

Overzicht van de epidemiologische studies over de gezondheidseffecten van extreem laagfrequente elektrische en magnetische velden (ELF-EMV) gepubliceerd in het vierde kwartaal van 2025.

dr. Els De Waegeneer

Vakgroep Volksgezondheid

Universiteit Gent

## Index

1. Reviews en meta-analyses	3
2. Residentiële blootstelling	3
3. Beroepsmatige blootstelling	4
4. Blootstellingsbeoordeling	5
5. Leukemiestudies	5
6. Referenties	11

## 1. Reviews en meta-analyses

/

## 2. Residentiële blootstelling

### 2.1 Een cohortstudie over de ziekte van Alzheimer in relatie tot residentiële magnetische velden van binnentransformatorstations

Liimatainen, A., Roivainen, P., Juutilainen, J., Höytö, A., Naarala, J. (2025). Bioelektromagnetics, 46:e70031. <https://doi.org/10.1002/bem.70031>

#### Achtergrond en doelstelling

Meta-analyses van epidemiologische studies suggereren dat de ziekte van Alzheimer (AD) mogelijk verband houdt met blootstelling aan extreem laagfrequente (ELF) magnetische velden (MV). Dit is de eerste studie die de associatie onderzoekt tussen AD en blootstelling aan residentiële ELF-MV van binnentransformatorstations, met een onderzoeksontwerp dat tekortkomingen van eerdere studies vermijdt.

#### Methoden

Alle cohortleden hadden in gebouwen met overdekte transformatorstations gewoond. De blootstelling aan MV werd beoordeeld op basis van de locatie van hun appartement ten opzichte van de transformatorkamer. AD-patiënten werden geïdentificeerd via het Drug Purchase Register en het Drug Reimbursement Register. Van de 155.562 personen die in appartementen naast transformatorstations woonden, werden 5652 (111.357 persoonsjaren follow-up) die in appartementen naast transformatorstations woonden als blootgesteld beschouwd, terwijl 115.772 (2.289.526 persoonsjaren follow-up) personen op hogere verdiepingen van hetzelfde gebouw als referenties werden beschouwd. De verbanden tussen MV-blootstelling en AD werden onderzocht met behulp van Cox proportionele hazardmodellen.

#### Resultaten

De hazard ratio (HR) was 1,02 (95% betrouwbaarheidsinterval: 0,85–1,22), wat aangeeft dat het risico op AD niet samenhangt met residentiële ELF-MV die aanwezig zijn in appartementen naast transformatorstations. De verblijfsduur veranderde de HR niet wezenlijk. Het risico op AD was iets maar niet statistisch significant hoger (HR 1,22, 95% betrouwbaarheidsinterval: 0,94–1,57) voor degenen van wie de verblijfplaats vóór de leeftijd van 50 jaar begon.

#### Conclusie

De resultaten ondersteunden geen positieve bevindingen uit eerdere studies die een verband rapporteerden tussen AD en beroepsmatige of residentiële MF-blootstelling.

## 3. Beroepsmatige blootstelling

### 3.1 Beroepsmatige blootstelling aan extreem laagfrequente magnetische velden en risico op borstkanker na de menopauze

Moayed-Nia, S., Almadin, C., Labrèche, F., Goldberg, M.S., Richardson, L., Cardis, E., Ho, V. (2025). Journal of Occupational and Environmental Medicine, 68(2): e163.  
<https://doi.org/0.1097/JOM.0000000000003564>

#### Achtergrond en doelstelling

Borstkanker is de meest gediagnosticeerde kanker ter wereld en de meest voorkomende oorzaak van kankersterfte bij vrouwen. In 2020 werden naar schatting 2,26 miljoen nieuwe gevallen vastgesteld, en bijna 685.000 sterfgevallen werden toegeschreven aan borstkanker. Het doel van deze studie is het schatten van de relatie tussen beroepsmatige blootstelling aan extreem laagfrequente magnetische velden (ELF-MV) en postmenopauzale borstkanker.

#### Methoden

Levenslange werkgeschiedenissen uit een populatiegebaseerde case-control studie (2008 tot 2011) van histologisch bevestigde borstkanker in Montréal, Canada, werden gekoppeld aan een baanblootstellingsmatrix om geometrisch gemiddelde ELF-MV blootstelling/werkdag toe te wijzen. Logistische regressie schatte odds ratio's en 95% betrouwbaarheidsintervallen voor cumulatieve, gemiddelde, maximale en duur van maximale blootstelling aan ELF-MV (per toename van interkwartielbereik), waarbij individueel en ecologische covariabelen worden gecorrigeerd.

#### Resultaten

Gegevens van 663 gevallen en 592 controles toonden geen verband tussen beroepsmatige blootstelling aan ELF-MV en postmenopauzale borstkanker, hoewel blootstellingen beperkt werden tot 0 tot 10 jaar vóór het interview en tot die tijdens de borstontwikkeling, werden er enkele positieve verbanden waargenomen, met name voor ER+/PR+ tumoren.

#### Conclusies

Deze bevindingen suggereren geen verband tussen beroepsmatige blootstelling aan ELF-MV en het risico op borstkanker na de menopauze.

## 4. Blootstellingsbeoordeling

/

## 5. Leukemiestudies

### 5.1 Retrospectieve studie naar de relatie tussen vaderlijke beroepsmatige blootstelling aan agrochemicaliën en leukemie bij kinderen in Michoacán de Ocampo, Mexico

Jiménez-Alcántar, P., Gómez-García, A., López-Meza, J.E., Ochoa-Zarzosa, A., Espino-Barajas L.A., Morales-Manilla, L.M., Pérez-Rivera, E., Zúñiga-Quijano, L.Y., Gutiérrez-Castellanos, S. (2025). PeerJ, 13:e20219. <http://doi.org/10.7717/peerj.20219>

#### Achtergrond en doelstelling

Het constante gebruik van agrochemicaliën op avocadoplantages, vanwege hun vatbaarheid voor plagen en ziekten, brengt degenen die in de buurt van deze boomgaarden werken of wonen voortdurend bloot aan gezondheidsrisico's. Het doel van deze studie was om de relatie te onderzoeken tussen leukemiegevallen bij kinderen in Michoacán, vaderlijke beroepsmatige blootstelling aan agrochemicaliën en residentiële blootstelling.

#### Methoden.

Er werd een retrospectieve observationele cohortstudie uitgevoerd. De auteurs analyseerden 430 gevallen van leukemie bij kinderen jonger dan 18 jaar die tussen 2010 en 2023 werden gediagnosticeerd. Logistische regressiemodellen werden gebruikt om odds ratio's en 95% betrouwbaarheidsintervallen te schatten, aangepast voor sociodemografische factoren. De overleving werd geanalyseerd met behulp van Kaplan-Meier-curves.

#### Resultaten

In totaal had 46,6% van de ouders van kinderen met leukemie in deze studie banen gerelateerd aan het gebruik van agrochemicaliën (bijvoorbeeld dagloners, boeren, boeren). Daarnaast vond 65,4% van de leukemiegevallen plaats in gemeenten die avocado produceren, het belangrijkste vaste gewas in de staat. Wat betreft de analyse van woongebieden werden veel gevallen gevonden in aaneengesloten postcodes en in gebieden die dicht bevolkt zijn door avocadoboomgaarden. Daarnaast waren vaderlijke beroepen gerelateerd aan het gebruik van agrochemicaliën geassocieerd met de avocado-teeltzone, met een OR = 1,764 (95% BI [1,034–3,009], p = 0,0379). Interessant genoeg heeft de

overleving die geassocieerd is met agrochemische beroepen een hogere gemiddelde overleving (139,3 maanden) dan alle andere ouderlijke beroepen ( $p = 0,0148$ ).

## Conclusie

Het epidemiologisch bewijs uit deze studie ondersteunt het verband tussen vaderlijke beroepsmatige blootstelling aan agrochemicaliën en leukemie bij kinderen.

## 5.2 Een wereldwijde systematische evaluatie van de impact van luchtvervuiling op de ontwikkeling van kinderkanker

Khoshakhlagh, A.H., Ghobakhloo, S., Ghantous, A., Carlsen, L. (2025). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 305: e119231. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.119231>

### Achtergrond en doelstelling

Steeds meer bewijs koppelt kinderkanker aan milieuverontreinigende stoffen, vooral luchtverontreinigende stoffen. Deze systematische review onderzoekt de relatie tussen verschillende milieuverontreinigende stoffen en het risico op kinderkanker tijdens de prenatale en pediatrische periode.

### Methoden

Een systematische zoektocht in de databases van Scopus, Web of Science, PubMed, Embase, Medline, Epistemonikos en Cochrane met standaardzoekwoorden identificeerde 41.858 studies, waarvan er uiteindelijk 89 in de uiteindelijke analyse werden opgenomen.

### Resultaten

De trend in studies van 1984 tot 2025 wijst op een groeiende focus op specifieke verontreinigende stoffen, waaronder PM2.5, vluchtige organische verbindingen (VOS) en benzeen. Sommige studies rapporteerden statistisch significante odds ratio's (OR's) die blootstelling aan VOS koppelen aan de ontwikkeling van leukemie en andere kinderkankers. Verkeersbronnen werden geïdentificeerd als de belangrijkste oorzaken van vervuiling die geassocieerd wordt met kinderkankers, gevolgd door industriële en binnenbronnen. Hoewel gegevens over prenatale blootstelling soms schaars en niet doorslaggevend waren, is er meer substantieel bewijs dat blootstelling aan kinderen, vooral in stedelijke en industriële gebieden, verband houdt met de ontwikkeling van kinderkanker; De sterkte van deze associatie varieert echter afhankelijk van het type verontreinigende stof en de kanker. Geografisch gezien zijn de meeste studies uitgevoerd in hoge-inkomenslanden, wat de generaliseerbaarheid van de bevindingen beperkt tot lage- en middeninkomensregio's.

## Conclusie

Deze bevindingen onderstrepen de noodzaak van gerichte volksgezondheidsmaatregelen om de uitstoot van verontreinigende stoffen te beperken en kinderen te beschermen, vooral in stedelijke en industriële gebieden. Toekomstige studies moeten prioriteit geven aan nauwkeurige individuele blootstellingsbeoordelingen en robuuste methodologieën om causale routes te verduidelijken en preventiestrategieën te verbeteren.

## 5.3 Impact van de omgeving op klinische uitkomsten van kinderkanker

Metayer, C. (2025). Current problems in Pediatric and Adolescent Health Care, 55: e101801. <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2025.101801>

### Achtergrond en doelstelling

De incidentiecijfers van verschillende kinderkankers zijn de afgelopen decennia gestegen in hoge- en middeninkomenslanden, en epidemiologische studies wereldwijd hebben de belangrijke rol aangetoond van verschillende omgevingsfactoren die bijdragen aan deze trends, zoals bronnen van luchtvervuiling en pesticiden. Wat minder bekend is, is of deze chemicaliën ook klinische uitkomsten beïnvloeden bij kinderkankerpatiënten en -overlevenden, via biologische routes die DNA-schade, epigenetische veranderingen, oxidatieve stress, pro-inflammatoire en immuunresponsen betreffen die mogelijk opereren over het hele kankercontinuüm van etiologie, behandelingsrespons, overleving en overleving. Ondanks de algehele verbetering in genezingspercentages voor kanker, ervaren kinderen van kleur en achtergestelde achtergronden nog steeds een slechtere prognose dan hun blanke en welgestelde tegenhangers. Hoewel sociale determinanten deze observaties grotendeels verklaren, is het onafhankelijke effect van chemische blootstelling niet goed gekarakteriseerd.

### Methoden

Op basis van volwassen studies presenteren de auteurs opkomend bewijs uit epidemiologische kinderkankerstudies over de impact van pre- en postnatale blootstelling aan alomtegenwoordige chemicaliën zoals tabaksrook, verkeers- en industrieerelateerde luchtvervuiling en pesticiden op de gezondheid van kinderkankerpatiënten en -overlevenden.

### Resultaten en conclusie

De gegevens uit deze review vormen de basis om milieugezondheid te integreren in het behandelplan voor kinderkankerpatiënten en -overlevenden, naast andere bekende therapeutische en aanpasbare prognostische factoren.

## 5.4 Verband tussen blootstelling aan PM2.5 en zwarte koolstof en het risico op leukemie bij kinderen in Teheran: Een case-control studie met kritieke blootstellingstijdvensters

Norzaee, S., Kermani, M. et al. (2025). *Environmental Research*, 287: e123168. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123168>

### Achtergrond en doelstelling

Beperkt onderzoek heeft de relatie tussen luchtverontreinigende stoffen en leukemie bij kinderen tijdens kritieke blootstellingsperioden onderzocht, en tot nu toe is er in Teheran geen dergelijk onderzoek uitgevoerd. Deze studie beoordeelde de relatie tussen blootstelling aan fijne deeltjes en zwarte koolstof en het risico op leukemie bij kinderen, met de nadruk op verschillende postnatale blootstellingsvensters.

### Methoden

Deze case-control studie betrof 428 kinderen van 1–15 jaar die in Teheran met leukemie werden gediagnosticeerd. Jaarlijkse concentraties van PM2.5 en BC werden geschat met behulp van het Gradient Boosting Machine (GBM)-algoritme, waarbij grondmetingen werden geïntegreerd met meteorologische gegevens en satellietgebaseerde Aerosol Optical Depth (AOD). De relatie tussen blootstelling aan verontreinigende stoffen en de kans op het ontwikkelen van leukemie werd onderzocht met behulp van logistische regressiemodellen met 95% betrouwbaarheidsintervallen. Er werden drie blootstellingsperioden beschouwd: de volledige blootstellingsperiode vanaf geboorte tot diagnose, het jaar vóór de diagnose, en de leeftijdscategorie die overeenkomt met wanneer kinderen tussen de twee en vier jaar oud waren. Daarnaast werd een logistisch regressiemodel met kubieke splines gebruikt om niet-lineaire associaties mogelijk te maken.

### Resultaten

De analyse toonde aan dat een stijging van 5,09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in de concentratie PM2,5 (interkwartielbereik (IQR)) geassocieerd was met een verhoogde odds ratio voor leukemie bij kinderen van 1,10 (95% BI: 1,05–1,15). Evenzo was voor elke 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  toename in BC de OR 1,14 (95% BI: 0,99–2,20). De bevindingen toonden aan dat bij elke toename van IQR in de PM2,5-concentratie in het jaar vóór de diagnose, de OR 1,12 was (95% BI: 1,01–1,11) voor kinderleukemie, terwijl voor BC de OR 1,16 was (95% BI: 1,00–2,15). Cubic spline-analyse suggereerde een mogelijk niet-lineaire associatie tussen PM2,5- en BC-concentraties en het risico op kinderleukemie, met een toenemende trend waargenomen bij hogere blootstellingsniveaus.

### Conclusie

Deze resultaten tonen een significant verband aan tussen de incidentie van leukemie bij kinderen en residentiële blootstelling aan PM2.5 of BC.

## 5.5 Prenatale en postnatale blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtvervuiling (TRAP) en kinderkanker: Systematische review en meta-analyse

Oh, J., Shah, S. et al. (2025). *Environmental Research*, 292: e123646.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123646>

### Achtergrond en doelstelling

Eerdere studies suggereren een mogelijk verband tussen verkeersgerelateerde luchtvervuiling (TRAP) en het risico op kinderkanker, hoewel de bevindingen niet consistent blijven. Deze systematische review en meta-analyse was gericht op het evalueren van de relatie tussen blootstelling aan TRAP en het risico op kinderkanker, met de nadruk op prenatale en postnatale blootstelling aan fijne deeltjes (PM<sub>2.5</sub>), stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en benzeen.

### Methoden

Peer-reviewed manuscripten werden geïdentificeerd via PubMed (n = 1.116), Web of Science (n = 578) en Cochrane Library (n = 163) databases tot 21 juni 2024. Vijf beoordelaars selecteerden onafhankelijk titels, samenvattingen en volledige teksten op geschiktheid. Er werd een meta-analyse uitgevoerd, met subgroepanalyses gebaseerd op de blootstellingsperiode (prenataal versus postnataal) en leeftijdsgroep. De resultaten worden gepresenteerd als odds ratio's (OR's) en 95% betrouwbaarheidsintervallen (BI's) per 10 µg/m<sup>3</sup> toename van PM<sub>2,5</sub>- en NO<sub>2</sub>-blootstelling, en per 1 µg/m<sup>3</sup> toename van benzeenblootstelling.

### Resultaten

Van de 1.632 studies die na duplicate verwijdering werden gescreend, voldeden er 25 aan de inclusiecriteria. De bevindingen gaven een verhoogd risico op acute lymfoblastische leukemie (ALL) aan bij kinderen die werden blootgesteld aan PM<sub>2,5</sub> (OR: 1,29, 95% BI: 1,01–1,63; 5 studies; I<sup>2</sup> = 72,1 %) en verhoogde risico's op alle kinderkankers (OR: 1,12, 95% BI: 1,02–1,22; 4 studies; I<sup>2</sup> = 0,0 %) en acute myeloïde leukemie (AML, OR: 1,22, 95% BI: 1,02–1,46; 4 studies; I<sup>2</sup> = 0,0 %) geassocieerd met benzeenblootstelling. Blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> was ook geassocieerd met een hoger risico op retinoblastoom (OR: 1,68, 95% BI: 1,16–2,43; 3 studies; I<sup>2</sup> = 0,0 %). Subgroepanalyses toonden een sterkere associatie aan tussen postnatale blootstelling aan TRAP (PM<sub>2,5</sub> en NO<sub>2</sub>) en leukemierisico vergeleken met prenatale blootstelling.<sup>0</sup>

### Conclusie

Deze studie levert bewijs voor een verband tussen blootstelling aan TRAP en een verhoogd risico op kinderkanker, met name tijdens de postnatale periode. Verder onderzoek is nodig om deze bevindingen te bevestigen.

## 5.6 Het bepalen van pesticidenresiduniveaus bij kinderen met acute leukemie in de regio Cukurova, Turkije

Yilmaz, S., Daglioglu, N., et al. (2025). Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 26 (10), 3699-3704. <https://doi.org/10.31557/APJCP.2025.26.10.3699>

### Achtergrond en doelstelling

Acute lymfoblastische leukemie (ALL) is de meest voorkomende kwaadaardige ziekte bij kinderen. bij kinderen. Kinderen kunnen tijdens de zwangerschap worden blootgesteld aan pesticiden of door ouders die pesticiden naar huis hebben gebracht. Het doel van deze studie was het bestuderen van pesticidenresiduen bij zowel acute leukemiepatiënten als gezonde kinderen.

### Methoden

Negenentwintig patiënten met acute leukemie [22 jongens (76%) en 7 meisjes (24%)] en 33 gezonde kinderen [(19 jongens (57%), 14 meisjes (43%)] werden in het onderzoek opgenomen. We analyseerden acht PCB's (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180 en PCB 202), HCB, drie HCH-isomeren, 4,4'-DDT, 4,4'-DDD en 4,4'-DDDE werden onderzocht in het beenmerg van nieuw gediagnosticeerde acute leukemiepatiënten en perifere bloedmonsters van gezonde kinderen.

### Resultaten

De meest detecteerbare OCP's waren  $\beta$ -HCH,  $\delta$ -HCH en PCB28; triflumizol en thiometon werden vaak als OPP's aangetroffen. Het significante verschil werd statistisch gevonden tussen ALLE gevallen en de controlegroep volgens de residuen van PCB28 ( $74,06 \pm 85,29$ ),  $\beta$ -HCH ( $72,06 \pm 89,07$ ) en  $\delta$ -HCH ( $23,35 \pm 42,93$ ) ( $p=0,001$ ). Daarnaast bestonden OPPs uit triflumizol ( $7,23 \pm 9,17$ ), thiometon ( $3,37 \pm 4,30$ ) en halfenprox ( $1,90 \pm 3,22$ ) die statistisch gezien een duidelijk verschil vertoonden ( $p=0,001$ ).

### Conclusie

Pesticidenresiduen werden significant geschat in beenmerg van leukemiepatiënten moeten als belangrijk worden beschouwd voor de volksgezondheid met het verminderen of voorkomen van pesticidenblootstelling die een rol spelen in de leukemie-etilogie.

## 6. REFERENTIES

Jiménez-Alcántar, P., Gómez-García, A., López-Meza, J.E., Ochoa-Zarzosa, A., Espino-Barajas L.A., Morales-Manilla, L.M., Pérez-Rivera, E., Zúñiga-Quijano, L.Y., Gutiérrez-Castellanos, S. (2025). Retrospective study on the association between paternal occupational exposure to agrochemicals and childhood leukemia in Michoacán de Ocampo, México. *PeerJ*, 13:e20219. <http://doi.org/10.7717/peerj.20219>

Khoshakhlagh, A.H., Ghobakhloo, S., Ghantous, A., Carlsen, L. (2025). A global systematic evaluation of the impact of air pollution on pediatric cancer development. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 305: e119231. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.119231>

Liimatainen, A., Roivainen, P., Juutilainen, J., Höytö, A., Naarala, J. (2025). A Cohort Study on Alzheimer's Disease in Relation to Residential Magnetic Fields From Indoor Transformer Stations. *Bioelectromagnetics*, 46:e70031. <https://doi.org/10.1002/bem.70031>

Metayer, C. (2025). Impact of the environment on childhood cancer clinical outcomes. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, 55: e101801. <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2025.101801>

Moayedi-Nia, S., Almadin, C., Labrèche, F., Goldberg, M.S., Richardson, L., Cardis, E., Ho, V. (2025). Occupational Exposure to Extremely Low-Frequency Magnetic Fields and Postmenopausal Breast Cancer Risk. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 68(2): e163. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000003564>

Norzaee, S., Kermani, M. et al. (2025). Association between exposure to PM2.5 and black carbon and the risk of childhood leukemia in Tehran: A case–control study with critical exposure time windows. *Environmental Research*, 287: e123168. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123168>

Oh, J., Shah, S. et al. (2025). Prenatal and postnatal exposure to traffic-related air pollution (TRAP) and childhood cancer: Systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 292: e123646. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123646>

Yilmaz, S., Daglioglu, N., et al. (2025). The Determining of Pesticide Residue Levels in Children Diagnosed with Acute Leukemia in Cukurova Region, Turkiye. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 26 (10), 3699-3704. <https://doi.org/10.31557/APJCP.2025.26.10.3699>