

Overzicht van de epidemiologische studies naar de gezondheidseffecten van extreem laagfrequente elektrische en magnetische velden (ELF-EMF) gepubliceerd in het tweede kwartaal van 2025.

dr. Els De Waegeneer

Ministerie van Volksgezondheid

Universiteit Gent

Index

1. Reviews en meta-analyses	3
2. Residentiële blootstelling	5
3. Beroepsmatige blootstelling	6
4. Evaluatie van de blootstelling	7
5. Studies naar leukemie	8
6. Referenties	10

1. Reviews en meta-analyses

1.1 Recent onderzoek naar elektromagnetische velden en gezondheidsrisico's, negentiende rapport van de Wetenschappelijke Raad voor Elektromagnetische Velden van SSM

Swedish Radiation Safety Authority (SSM). (2025). www.ssm.se

Inleiding: De Wetenschappelijke Raad voor elektromagnetische velden van de Swedish Radiation Safety Authority (SSM) houdt toezicht op het huidige onderzoek naar mogelijke gezondheidsrisico's in verband met blootstelling aan elektromagnetische velden. De SSM geeft advies over de beoordeling van mogelijke gezondheidsrisico's.

Methoden: De raad is verplicht om jaarlijks een schriftelijk rapport uit te brengen over de huidige onderzoeks- en kennissituatie. Dit is een consensusrapport, wat betekent dat alle leden van de Wetenschappelijke Raad het eens zijn met het volledige rapport. Dit verhoogt de kracht van de gegeven conclusies. Het hoofddoel van het rapport is het onderzoek van het voorgaande jaar op het gebied van elektromagnetische velden (EMV) en gezondheid te behandelen, maar ook om dit in de context van de huidige kennis te plaatsen. Het rapport geeft de autoriteit een overzicht en biedt een belangrijke basis voor risicobeoordeling. Dit rapport geeft een overzicht van studies over elektromagnetische velden (EMV) en gezondheidsrisico's, gepubliceerd van januari 2023 tot en met december 2023. Het rapport is het negentiende in een reeks jaarlijkse wetenschappelijke overzichten, waarin achtereenvolgens relevante nieuwe onderzoeken worden besproken en beoordeeld en deze in de context van de beschikbare informatie worden geplaatst. Het rapport bestrijkt verschillende gebieden van EMV (statische, laagfrequente, intermediaire en radiofrequentievelden) en verschillende soorten studies, zoals biologische, menselijke en epidemiologische studies. Het resultaat zal een zich geleidelijk ontwikkelende gezondheidsrisicobeoordeling van blootstelling aan EMV zijn.

Resultaten: Er zijn geen nieuw vastgestelde oorzakelijke verbanden tussen blootstelling aan EMV en gezondheidsrisico's vastgesteld. De studies die in dit rapport worden gepresenteerd, geven geen antwoord op de vraag of het consequent waargenomen verband tussen blootstelling aan ELF-magnetisch veld (ELF-MF) en leukemie bij kinderen in de epidemiologie causaal is of niet. Nieuw onderzoek naar hersentumoren en het gebruik van mobiele telefoons (RF-EMV) is in lijn met eerder onderzoek dat vooral een afwezigheid van risico suggereert. De schildklier wordt mogelijk sterk blootgesteld tijdens mobiele telefoongesprekken, maar er is tot nu toe weinig onderzoek gedaan naar schildklierkanker. Wat dierstudies betreft, is het moeilijk om algemene conclusies te trekken, behalve dat onder bepaalde omstandigheden sommige effecten van blootstelling aan RF-EMV worden waargenomen bij proefdieren. De waarnemingen van verhoogde oxidatieve stress die in eerdere SSM-rapporten zijn gemeld, worden nog steeds gevonden, sommige zelfs onder de huidige referentieniveaus. Oxidatieve stress is een natuurlijk biologisch proces dat soms betrokken kan zijn bij de pathogenese, maar onder welke omstandigheden oxidatieve stress als gevolg van zwakke blootstelling aan radiogolven de menselijke gezondheid kan beïnvloeden, moet nog worden onderzocht. Het is opmerkelijk dat nieuwe studies opnieuw aantoonen dat de menselijke waarnemingsdrempels lager zijn in hybride blootstellingsomstandigheden dan in DC- of AC-velden alleen.

Conclusie: Ondanks het feit dat er tot op heden geen gezondheidsrisico's in verband met zwakke elektromagnetische velden zijn aangetoond, is de autoriteit van mening dat verder onderzoek belangrijk is, met name met betrekking tot de langetermijneffecten aangezien min of meer de hele bevolking wordt blootgesteld. Een belangrijk punt hier is om de relatie tussen blootstelling aan radiogolven en oxidatieve stress die in dierstudies is waargenomen verder te onderzoeken en om vast te stellen of er een verband bij mensen bestaat en, zo ja, in welke mate deze de menselijke gezondheid kan beïnvloeden. Een ander belangrijk punt is het

verduidelijken van het verband tussen zwakke laagfrequente magnetische velden en leukemie bij kinderen, zoals waargenomen in epidemiologische studies. Draadloze informatietechnologie evolueert voortdurend en er zullen nieuwe frequentiebereiken worden gebruikt. Hoewel er geen vastgesteld mechanisme is om de gezondheid te beïnvloeden door zwakke blootstelling aan radiogolven, is er behoefte aan meer onderzoek naar de nieuwe frequentiedomeinen die voor 5G worden gebruikt. De Autoriteit moedigt onderzoekers aan om epidemiologisch onderzoek op dit gebied te gaan doen. Er zijn momenteel bijvoorbeeld maar heel weinig onderzoeken naar de 26 GHz-band.

1.2 Risicofactoren van neuroblastoom: een systematische review en meta-analyse.

Onyije, F. M., Dolatkhan, R., Olsson, A., Bouaoun, L., Schüz, J. (2025) *Frontiers in Public Health*, 13:1576101.

<https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1576101>

Inleiding: Neuroblastoom (NB) is de meest voorkomende extracraniale tumor bij kinderen. Het synthetiseren en ophelderen van aanpasbare risicofactoren is van fundamenteel belang voor de primaire preventie van NB. Het doel van deze studie is om vanuit literatuuronderzoek de risicofactoren voor NB te synthetiseren.

Methoden: PubMed-, Web of Science- en Embase-databases werden doorzocht met behulp van lijsten met trefwoorden en MeSH-termen met betrekking tot blootstelling en risico op NB. Studies werden opgenomen als het case-control- of cohortstudies waren van kinderen jonger dan 20 jaar bij diagnose en gerapporteerde relatieve risico's (RR's) met 95% betrouwbaarheidsintervallen (CI's). Gepoolde effectgroottes (ES) en 95% BI's voor risicofactoren geassocieerd met NB werden geschat met behulp van modellen met willekeurige effecten.

Resultaten: De auteurs includeerden 50 in aanmerking komende onderzoeken uit Azië, Europa en Noord-Amerika en Oceanië over gevallen van NB gediagnosticeerd tussen 1964 en 2016. Ze observeerden associaties voor beroepsmatige blootstelling van de moeder aan pesticiden tijdens preconceptie/zwangerschap (ES 1.62, CI 1.04-2.54), hoog geboortegewicht [>4.000 g] (ES 1.21, CI 1.02-1.42) en keizersnede (ES 1.14, CI 1.00-1.30) en het risico op NB. Roken door de ouders vertoonde een zwakke associatie, terwijl borstvoeding ≥ 6 maanden (ES 0,50, CI 0,30-0,84) omgekeerd evenredig was met NB. Geboortekenmerken zoals een laag geboortegewicht (<2.500 g), kleine en grote zwangerschapsduur, draagtijd <37 weken en draagtijd >40 weken, en geassisteerde voortplantingstechnologie waren niet geassocieerd met NB. Evenzo werden er geen associaties gesuggereerd voor ouderlijke leeftijd, zwangerschapsdiabetes en pre-eclampsie. Alcoholgebruik door de moeder tijdens de preconceptie/zwangerschap, de inname van vitamines en foliumzuur door de moeder tijdens de zwangerschap, de beroepsmatige blootstelling van de vader aan extreem laagfrequente magnetische velden (ELF-MF) en de blootstelling van de moeder aan röntgenstralen tijdens de zwangerschap waren ook niet geassocieerd met het risico op NB. De beroepsmatige blootstelling van de vader en het kind na de geboorte aan pesticiden waren ook niet geassocieerd met NB.

Discussie: Deze systematische review en meta-analyse suggereren dat beroepsmatige blootstelling van de moeder aan pesticiden tijdens preconceptie/zwangerschap, hoog geboortegewicht, keizersnede en borstvoeding (gunstig) geassocieerd waren met het risico op NB, maar alle associaties waren vrij bescheiden in sterkte. Het synthetiseren van deze risicofactoren is nodig om te bepalen of er mogelijkheden zijn voor primaire preventie van NB.

Beperkingen: Deze systematische review en meta-analyse werd beperkt door het aantal in aanmerking komende artikelen, dat voor de meeste risicofactoren klein was, daarom moeten de resultaten met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Andere omvatten mogelijke informatie- en selectievooroordelen die inherent zijn aan de onderzoeken, beoordelingsmethoden voor ruwe blootstelling en verkeerde classificatie van blootstelling, hoogstwaarschijnlijk niet-differentieel, kunnen ook de resultaten hebben beïnvloed. De meeste onderzoeken werden uitgevoerd in Europa en Noord-Amerika.

2. Residentiële blootstelling

2.1 Slaap- en opwindingshubs en ferromagnetische ultrafijnstof en beweging van nanodeeltjes onder elektromagnetische velden: neurodegeneratie, slaapstoornissen, orexinerge neuronen en luchtvervuiling bij jonge stedelingen.

Calderón-Garcidueñas, L., Cejudo-Ruiz, F.R., Stommel, E.W., González-Maciel, A. et al. (2025) *Giftige stoffen*, 13, 284. <https://doi.org/10.3390/toxics13040284>

Inleiding: Luchtvervuiling speelt een sleutelrol bij slaapstoornissen en neurodegeneratie. De ziekte van Alzheimer (AD), de ziekte van Parkinson (PD) en/of transactieve respons DNA-bindend eiwit TDP-43 neuropathologie zijn gedocumenteerd bij forensische autopsies bij kinderen en jongvolwassenen in het grootstedelijk gebied van Mexico-Stad (MMC), samen met slaapstoornissen, cognitieve stoornissen en MRI-hersensatrofie bij ogenschijnlijk gezonde jonge populaties. Ultrafijnstof (UFPM) en industriële nanodeeltjes (NP's) bereiken de hersenen van stedelingen via nasale/olfactorische, long-, maagdarmkanaal- en placentabarrières.

Methoden: De auteurs documenteerden Fe UFPM/NP's in neurovasculaire eenheden, evenals laterale hypothalamische kern orexinerge neuronen, thalamus-, medullaire, pontijnse en mesencefalische reticulaire vorming, en in pinealocyten. Ze kwantificeerden ferromagnetische materialen in slaap- en opwindingshubs en onderzochten hun bewegingsgedrag ten opzichte van lage magnetische velden in MMC-hersenausopsiemonsters van negen kinderen en 25 volwassenen met AD-, PD- en TDP-43-neuropathologie.

Resultaten: Verzaagde isotherme remanente magnetisatiecurven bij 50-300 mT waren geassocieerd met UFPM/NP-accumulatie in slaap/wakkere hubs en hun beweging geassocieerd met blootstelling aan 30-50 μ T (DC magnetische velden). Hersenmonsters die werden blootgesteld aan antropogene PM-vervuiling bleken gevoelig te zijn voor lage magnetische velden, met bewegingsgedrag dat mogelijk verband hield met de vroege ontwikkeling en progressie van fatale neurodegeneratieve ziekten en slaapstoornissen. Single-domain magnetische UFPM/NP's in het orexinesysteem, evenals opwinding, slaap en autonome regio's, zijn de sleutel tot neurodegeneratie, gedrags- en cognitieve stoornissen en slaapstoornissen. Het is noodzakelijk om kinderen met een hoger risico te identificeren en de UFPM- en NP-emissies en blootstelling aan magnetische velden in het milieu te monitoren.

Conclusie: Alomtegenwoordige ferromagnetische deeltjes en blootstelling aan magnetische velden vormen een bedreiging voor de wereldwijde gezondheid van de hersenen.

Beperkingen: Voor deze studie gelden drie belangrijke beperkingen. Forensische autopsie studies zijn gericht op MMC-bewoners die decennialang zijn blootgesteld aan complexe mengsels van luchtverontreinigende stoffen, plus mogelijke neurotoxische stoffen uit water, bodem, voedsel en industriële en residentiële vervuiling. Daarnaast was het cohort bijna volledig mannelijk. Ten slotte, hoewel de auteurs toegang hadden tot de volledige autopsie, ontbrak het hen aan klinische geschiedenissen en beroepsgegevens.

3. Beroepsmatige blootstelling

3.1 Effect van beroepsmatige blootstelling aan laagfrequente elektromagnetische velden op de ontwikkeling van staar.

Validad, M.H., Mahjoob, M., Pishjo, M. et al. (2025). *Tijdschrift voor oogheelkundig en gezichtsonderzoek*, 20, 1-6. <https://doi.org/10.18502/jovr.v20.12281>

Inleiding: Staar is wereldwijd de tweede belangrijkste oorzaak van slechtziendheid. Deze studie had tot doel de impact van beroepsmatige blootstelling aan laagfrequente elektromagnetische velden op de ontwikkeling van cataract te onderzoeken.

Methoden: Honderd medewerkers van Zahedan Electricity Company namen deel aan dit onderzoek. Ze werden toegewezen aan vier groepen op basis van hun blootstellingsniveau: regulier, operationeel, operatorpersoneel en niet-blootstelling. Op basis van LOCS III-classificatie werd het risico op het ontwikkelen van verschillende soorten cataract (d.w.z. nucleair, posterieure subcapsulair en corticaal) geëvalueerd voor alle deelnemers.

Resultaten: De frequentie van cataract was 62,2% in de blootstellingsgroep (die drie subgroepen omvat: het reguliere, operationele en operatorpersoneel) en 53,8% in de niet-blootstellingsgroep. Er was een significant verschil tussen de onderzoeksgroepen in termen van nucleaire opaciteitsclassificatie ($P = 0,003$). De correlatie tussen nucleaire en posterieure subcapsulaire cataractclassificatie en de duur van de werkervaring in de blootstellingsgroep was statistisch significant ($P < 0,018$).

Conclusie: De bevindingen van deze studie geven aan dat blootstelling aan laagfrequente elektromagnetische velden zoals hoogspanningslijnen, elektriciteitscentrales en stroomdistributieposten een risicofactor kan zijn voor de ontwikkeling van staar, met name nucleaire staar.

Beperkingen: De huidige studie had verschillende beperkingen. Een van deze beperkingen was het gebrek aan beeldvormingstechnieken om de lensdichtheid te beoordelen. Volgens eerdere studies correleren deze technieken echter goed met LOCS III, wat de resultaten van deze studie bevestigt. Een andere beperking van deze studie was de kleine steekproefomvang. Hoewel de steekproefomvang van deze studie groter was dan in eerdere studies, wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen met een grotere steekproefomvang en met andere instrumenten voor het beoordelen van de lensopaciteit.

4. Beoordeling van de blootstelling

/

5. Studies naar leukemie

5.1 Residentiële blootstelling aan magnetische velden als gevolg van hoogspanningslijnen en het risico op leukemie bij kinderen op het vasteland van Frankrijk – GEOCAP case-control study, 2002-2010.

Mancini, M., Hémon, D., Faure, L., Clavel, J., Goujon, S. (2025). *Environmental Research*, 278:121638.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121638>

Inleiding: Blootstelling in het milieu aan extreem laagfrequente magnetische velden (ELF-MF) wordt ervan verdacht een risicofactor te zijn voor acute leukemie (AL) bij kinderen en geclassificeerd als mogelijk kankerverwekkend. De resultaten van recente epidemiologische studies blijven echter heterogeen. De huidige studie had tot doel het AL-risico te evalueren bij kinderen die zijn blootgesteld aan ELF-MF door in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen (HVOL) in Frankrijk te wonen.

Methoden: De auteurs includeerden 4117 AL-gevallen onder de leeftijd van 15 jaar die in 2002-2010 werden gediagnosticeerd en 44.838 hedendaagse controles die representatief zijn voor de Franse pediatrische populatie, afkomstig uit de nationale registergebaseerde GEOCAP-studie. De afstand tussen het gegeocodeerde woonadres en de dichtstbijzijnde 63-400 kV HVOL en de dichtstbijzijnde 225-400 kV HVOL werd geëvalueerd. De blootstelling aan ELF-MF werd ook berekend op de gegeocodeerde adressen, rekening houdend met de kenmerken van de naburige HVOL's. Logistische regressiemodellen gecorrigeerd voor leeftijd werden gebruikt om odds-ratio's (OR) en 95 % betrouwbaarheidsintervallen te schatten. Er werden gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om rekening te houden met geocoderingsfouten en mogelijke confounders.

Resultaten: 0,7 % van de controles leefde binnen 50 m van HVOL en 0,3 % werd blootgesteld aan meer dan 0,3 μ T. Wonen binnen 50 m van HVOL was geassocieerd met een verhoogd risico op AL voor kinderen jonger dan 5 jaar (OR = 1,6 (1,0-2,7)), een associatie die meer uitgesproken was wanneer we ons beperkten tot de gegeocodeerde adressen van hoge kwaliteit (OR = 3,2 (1,3-7,9)). ELF-MF was niet geassocieerd met AL-risico ($\geq 0,3$ μ T, OR = 0,6 (0,3-1,3)). De resultaten bleven stabiel in alle gevoeligheidsanalyses.

Conclusies: Deze studie levert nieuw bewijs dat ELF-MF waarschijnlijk niet geassocieerd is met AL-risico en geen verband kan verklaren met afstand tot HVOL.

Beperkingen: De auteurs hebben de afstand tot HVOL en residentiële ELF-MF-blootstelling op het moment van diagnose beoordeeld, terwijl prenatale en neonatale perioden ook relevante tijdvensters kunnen zijn. De auteurs weten niet wat het beste de blootstelling van kinderen vertegenwoordigt en wat biologisch relevanter zou zijn als ELF-MF in verband zou worden gebracht met AL-risico. De meer uitgesproken associatie met de afstand tot de dichtstbijzijnde HVOL die werd waargenomen bij kinderen jonger dan 5 jaar zou inderdaad een rol van eerdere blootstellingen kunnen suggereren. Dit zou ook kunnen duiden op een leeftijdsgerelateerde bias, maar alle modellen die ze hebben geïmplementeerd, zijn systematisch aangepast voor leeftijdscategorieën, waardoor deze bias werd beperkt. Blootstelling aan ELF-MF was echter niet geassocieerd met AL bij de jongste kinderen.

Het beperkte aantal individuele variabelen is ook een zwak punt van deze studie. Met name geslacht, etniciteit en sociaaleconomische categorie waren niet beschikbaar. Het is echter onwaarschijnlijk dat

geslacht geassocieerd is met afstand tot HVOL's en is niet sterk geassocieerd met het risico op LA (geslachtsverhouding: 1,2); etniciteit is een onduidelijke variabele die niet wordt verzameld in de Franse volkstelling, en de relevantie ervan als versturende factor voor de nabijheid van HVOL's is moeilijk te voorspellen; De afzonderlijke sociaaleconomische categorie werd benaderd door de gebiedsgebonden deprivatie-index Fdep en correctie voor deze index bracht geen wijziging in de resultaten.

6. REFERENTIES

- Calderón-Garcidueñas, L., Cejudo-Ruiz, F.R., Stommel, E.W., González-Maciel, A. et al. (2025) Sleep and Arousal Hubs and Ferromagnetic Ultrafine Particulate Matter and Nanoparticle Motion Under Electromagnetic Fields: Neurodegeneration, Sleep Disorders, Orexinergic Neurons, and Air Pollution in Young Urbanites. *Toxics*, 13, 284. <https://doi.org/10.3390/toxics13040284>
- Mancini, M., Hémon, D., Faure, L., Clavel, J., Goujon, S. (2025). Residential exposure to magnetic field due to high-voltage power lines and childhood leukemia risk in mainland France – GEOCAP case-control study, 2002–2010. *Environmental Research*, 278:121638. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121638>
- Onyije, F. M., Dolatkah, R., Olsson, A., Bouaoun, L., Schüz, J. (2025) Risk factors of neuroblastoma: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 13:1576101. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1576101>
- Swedish Radiation Safety Authority (SSM). (2025). Recent Research on electromagnetic fields and Health Risk, nineteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. www.ssm.se
- Validad, M.H., Mahjoob, M., Pishjo, M. et al. (2025). Effect of Occupational Exposure to Low-frequency Electromagnetic Fields on Cataract Development. *Journal of Ophthalmic and Vision Research*, 20, 1–6. <https://doi.org/10.18502/jovr.v20.12281>