling in de algemene bevolking en onderzoeken gericht op specifieke industriële populaties, zoals werknemers van elektriciteitsbedrijven.

Er zijn twee onderzoeken gevonden waarvan de deelnemers afkomstig zijn uit de algemene bevolking. In het eerste onderzoek is de risicoschatting bij hogere blootstelling dan het achtergrondniveau 1,39 (1,32-1,47).[43] In het tweede onderzoek is de risicoschatting 1,11 (0,87-1,41).[114]

De meta-analyse van de gegevens uit de vier onderzoeken bij industriële populaties laat geen verhoogd risico op het optreden van huidmelanomen zien bij blootstelling aan magnetische velden boven het

achtergrondniveau.[39,48,74,81] De commissie komt tot een risicoschatting van 1,01 (0,89-1,16). Omdat hier te weinig onderzoeken zijn met volledige beroepsgeschiedenis is deze risicoschatting gebaseerd op alle onderzoeken.

10.3 Conclusies

De geanalyseerde epidemiologische onderzoeken naar blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving laten geen associaties zien met het risico op huidmelanomen. Omdat dit maar weinig onderzoeken zijn, acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing.

Voor werknemers uit de algemene bevolking is in een van de twee onderzoeken een verhoogd risico op huidmelanomen gevonden, in het andere niet. De meta-analyses van de onderzoeken bij werknemers uit industriële populaties laten voor blootstelling op de werkplek geen verhoogd risico op huidmelanomen zien. De aard van de onderzoeken laat niet toe om een blootstellings-effectrelatie te bepalen. Op grond van deze bevindingen acht de commissie de EPA-classificatie ‘uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk’ van toepassing op de relatie tussen het risico op huidmelanomen en blootstelling aan magnetische velden op de werkplek.

11 advies

Over blootstelling in de woonomgeving zijn voor de meeste onderzochte typen kanker maar weinig onderzoeken beschikbaar en een deel daarvan gebruiken de nabijheid van hoogspanningslijnen als maat voor blootstelling aan het magnetisch veld, wat minder nauwkeurig is dan bepaling van de blootstelling aan magnetische velden door meting of modellering. Voor de meeste typen kanker zijn geen associaties gevonden tussen blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving en het risico op de ziekte bij volwassenen.

Alleen voor leukemie heeft de commissie wel een associatie gevonden. Net als bij kinderen komt leukemie vaker voor bij volwassenen die dichtbij hoogspanningslijnen wonen. De commissie beschouwt dit als een aanwijzing voor een oorzakelijk verband.

Voor beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau heeft de commissie associaties gevonden met het risico op leukemie, borstkanker bij mannen, hersenkanker en alvleesklier-kanker. De risico's op deze typen kanker zijn met een factor tussen naar schatting 1,1 en 2,1 verhoogd. De commissie beschouwt dit als aanwijzingen voor een oorzakelijk verband. Voor de andere typen kanker zijn te weinig gegevens beschikbaar of zijn de onderzoeksresultaten te uiteenlopend om een uitspraak te kunnen doen over een mogelijk oorzakelijk verband.

In tabel 2 geeft de commissie aan wat de onderzoeksresultaten volgens haar betekenen in termen van bewijs, op basis van de EPA-classificatie, voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan magnetische velden en de verschillende typen kanker. Ze doet dat apart voor de blootstelling in de woonomgeving en beroepsmatige blootstelling.

Tabel 2 Bewijskracht voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling en ziekte

Ziekte	Woonomgeving	Beroepsmatig
Leukemie, inclusief AML	Aanwijzingen voor oorzakelijk verband	Aanwijzingen voor oorzakelijk verband
Borstkanker bij vrouwen	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk
Borstkanker bij mannen	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk	Aanwijzingen voor oorzakelijk verband
Hersenkanker	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk	Aanwijzingen voor oorzakelijk verband
Testiskanker	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk
Alvleesklierkanker	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk	Aanwijzingen voor oorzakelijk verband
Longkanker	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk
Prostaatkanker	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk
Huidmelanomen	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk	Uitspraak over oorzakelijk verband niet mogelijk

De onderzochte beroepsmatige blootstellingen zijn aanzienlijk hoger dan die in de woonomgeving. Als het magnetische veld het vermogen bezit om de gezondheid te schaden, zal dat waarschijnlijk eerder aan het licht komen bij personen die in hun beroep aan relatief hoge magnetische

veldsterktes worden blootgesteld, zoals elektrische lassers of mensen die werken in een elektriciteitscentrale. De aanwijzingen voor een oorzakelijk verband bij beroepsmatige blootstelling kunnen niet zonder meer worden geëxtrapoleerd naar de woonomgeving. Wel duiden ze erop dat magnetische velden mogelijk de potentie hebben om de gezondheid te schaden. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of dat daadwerkelijk zo is, wat het achterliggende werkingsmechanisme is, hoe dosis-effectrelaties eruit zien en of er blootstellingsniveaus zijn waaronder zich geen nadelige effecten voordoen. Daarbij past ook de kanttekening dat de blootgestelde populatie in de woonomgeving ook groepen omvat die mogelijk gevoeliger zijn, zoals kinderen, ouderen en chronisch zieken en dat blootstelling langduriger is dan in de werkomgeving.

Extreem laagfrequente magnetische velden zijn in 2002 door het *International Agency for Research on Cancer* (IARC) geclassificeerd als 'mogelijk kankerverwekkend bij mensen' (categorie 2B), voornamelijk op basis van de associaties die destijds gevonden zijn met kinderleukemie.[116] Die associaties zijn door de commissie in het eerste deeladvies uit 2018, mede op basis van recentere literatuur, bevestigd.[2] In het voorliggende advies heeft de commissie ook voor leukemie bij volwassenen associaties gevonden met blootstelling aan magnetische velden, zowel in de woonomgeving als op het werk. Associaties die in epidemiologisch onderzoek gevonden worden zijn aanwijzingen, maar geen bewijzen voor een oorzakelijk verband. Daarvoor zijn aanvullende gegevens uit experimenteel onderzoek noodzakelijk, en die ontbreken voor leukemie grotendeels. Wel is er meer experimenteel onderzoek beschikbaar naar andere typen kanker. In 2007 heeft de WHO een uitgebreide review uitgebracht waarin geconcludeerd wordt dat er geen experimenteel bewijs is dat extreem laagfrequente magnetische velden kanker kunnen veroorzaken.[117] Een review uit 2016 van de *Swedish Radiation Safety Authority* (SSM) komt tot de conclusie dat er sindsdien in feite niets is veranderd.[118] Recentere goede reviews van experimentele onderzoeken zijn niet beschikbaar.

In de adviesaanvraag wordt gevraagd of mogelijk de lijnspanning van belang kan zijn. Er zijn echter geen onderzoeken waarin de lijnspanning als mogelijke factor is geanalyseerd.

11.1 Aanbevelingen

Nader onderzoek

De commissie verwacht niet dat meer (retrospectief) epidemiologisch onderzoek op korte termijn meer zekerheid zal opleveren. Zij beveelt wel aan om de blootstelling aan magnetische velden in de woon- en werkomgeving te monitoren. Het gebruik van windturbines en zonnepanelen als primaire bron van energie is de laatste jaren sterk toegenomen. Tegelijkertijd zijn de elektrische auto en de warmtepomp bezig aan een opmars. De veranderingen in de productie en het verbruik van elektriciteit leiden tot een verhoging van het transport van elektriciteit

en daarmee waarschijnlijk tot hogere blootstellingen aan magnetische velden in de buurt van elektriciteitslijnen en op sommige werkplekken. Onderzoek naar biologische werkingsmechanismen kan aanvullende gegevens over oorzakelijke verbanden opleveren.

Voorzorg

Het huidige beleid ten aanzien van bovengrondse hoogspanningslijnen is gebaseerd op voorzorg in verband met aanwijzingen voor een oorzakelijk verband tussen de blootstelling aan magnetische velden en het risico op kinderleukemie. In haar eerdere advies heeft de commissie aanbevolen om te overwegen het voorzorgbeleid uit te breiden naar ondergrondse elektriciteitskabels en andere bronnen van langdurige blootstelling aan magnetische velden uit het elektriciteitsnetwerk, zoals transformator-stations en transformatorhuisjes. In de huidige analyses zijn voor de meeste onderzochte typen kanker bij volwassenen geen aanwijzingen gevonden dat de algemene bevolking een verhoogd risico loopt door blootstelling aan magnetische velden in de woonomgeving. De enige uitzondering vormt leukemie. Deze bevinding beschouwt de commissie als een extra argument voor voorzorg.

Gezien de aanwijzingen voor een verhoogd risico voor diverse typen kanker bij beroepsmatige blootstelling aan magnetische velden boven het achtergrondniveau, beveelt de commissie aan om uit voorzorg te streven naar een zo laag als redelijkerwijs mogelijke beroepsmatige blootstelling (ALARA – *as low as reasonably achievable*).

literatuur

1 Gezondheidsraad. *Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz)*. Den Haag, 2000; publicatienr. 2000/06.

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

3 Wertheimer N, Leeper E. *Electrical wiring configurations and childhood cancer*. Am J Epidemiol 1979; 109(3): 273-284.

4 Gezondheidsraad. *5G en gezondheid*. Den Haag, 2020; publicatie nr. 2020/16.

5 Owens EO, Patel MM, Kirrane E, Long TC, Brown J, Cote I, et al. *Framework for assessing causality of air pollution-related health effects for reviews of the National Ambient Air Quality Standards*. Regul Toxicol Pharmacol 2017; 88: 332-337.

6 Eliyahu I, Hareuveny R, Riven M, Kandel S, Kheifets L. *24-h personal monitoring of exposure to Power Frequency Magnetic Fields in adolescents - Results of a National Survey*. Environ Res 2017; 158: 295-300.

7 Magne I, Souques M, Bureau I, Duburcq A, Remy E, Lambrozo J. *Exposure of children to extremely low frequency magnetic fields in France: Results of the EXPERS study*. J Expo Sci Environ Epidemiol 2017; 27(5): 505-512.

8 Calvente I, Davila-Arias C, Ocon-Hernandez O, Perez-Lobato R, Ramos R, Artacho-Cordon F, et al. *Characterization of indoor extremely low frequency and low frequency electromagnetic fields in the INMA-Granada cohort*. PLoS One 2014; 9(9): e106666.

9 Bolte JF, Baliatsas C, Eikelboom T, van Kamp I. *Everyday exposure to power frequency magnetic fields and associations with non-specific physical symptoms*. Environ Pollut 2015; 196: 224-229.

10 Kelfkens G, Pruppers MJM. *Extreem-laagfrequente elektrische en magnetische velden van huishoudelijke apparatuur*. Bilthoven, 2005; RIVM Rapport 300010001/2005.

11 Gourzoulidis GA, Tsaprouni P, Skamnakis N, Tzoumanika C, Kalampaliki E, Karastergios E, et al. *Occupational exposure to electromagnetic fields. The situation in Greece*. Phys Med 2018; 49: 83-89.

12 Gobba F, Bravo G, Rossi P, Contessa GM, Scaringi M. *Occupational and environmental exposure to extremely low frequency-magnetic fields: a personal monitoring study in a large group of workers in Italy*. J Expo Sci Environ Epidemiol 2011; 21(6): 634-645.

13 van Tongeren M, Mee T, Whatmough P, Broad L, Maslanyj M, Allen S, et al. *Assessing occupational and domestic ELF magnetic field exposure in the uk adult brain tumour study: results of a feasibility study*. Radiat Prot Dosimetry 2004; 108(3): 227-236.

14 Kromhout H, Loomis DP, Mihlan GJ, Peipins LA, Kleckner RC, Iriye R, et al. *Assessment and grouping of occupational magnetic field exposure in five electric utility companies*. Scand J Work Environ Health 1995; 21(1): 43-50.

15 Bolte JFB, Pruppers MJM. *Elektromagnetische velden in arbeidssituaties*. Den Haag, 2006; RIVM-nr. 610015001.

16 The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). *EMFs in the workplace*. https://www.cdc.gov/niosh/docs/96-129/default.html. Geraadpleegd: 09-03-2022.

17 Youngson JHAM, Clayden AD, Myers A, Cartwright RA. *A case control study of adult hematological malignancies in relation to overhead powerlines*. Br J Cancer 1991; 63(6): 977-985.

18 Verkasalo PK, Pukkala E, Kaprio J, Heikkila KV, Koskenvuo M. *Magnetic-fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults - nationwide cohort study*. Br Med J 1996; 313(7064): 1047-1051.

19 Feychting M, Forssén U, Floderus B. *Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors*. Epidemiology 1997; 8(4): 384-389.

20 Li CY, Thériault G, Lin RS. *Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan*. Epidemiology 1997; 8(1): 25-30.

21 Tynes T, Haldorsen T. *Residential and occupational exposure to 50 Hz magnetic fields and hematological cancers in Norway*. Cancer Causes Control 2003; 14(8): 715-720.

22 Marcilio I, Gouveia N, Pereira Filho ML, Kheifets L. *Adult mortality from leukemia, brain cancer, amyotrophic lateral sclerosis and magnetic fields from power lines: a case-control study in Brazil*. Rev Bras Epidemiol 2011; 14(4): 580-588.

23 Elliott P, Shaddick G, Douglass M, de Hoogh K, Briggs DJ, Toledano MB. *Adult cancers near high-voltage overhead power lines*. Epidemiology 2013; 24(2): 184-190.

24 Khan MW, Juutilainen J, Auvinen A, Naarala J, Pukkala E, Roivainen P. *A cohort study on adult hematological malignancies and brain tumors in relation to magnetic fields from indoor transformer stations*. Int J Hyg Environ Health 2021; 233: 113712.

25 Preston-Martin S, Peters JM, Yu MC, Garabrant DH, Bowman JD. *Myelogenous leukemia and electric blanket use*. Bioelectromagnetics 1988; 9(3): 207-213.

26 Oppenheimer M, Preston-Martin S. *Adult onset acute myelogenous leukemia and electromagnetic fields in Los Angeles County: bed-heating and occupational exposures*. Bioelectromagnetics 2002; 23(6): 411-415.

27 Pearce N, Reif J, Fraser J. *Case-control studies of cancer in New Zealand electrical workers*. Int J Epidemiol 1989; 18(1): 55-59.

28 Juutilainen J, Laara E, Pukkala E. *Incidence of leukaemia and brain tumours in Finnish workers exposed to ELF magnetic fields*. Int Arch Occup Environ Health 1990; 62(4): 289-293.

29 Loomis DP, Savitz DA. *Mortality from brain cancer and leukaemia among electrical workers*. Br J Ind Med 1990; 47(9): 633-638.

30 Pachocki KA, Gajewski AK. *Exposure to electromagnetic fields and risk of leukemia*. Rocz Panstw Zakl Hig 1991; 42(3): 217-221.

[31] Törnqvist S, Knave B, Ahlbom A, Persson T. *Incidence of leukemia and brain tumors in some electrical occupations*. Br J Ind Med 1991; 48(9): 597-603.

[32] Tynes T, Andersen A, Langmark F. *Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields*. Am J Epidemiol 1992; 136(1): 81-88.

[33] Richardson S, Zittoun R, Bastuji-Garin S, Lasserre V, Guihenneuc C, Cadiou M, et al. *Occupational risk factors for acute leukaemia: a case-control study*. Int J Epidemiol 1992; 21(6): 1063-1073.

[34] Sahl JD, Kelsh MA, Greenland S. *Cohort and nested case-control studies of hematopoietic cancers and brain cancer among electric utility workers*. Epidemiology 1993; 4(2): 104-114.

[35] Guénel P, Raskmark P, Andersen JB, Lynge E. *Incidence of cancer in persons with occupational exposure to electromagnetic fields in Denmark*. Br J Ind Med 1993; 50(8): 758-764.

[36] Matanoski GM, Elliott EA, Breysse PN, Lynberg MC. *Leukemia in telephone linemen*. Am-J-Epidemiol 1993; 137(6): 609-619.

[37] Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Ost A, Knave B. *Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden*. Cancer Causes Control 1993; 4(5): 465-476.

[38] Tynes T, Jynge H, Vistnes AI. *Leukemia and brain tumors in Norwegian railway workers, a nested case-control study*. Am J Epidemiol 1994; 139(7): 645-653.

[39] Tynes T, Reitan JB, Andersen A. *Incidence of cancer among workers in Norwegian hydroelectric power companies*. Scand J Work Environ Health 1994; 20(5): 339-344.

[40] Thériault G, Goldberg M, Miller AB, Armstrong B, Guenel P, Deadman J, et al. *Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic-fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France - 1970-1989*. Am J Epidemiol 1994; 139(6): 550-572.

[41] London SJ, Bowman JD, Sobel E, Thomas DC, Garabrant DH, Pearce N, et al. *Exposure to magnetic fields among electrical workers in relation to leukemia risk in Los Angeles County*. Am J Ind Med 1994; 26(1): 47-60.

[42] Alfredsson L, Hammar N, Karlehagen S. *Cancer incidence among male railway engine-drivers and conductors in Sweden, 1976-90*. Cancer Causes Control 1996; 7(3): 377-381.

[43] Floderus B, Stenlund C, Persson T. *Occupational magnetic field exposure and site-specific cancer incidence: a Swedish cohort study*. Cancer Causes Control 1999; 10(5): 323-332.

[44] Savitz DA, Cai J, van Wijngaarden E, Loomis D, Mihlan G, Dufort V, et al. *Case-cohort analysis of brain cancer and leukemia in electric utility workers using a refined magnetic field job-exposure matrix*. Am J Ind Med 2000; 38(4): 417-425.

[45] Harrington JM, Nichols L, Sorahan T, van Tongeren M. *Leukaemia mortality in relation to magnetic field exposure: findings from a study of*

United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97. Occup Environ Med 2001; 58(5): 307-314.

46 Bethwaite P, Cook A, Kennedy J, Pearce N. *Acute leukemia in electrical workers: A New Zealand case-control study*. Cancer-Causes-Control 2001; 12: 683-689.

47 Blair A, Zheng T, Linos A, Stewart PA, Zhang YW, Cantor KP. *Occupation and leukemia: a population-based case-control study in Iowa and Minnesota*. Am J Ind Med 2001; 40(1): 3-14.

48 Håkansson N, Floderus B, Gustavsson P, Johansen C, Olsen JH. *Cancer incidence and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden*. Occup Environ Med 2002; 59(7): 481-486.

49 Willett EV, McKinney PA, Fear NT, Cartwright RA, Roman E. *Occupational exposure to electromagnetic fields and acute leukaemia: analysis of a case-control study*. Occup Environ Med 2003; 60(8): 577-583.

50 Adegoke OJ, Blair A, Shu XO, Sanderson M, Jin F, Dosemeci M, et al. *Occupational history and exposure and the risk of adult leukemia in Shanghai*. Ann Epidemiol 2003; 13(7): 485-494.

51 Johansen C, Raaschou-Nielsen O, Olsen JH, Schüz J. *Risk for leukaemia and brain and breast cancer among Danish utility workers: a second follow-up*. Occup Environ Med 2007; 64(11): 782-784.

52 Röösli M, Lortscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, Lortscher E, et al. *Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees*. Occup Environ Med 2007; 64(8): 553-559.

53 Koeman T, van den Brandt PA, Slottje P, Schouten LJ, Goldbohm RA, Kromhout H, et al. *Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort*. Cancer Causes Control 2014; 25(2): 203-214.

54 Huss A, Spoerri A, Egger M, Kromhout H, Vermeulen R, Swiss National Cohort. *Occupational extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF) exposure and hematolymphopoietic cancers - Swiss National Cohort analysis and updated meta-analysis*. Environ Res 2018; 164: 467-474.

55 Flodin U, Fredriksson M, Persson B, Hardell L, Axelson O. *Background radiation, electrical work, and some other exposures associated with acute myeloid leukemia in a case-referent study*. Arch Environ Health 1986; 41(2): 77-84.

56 Schreiber GH, Swaen GMH, Meijers JMM, Slangen JJM, Sturmans F. *Cancer mortality and residence near electricity transmission equipment - A retrospective cohort study*. Int J Epidemiol 1993; 22(1): 9-15.

57 Feychting M, Forssén U, Rutqvist LE, Ahlbom A. *Magnetic fields and breast cancer in Swedish adults residing near high-voltage power lines*. Epidemiology 1998; 9: 392-397.

58 Coogan PF, Aschengrau A. *Exposure to power frequency magnetic fields and risk of breast cancer in the upper Cape Cod cancer incidence study*. Arch Environ Health 1998; 53: 359-367.

[59] Davis S, Mirick DK, Stevens RG. *Residential magnetic fields and the risk of breast cancer*. Am J Epidemiol 2002; 155(5): 446-454.

[60] Schoenfeld ER, O'Leary ES, Henderson K, Grimson R, Kabat GC, Ahnn S, et al. *Electromagnetic fields and breast cancer on Long Island: a case-control study*. Am J Epidemiol 2003; 158(1): 47-58.

[61] London SJ, Pogoda JM, Hwang KL, Langholz B, Monroe KR, Kolonel LN, et al. *Residential magnetic field exposure and breast cancer risk: a nested case-control study from a multiethnic cohort in Los Angeles County, California*. Am J Epidemiol 2003; 158(10): 969-980.

[62] Kliukiene J, Tynes T, Andersen A. *Residential and occupational exposures to 50-Hz magnetic fields and breast cancer in women: a population-based study*. Am J Epidemiol 2004; 159(9): 852-861.

[63] Vena JE, Graham S, Hellmann R, Swanson M, Brasure J. *Use of electric blankets and risk of postmenopausal breast cancer*. Am J Epidemiol 1991; 134(2): 180-185.

[64] Vena JE, Freudenheim JL, Marshall JR, Laughlin R, Swanson M, Graham S. *Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets*. Am J Epidemiol 1994; 140(11): 974-979.

[65] Gammon MD, Schoenberg JB, Britton JA, Kelsey JL, Stanford JL, Malone KE, et al. *Electric blanket use and breast cancer risk among younger women*. Am J Epidemiol 1998; 148(6): 556-563.

[66] Laden F, Neas LM, Tolbert PE, Holmes MD, Hankinson SE, Spiegelman D, et al. *Electric blanket use and breast cancer in the Nurses' Health Study*. Am J Epidemiol 2000; 152(1): 41-49.

[67] Zheng T, Holford TR, Mayne ST, Owens PH, Zhang B, Boyle P, et al. *Exposure to electromagnetic fields from use of electric blankets and other in-home appliances and breast cancer risk*. Am J Epidemiol 2000; 151: 1103-1111.

[68] McElroy JA, Newcomb PA, Remington PL, Egan KM, Titus-Ernstoff L, Trentham-Dietz A, et al. *Electric blanket or mattress cover use and breast cancer incidence in women 50-79 years of age*. Epidemiology 2001; 12(6): 613-617.

[69] Zhu K, Hunter S, Payne-Wilks K, Roland CL, Forbes DS. *Use of electric bedding devices and risk of breast cancer in African-American women*. Am J Epidemiol 2003; 158(8): 798-806.

[70] Kabat GC, O'Leary ES, Schoenfeld ER, Greene JM, Grimson R, Henderson K, et al. *Electric blanket use and breast cancer on Long Island*. Epidemiology 2003; 14(5): 514-520.

[71] Loomis DP, Savitz DP, Ananth CV. *Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States*. J Natl Cancer Inst 1994; 86(12): 921-925.

[72] Coogan PF, Clapp RW, Newcomb PA, Wenzl TB, Bogdan G, Mittendorf R, et al. *Occupational exposure to 60-hertz magnetic fields and risk of breast cancer in women*. Epidemiology 1996; 7(5): 459-464.

[73] Petralia SA, Chow WH, McLaughlin J, Jin F, Gao YT, Dosemeci M. *Occupational risk factors for breast cancer among women in Shanghai*. Am J Ind Med 1998; 34(5): 477-483.

74 Johansen C, Olsen JH. *Risk of cancer among Danish utility workers--a nationwide cohort study*. Am J Epidemiol 1998; 147(6): 548-555.

75 Kliukiene J, Tynes T, Martinsen J, I, Blaasaas KG, Andersen A. *Incidence of breast cancer in a Norwegian cohort of women with potential workplace exposure to 50 Hz magnetic fields*. Am J Ind Med 1999; 36(1): 147-154.

76 van Wijngaarden E, Nylander-French LA, Millikan RC, Savitz DA, Loomis D. *Population-based case-control study of occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer*. Ann Epidemiol 2001; 11: 297-303.

77 Labrèche F, Goldberg MS, Valois MF, Nadon L, Richardson L, Lakhani R, et al. *Occupational exposures to extremely low frequency magnetic fields and postmenopausal breast cancer*. Am J Ind Med 2003; 44(6): 643-652.

78 Forssén UM, Rutqvist LE, Ahlbom A, Feychting M. *Occupational magnetic fields and female breast cancer: a case-control study using Swedish population registers and new exposure data*. Am J Epidemiol 2005; 161(3): 250-259.

79 Peplonska B, Stewart P, Szeszenia-Dabrowska N, Rusiecki J, Garcia-Closas M, Lissowska J, et al. *Occupation and breast cancer risk in Polish women: a population-based case-control study*. Am J Ind Med 2007; 50(2): 97-111.

80 McElroy JA, Egan KM, Titus-Ernstoff L, Anderson HA, Trentham-Dietz A, Hampton JM, et al. *Occupational exposure to electromagnetic field and breast cancer risk in a large, population-based, case-control study in the United States*. J Occup Environ Med 2007; 49(3): 266-274.

81 Sorahan T. *Cancer incidence in UK electricity generation and transmission workers, 1973-2008*. Occup Med (Lond) 2012; 62(7): 496-505.

82 Li W, Ray RM, Thomas DB, Yost M, Davis S, Breslow N, et al. *Occupational exposure to magnetic fields and breast cancer among women textile workers in Shanghai, China*. Am J Epidemiol 2013; 178(7): 1038-1045.

83 Demers PA, Thomas DB, Rosenblatt KA, Jimenez LM, McTiernan A, Stalsberg H, et al. *Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men*. Am J Epidemiol 1991; 134(4): 340-347.

84 Floderus B, Törnqvist S, Stenlund C. *Incidence of selected cancers in Swedish railway workers, 1961-79*. Cancer Causes Control 1994; 5(2): 189-194.

85 Savitz DA, Loomis DP. *Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers*. Am J Epidemiol 1995; 141(2): 123-134.

86 Rosenbaum PF, Vena JE, Zielezny MA, Michalek AM. *Occupational exposures associated with male breast cancer*. Am J Epidemiol 1994; 139(1): 30-36.

87 Stenlund C, Floderus B. *Occupational exposure to magnetic fields in relation to male breast cancer and testicular cancer: a Swedish case-control study*. Cancer Causes Control 1997; 8(2): 184-191.

88 Cocco P, Figgs L, Dosemeci M, Hayes R, Linet MS, Hsing AW. *Case-control study of occupational exposures and male breast cancer*. Occup Environ Med 1998; 55(9): 599-604.

89 Pollán M, Gustavsson P, Floderus B. *Breast cancer, occupation, and exposure to electromagnetic fields among Swedish men*. Am J Industr Med 2001; 39(3): 276-285.

90 Grundy A, Harris SA, Demers PA, Johnson KC, Agnew DA, Canadian Cancer Registries Epidemiology Research Group, et al. *Occupational exposure to magnetic fields and breast cancer among Canadian men*. Cancer Med 2016; 5(3): 586-596.

91 Wrensch M, Yost M, Miike R, Lee G, Touchstone J. *Adult glioma in relation to residential power frequency electromagnetic field exposures in the San Francisco Bay area*. Epidemiology 1999; 10(5): 523-527.

92 Klaeboe L, Blaasaas KG, Haldorsen T, Tynes T. *Residential and occupational exposure to 50-Hz magnetic fields and brain tumours in Norway: A population-based study*. Int J Cancer 2005:

93 Lin RS, Dischinger PC, Conde J, Farrell KP. *Occupational exposure to electromagnetic fields and the occurrence of brain tumors. An analysis of possible associations*. J Occup Med 1985; 27(6): 413-419.

94 Speers MA, Dobbins JG, Miller VS. *Occupational exposures and brain cancer mortality: a preliminary study of east Texas residents*. Am J Ind Med 1988; 13(6): 629-638.

95 Schlehofer B, Kunze S, Sachsenheimer W, Blettner M, Niehoff D, Wahrendorf J. *Occupational risk factors for brain tumors: results from a population-based case-control study in Germany*. Cancer Causes Control 1990; 1(3): 209-215.

96 Mack W, Preston MS, Peters JM. *Astrocytoma risk related to job exposure to electric and magnetic fields*. Bioelectromagnetics 1991; 12(1): 57-66.

97 Grayson JK. *Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US Air Force: a nested case-control study*. Am J Epidemiol 1996; 143(5): 480-486.

98 Rodvall Y, Ahlbom A, Stenlund C, Preston-Martin S, Lindh T, Spannare B. *Occupational exposure to magnetic fields and brain tumours in central Sweden*. Eur J Epidemiol 1998; 14: 563-569.

99 Villeneuve PJ, Agnew DA, Johnson KC, Mao Y, Canadian Cancer Registries Epidemiology Research Group. *Brain cancer and occupational exposure to magnetic fields among men: results from a Canadian population-based case-control study*. Int J Epidemiol 2002; 31(1): 210-217.

100 Navas-Acién A, Pollán M, Gustavsson P, Floderus B, Plato N, Dosemeci M. *Interactive effect of chemical substances and occupational electromagnetic field exposure on the risk of gliomas and meningiomas in Swedish men*. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 2002; 11(12): 1678-1683.

101 Karipidis KK, Benke G, Sim MR, Kauppinen T, Giles G. *Occupational exposure to ionizing and non-ionizing radiation and risk of glioma*. Occup Med (Lond) 2007; 57(7): 518-524.

[102] Coble JB, Dosemeci M, Stewart PA, Blair A, Bowman J, Fine HA, et al. *Occupational exposure to magnetic fields and the risk of brain tumors*. Neuro Oncol 2009; 11(3): 242-249.

[103] Baldi I, Coureau G, Jaffre A, Gruber A, Ducamp S, Provost D, et al. *Occupational and residential exposure to electromagnetic fields and risk of brain tumors in adults: a case-control study in Gironde, France*. Int J Cancer 2011; 129(6): 1477-1484.

[104] Turner MC, Benke G, Bowman JD, Figuerola J, Fleming S, Hours M, et al. *Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and brain tumor risks in the INTEROCC study*. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 2014; 23(9): 1863-1872.

[105] Verreault R, Weiss NS, Hollenbach KA, Strader CH, Daling JR. *Use of electric blankets and risk of testicular cancer*. Am-J-Epidemiol 1990; 131(5): 759-762.

[106] Törnqvist S, Norell S, Ahlbom A, Knave B. *Cancer in the electric power industry*. Br J Ind Med 1986; 43(3): 212-213.

[107] Swerdlow AJ, Douglas AJ, Huttly SR, Smith PG. *Cancer of the testis, socioeconomic status, and occupation*. Br J Ind Med 1991; 48(10): 670-674.

[108] Baumgardt-Elms C, Schumann M, Ahrens W, Bromen K, Stang A, Jahn I, et al. *Residential exposure to overhead high-voltage lines and the risk of testicular cancer: results of a population-based case-control study in Hamburg (Germany)*. Int Arch Occup Environ Health 2005; 78(1): 20-26.

[109] Ji BT, Silverman DT, Dosemeci M, Dai Q, Gao YT, Blair A. *Occupation and pancreatic cancer risk in Shanghai, China*. Am J Ind Med 1999; 35(1): 76-81.

[110] Weiderpass E, Vainio H, Kauppinen T, Vasama-Neuvonen K, Partanen T, Pukkala E. *Occupational exposures and gastrointestinal cancers among Finnish women*. J Occup Environ Med 2003; 45(3): 305-315.

[111] Savitz DA, Dufort V, Armstrong B, Theriault G. *Lung cancer in relation to employment in the electrical utility industry and exposure to magnetic fields*. Occup Environ Med 1997; 54(6): 396-402.

[112] Zhu K, Weiss NS, Stanford JL, Daling JR, Stergachis A, McKnight B, et al. *Prostate cancer in relation to the use of electric blanket or heated water bed*. Epidemiology 1999; 10(1): 83-85.

[113] Charles LE, Loomis D, Shy CM, Newman B, Millikan R, Nylander-French LA, et al. *Electromagnetic fields, polychlorinated biphenyls, and prostate cancer mortality in electric utility workers*. Am J Epidemiol 2003; 157(8): 683-691.

[114] Tynes T, Klaeboe L, Haldorsen T. *Residential and occupational exposure to 50 Hz magnetic fields and malignant melanoma: a population based study*. Occup Environ Med 2003; 60(5): 343-347.

[115] Khan MW, Juutilainen J, Naarala J, Roivainen P. *Residential extremely low frequency magnetic fields and skin cancer*. Occup Environ Med 2022; 79(1): 49-54.

[116] 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.

[117] WHO - World Health Organization. *Extremely low frequency fields*. Geneva: World Health Organization, 2007.

[118] SSM - Swedish Radiation Safety Authority - Scientific Council on Electromagnetic Fields. *Recent Research on EMF and Health Risk. Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2016. Including Thirteen years of electromagnetic field research monitored by SSM's Scientific Council on EMF and health: How has the evidence changed over time?* Stockholm: Swedish Radiation Safety Authority, 2016; SSM Report 2016:15.

Commissie en geraadpleegd deskundigen

Samenstelling Commissie Elektromagnetische velden voor het advies

Hoogspanningslijnen en gezondheid: kanker bij volwassenen

- prof. dr. ir. H. Kromhout, hoogleraar arbeidshygiëne en blootstellingskarakterisering, Universiteit Utrecht (*voorzitter* sinds 1 januari 2017; lid sinds 4 februari 2005)
- prof. dr. A. Aleman, hoogleraar cognitieve neuropsychiatrie, Rijksuniversiteit Groningen (lid sinds 7 januari 2009)
- dr. A. Huss, epidemioloog, Universiteit Utrecht (lid sinds 4 januari 2016)
- prof. dr. S. Le Cessie, statisticus, LUMC, Leiden (lid sinds 28 september 2015)
- dr. ir. R.M.C. Mestrom, universitair docent, Technische Universiteit Eindhoven (lid sinds 1 februari 2017)
- prof. dr. ir. M.M. Paulides, professor en leider van het Electromagnetics for Care&Cure laboratorium, Technische Universiteit Eindhoven (tot 1 januari 2022)
- prof. dr. H.F.J. Savelkoul, hoogleraar celbiologie en immunologie, Wageningen UR (lid sinds 29 december 2008)
- dr. R. van Strien, epidemioloog; medisch milieukundige, GGD, Amsterdam (lid sinds 13 november 2015)
- prof. dr. ir. F. de Vocht, professor of Epidemiology and Public Health, Population Health Sciences, University of Bristol, United Kingdom (lid sinds 30 december 2020)
- dr. G. Kelfkens, fysicus, RIVM, Bilthoven (*structureel geraadpleegd deskundige* vanaf 17 juli 2007)

Waarnemers

- ir. J.P.M. van Assche, Agentschap Telecom, Groningen
- dr. M.J.M. Pruppers, Kennisplatform Elektromagnetische velden, Bilthoven
- drs. ing. T.A.H. van Roermund, EZK, Den Haag
- D. Valk, SZW, Den Haag

Secretarissen

- dr. E. van Rongen, Gezondheidsraad, Den Haag
- dr. H.F.G. van Dijk, Gezondheidsraad, Den Haag

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: kanker bij volwassenen. Den Haag: Gezondheidsraad 2022; publicatienr. 2022/14.

Auteursrecht voorbehouden