Vlaanderen
is omgeving

De invloed van magnetische velden afkomstig van elektriciteitstransport op fauna en flora

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

De invloed van magnetische velden afkomstig van elektriciteitstransport op fauna en flora
Dit rapport heeft als doel om wetenschappelijke studies te inventariseren en te interpreteren, die gaan over de mogelijke effecten van extreem lage frequentie (ELF) magnetische velden (MF) op fauna en flora. De magnetische velden zijn afkomstig van het transport en de distributie van elektriciteit. Hiervoor werden in detail meer dan 250 studies over gewervelde dieren, planten en insecten gereviewd op studiekwaliteit en inhoud. De globale conclusie is dat verschillende species in staat zijn om magnetische velden en veranderingen van magnetische velden aan te voelen (magnetoreceptie). Er is echter voor de meeste van de bestudeerde eigenschappen geen consensus te vinden of antropogene straling met een frequentie van 50 Hz (of 60 Hz), zoals deze afkomstig van hoogspanningslijnen, al dan niet gevolgen heeft voor de gezondheid. Het verder opvolgen van onderzoek is daarom aanbevolen.

Dit rapport bevat de mening van externe auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Peter Cabus
Departement Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
www.omgevingvlaanderen.be

Een uitgave van het Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving
vpo.omgeving@vlaanderen.be

Auteurs
Joos Latré – HOGENT-UGent Proefhoeve Bottelare
Sofie Landschoot – HOGENT-UGent Proefhoeve Bottelare
Valérie Claeys – HOGENT-UGent Proefhoeve Bottelare
Geert Haesaert – HOGENT-UGent Proefhoeve Bottelare

Publicatiedatum
09/05/2023

Depotnummer
D/2023/3241/168

Wijze van citeren
Latré J., Landschoot S., Claeys V. & Haesaert, G. (2023). *De invloed van magnetische velden afkomstig van elektriciteitstransport op fauna en flora. Studie in opdracht van het Departement Omgeving.*

PARTNERS

INHOUDSTAFEL

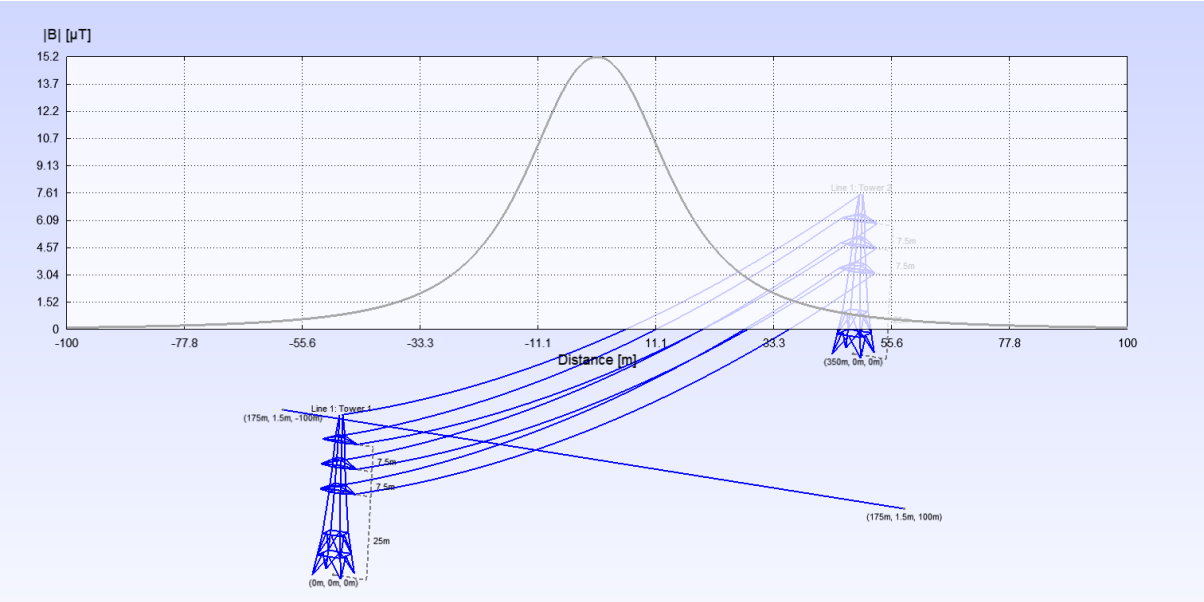
1 Doel 4
2 Inleiding 4
3 Materiaal en methoden 5
3.1 Literatuuronderzoek 5
3.2 Selectie van de studies 5
3.3 Beoordeling van de kwaliteit van de studies 5
4 Resultaten literatuur screening 6
4.1 Hoe interageren species met elektromagnetische velden (EMF)? 6
4.1.1 Magnetiet gebaseerde mechanisme 7
4.1.2 Radicaalpaarreceptor 7
4.1.3 Inductiemechanisme 8
4.2 Effect op vertebraten 9
4.2.1 Studies met artificiële bestraling 9
4.2.2 Studies onder hoogspanningslijn 23
4.3 Effect op planten 29
4.3.1 Studies met artificiële bestraling 29
4.3.2 Studies onder hoogspanningslijn 30
4.4 Effect op insecten 31
4.4.1 Studies met artificiële bestraling 32
4.4.2 Studies onder hoogspanningslijn 35
5 Topic modelling 37
6 Besluit 40
6.1 Kwaliteit van de studies 40
6.2 Aanbevelingen 40
6.2.1 Vertebraten 40
6.2.2 Planten 41
6.2.3 Insecten 41
6.3 Effect van ELF-EMF op fauna en flora 41
Referenties 42
Appendix 50

1 DOEL

Het inventariseren en interpreteren van wetenschappelijke studies naar mogelijke effecten van extreem lage frequentie (ELF) magnetische velden (MF) afkomstig van het transport en de distributie van elektriciteit op fauna en flora.

2 INLEIDING

Naast het natuurlijke elektromagnetisch veld van de aarde zijn er verschillende vormen antropogene of kunstmatig opgewekte elektromagnetische velden door vb. hoogspanningsinstallaties. Hoogspanningsinstallaties creëren elektromagnetische velden, een combinatie van elektrische en magnetische golven, met een extreem lage frequentie. Elektrische velden (Volt per meter, V/m) ontstaan als er spanning aanwezig is en magnetische velden (Ampère per m, A/m of Tesla, T) ontstaan als er stroom door de kabels loopt.
De hoogspanningsinstallaties in Europa produceren een elektrisch veld met een frequentie van 50 Hz. Het spanningsniveau van de lijnen van Elia varieert tussen de 30 en 380 kV. Dit veld verzwakt snel naarmate men zich van de lijn verwijdert. Op een afstand van 20 meter is het veld ongeveer tien keer zwakker.
Het magnetisch veld dat een hoogspanningslijn genereert is afhankelijk van de sterkte van de stroom die erdoor vloeit, de afstand tot de geleiders en de configuratie van masten en geleiders. De waarde van het magnetisch veld neemt snel af naarmate de afstand tot de geleiders toeneemt (**Figuur 1**).



Figuur 1: Simulatievoorbeeld ter illustratie van de afname van het magnetisch veld B[µT] onder een hoogspanningslijn, berekend door dOMG (Departement Omgeving) met behulp van het rekenmodel van de Université de Liège (Geuzaine and Remacle 2009; Geuzaine et al. 2012).

Eenheden en prefixen

V	Volt	Elektrisch potentiaal/spanning
A	Ampère	Stroomsterkte
Hz	Hertz	Frequentie
T	Tesla	Magnetisch inductie/veld

k	kilo	10^3
m	milli	10^{-3}
µ	micro	10^{-6}

3 MATERIAAL EN METHODEN

3.1 LITERATUURONDERZOEK

Vooreerst werden de voorgestelde studies (Burda et al. 2009; Levitt et al. 2022; Vanbergen et al. 2019; Janać et al. 2012; Shepherd et al. 2018; Karwinkel et al. 2022; Hore et al. 2019) bestudeerd en verder werden de databanken EMF-portal, Web of Science en Scopus doorzocht met de *query (“power line*” OR power-line* OR powerline* OR "transmission line*" OR “high voltage line*” OR “transmission system*” OR “transmission- line*” or "electric field*" OR "electromagnetic field*“ OR “magnetic field*”) AND (biodiverse* OR plant* OR crop* OR vegetation* OR forest OR agriculture* OR maize* OR wheat OR potato OR bird* OR animal* OR cow* OR fauna OR flora OR plant*)* om zo extra wetenschappelijke bronnen te vinden. Bemerk dat deze query in de velden *Plant Sciences, Ecology, Agronomy, Horticulture, Forestry, Agricultural engineering, Water resources, Environmental studies* meer dan 2500 studies opleverde.

3.2 SELECTIE VAN DE STUDIES

Om meer inzicht te krijgen in de structuur en inhoud van de artikels werd topic modelling toegepast (Sectie 5. Topic Modelling). Op basis van een screening van titels en de uitkomst van het topic modelling algoritme bleek al snel dat het overgrote deel van de gevonden publicaties niet relevant was. Er waren vb. heel wat studies die de fysieke effecten van hoogspanningslijnen, dus de invloed van de mast en de kabels zelf, op vb. vogels bestudeerden. Andere studies maakten dan weer gebruik van magnetische pulsen in celculturen of om vruchtensap te bewaren. Deze laatste groepen van studies zijn uiteraard niet relevant voor deze opdracht.

De meest relevante studies (i.e. studies uitgevoerd onder hoogspanningslijnen, labo-studies met een magnetisch veld met een frequentie van 50/60 Hz) werden in detail nagelezen. Er werd getracht om alle studies m.b.t. wilde vogels, bestuivers, landbouwhuisdieren en planten op te nemen in dit literatuuronderzoek. Echter heel wat mogelijks relevante parameters voor landbouwhuisdieren (e.g. effect op voortplanting of tumoren) worden bestudeerd op ratten en muizen, daarom werden deze ook opgenomen in dit onderzoek.

3.3 BEOORDELING VAN DE KWALITEIT VAN DE STUDIES

Van de relevante studies, i.e. studies die de invloed van elektromagnetische velden met een frequentie 50-60 Hz op dieren en planten bestuderen, werden verschillende parameters genoteerd (Appendix). Deze parameters zijn: info omtrent de publicatie (auteur, jaar, link, tijdschrift), of het experiment uitgevoerd werd in een labo met artificiële blootstelling of onder een hoogspanningslijn in het veld, de frequentie (Hz), de sterkte van het magnetisch en elektrisch veld, de duur van blootstelling en de eigenschap die bestudeerd werd vb. effect op motoriek, oriëntatie, voortplanting, ontwikkeling, etc.
Verder werd de kwaliteit van de studies beoordeeld volgens volgende criteria:

1. Identieke experimentele omstandigheden in onderzochte groepen
2. Geldige, betrouwbare en gevoelige methoden om blootstelling te meten
3. Geldige, betrouwbare en gevoelige methoden om uitkomst te beoordelen (e.g. correcte statistiek)
4. Herhaalexperimenten

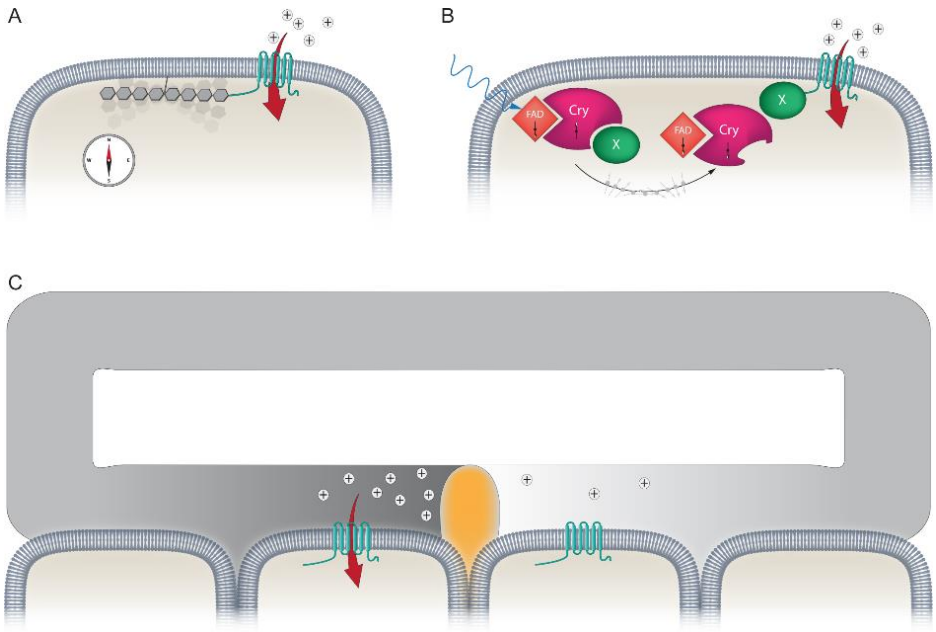
Uit deze evaluatie bleek dat voor criteria 1 en 3 de studies goed tot zeer goed scoorden, wat erop wijst dat de resultaten van de studies betrouwbaar zijn. Voor criterium 2, de methodes om blootstelling te meten, werd voor sommige studies de categorie “slecht” toegekend. Dit waren studies waarbij effecten van het EMF afkomstig van hoogspanningslijnen op fauna en flora bestudeerd werden, maar waarbij vb. enkel de afstand tot de lijn wordt gegeven en niet de effectieve blootstelling. Hoewel de studies steeds werden opgezet in herhalingen werden deze vaak niet onafhankelijk opnieuw herhaald. Echter gezien de conclusies in dit rapport gebaseerd zijn op verschillende onafhankelijk publicaties is het feit dat voor sommige studies geen herhaalexperimenten werden uitgevoerd geen probleem.

Hieronder worden de meeste studies die werden weerhouden meer in detail besproken. De studies die het effect van het ELF-EMF op de kieming van plantenzaden bestuderen werden niet in detail besproken omdat de onderzoekers daar allemaal op één lijn zitten.

4 RESULTATEN LITERATUUR SCREENING

4.1 HOE INTERAGEREN SPECIES MET ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN (EMF)?

Momenteel zijn er **drie** mogelijke mechanismen die aan de basis liggen voor magnetoreceptie nl. het magnetiet gebaseerde mechanisme, de radicaalpaarreceptor en het inductiemechanisme (Hore et al. 2016; Nordmann et al. 2017; Levitt et al. 2022) (**Figuur 2**). Sommige species maken gebruiken van meerdere mechanismen tegelijk.



Figuur 2: Drie mogelijke mechanismen voor magnetoreceptie. (A) **Magnetiet gebaseerde mechanisme.** (B) **Radicaalpaarmechanisme**. (C) **Inductiemechanisme**. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2003234.g002.

4.1.1 Magnetiet gebaseerde mechanisme

Magnetiet is een half metallische ferromagneet. Magnetietkristallen (weergegeven als een ketting in **Figuur 2A**) zijn via een cytoskeletlinker aan het plasmamembraan bevestigd. Deze lineaire opstelling van kristallen met een enkel domein probeert zich te aligneren met het geomagnetische veld van de aarde (zoals een kompasnaald), en oefent daardoor een koppelkracht uit op een mechanisch gevoelig kanaal (weergegeven in groenblauw in **Figuur 2A**). Dit activeert tijdelijk het kanaal dat leidt tot kationinstroom (rode pijl in **Figuur 2A**) en membraandepolarisatie.

Bij vertebraten wordt magnetiet vooral teruggevonden ter hoogte van het ethmoïd (neusbijholten) (Wiltschko & Wiltschko, 2005). Ferromagnetisch materiaal werd reeds bij vele organismen teruggevonden (via de SQUID magnetometer, superconducting quantum interference device SQUID). Het meest bekende voorbeeld hiervan is de magnetotactische bacterie. Deze gebruikt intracellulair magnetiet, gerangschikt als kettingen voor magnetische oriëntatie (Uebe & Schuler, 2016).

Dit mechanisme werd beschreven bij onderstaande species (Levitt et al. 2022):

- Vogels
- Mieren
- Monarch vlinders
- Bijen wespen
- Amfibieën
- Vleermuizen
- Zoogdieren
- Planten

4.1.2 Radicaalpaarreceptor

Dit mechanisme berust op de vorming van radicaalparen, i.e. de vorming van een paar moleculen met ongepaarde elektronen. Dit zijn zeer reactieve moleculen en hun aanwezigheid leidt snel tot een verdere reactie met vorming van radicaalpaarproducten. Onder bepaalde omstandigheden kan het magnetisch veld de snelheid of uitkomsten van deze reacties beïnvloeden. Voor magnetoreceptie is het cruciaal dat het radicaalpaar wordt gevormd in een spin geassocieerde singlet of triplet staat.

Blauw licht (weergegeven met een blauwe pijl in **Figuur 2B**) induceert de vorming van langlevende radicaalparen tussen cryptochroom en de cofactor flavine-adenine-dinucleotide (FAD). De spintoestand van deze elektronen verandert tussen een antiparallelle (↑↓) of parallelle (↓↓) toestand, afhankelijk van de lokale magnetische omgeving. Dit beïnvloedt op zijn beurt de biochemische of structurele eigenschappen van het cryptochroom, wat resulteert in de activering van een onbekende signaalmolecuul (X) dat de permeabiliteit van ionenkanalen moduleert.

Voor dit type van magnetoreceptie is ook een intacte opticus en retina (netvlies) nodig. Een fotopigment dat aan deze eigenschappen zou voldoen is het bovengenoemde cryptochroom dat bij vele dieren in de retina aanwezig is en een rol speelt in het circadiaans ritme en blauw licht absorbeert. Theoretische en experimentele studies over de modulatie van radicaalpaarreacties door het magnetisch veld van minder dan 100 µT tonen aan dat het radicaalpaarmechanisme gevoelig genoeg is om een primair sensorisch systeem te vormen voor het geomagnetisch veld. Cryptochroom eiwitten komen ook voor bij planten. Cryptochromen absorberen ultraviolet licht, dichtbij UV-licht en/of een deel van het zichtbare spectrum van blauw licht. Ze wijzigen de groei in de plant volgens de verlichting en de fotoperiode.

Dit mechanisme werd beschreven bij onderstaande species (Hore et al. 2016; Levitt et al. 2022):

- Vogels
- Knaagdieren
- Bijen/insecten
- Planten

4.1.3 Inductiemechanisme

Het inductiemechanisme is gebaseerd op de wet van Faraday. Een organisme detecteert een zwak elektrisch veld gegenereerd door zijn beweging door een magnetisch veld. Hierbij worden magnetische prikkels omgezet in elektrische informatie door een "hulpstructuur", afgebeeld als een halfrond kanaal van een gewervelde, gevuld met kationrijke endolymfe, en sensorische cellen aan weerszijden van de cupula (haarcellen evenwichtsorgaan, getoond in oranje) (**Figuur 2C**). Als het dier zo beweegt dat rotatie plaatsvindt rond een as in het vlak van een halfcirkelvormig kanaal, zal er geen verplaatsing van de endolymfe zijn, maar kan er elektromagnetische inductie optreden. Afhankelijk van de intensiteit en oriëntatie van het externe magnetische veld, zal dit een elektromotorische kracht opwekken in de geleidende endolymfe. Dit resulteert in de scheiding van ladingen binnen het circuit, waardoor kationinstroom wordt veroorzaakt door zeer gevoelige spanningsafhankelijke ionenkanalen (weergegeven in groenblauw). Dit principe, gekend als elektromagnetische inductie, wordt gebruikt om magnetoreceptie bij kraakbeenvissen (haaien en roggen) uit te leggen. Bij kraakbeenvissen functioneren de ampullae van Lorenzini als geleidende staaf en het omgevende zoute water als stilstaand sterk geleidend medium.

Dit mechanisme werd beschreven bij onderstaand species (Levitt et al. 2022):

- Kraakbeenvissen

Conclusie

Er zijn **drie basismechanismen** beschreven waarmee species in staat zouden zijn om **magnetische velden** te **detecteren**. Potentieel kan een verstoring van het aardmagnetisch veld, door antropogene straling van vb. hoogspanningslijnen, dus een **invloed** hebben op de **biologie** van verschillende species. Of de invloed van antropogene straling al dan niet schadelijk is hangt uiteraard af van de mate waarin deze species gebruik maken van magnetoreceptie en de mate waarin een fysiologische respons (vb. verandering in motoriek, in hormoontoestand) wordt uitgelokt. Dit zal in onderstaande secties meer in detail bestudeerd worden.

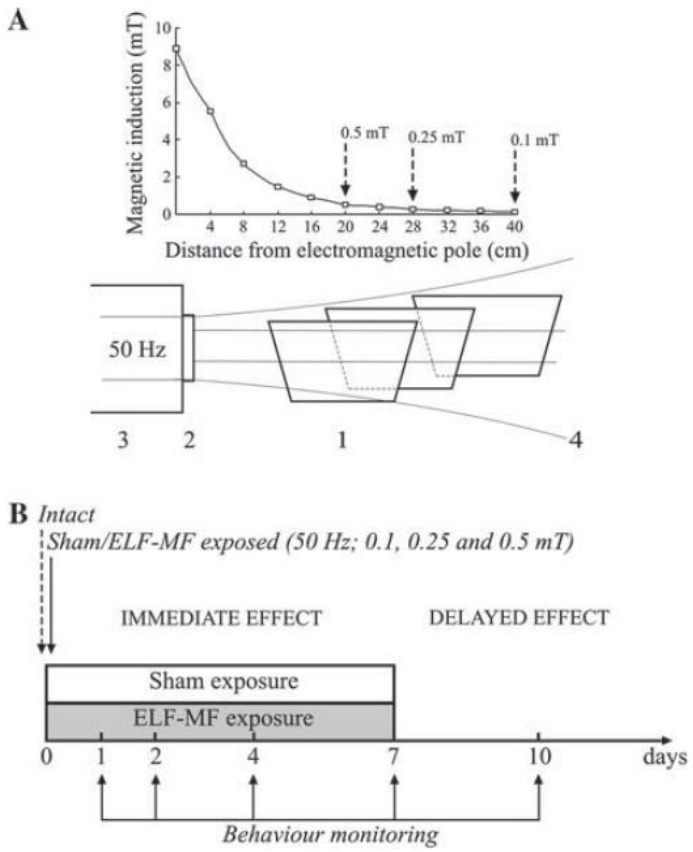
4.2 EFFECT OP VERTEBRATEN

4.2.1 Studies met artificiële bestraling

Hieronder wordt een overzicht gegeven van studies waarbij vertebraten in labo-omstandigheden werden blootgesteld aan een magnetisch veld/elektrisch veld met een frequentie van 50-60 Hz. Bij elk artikel wordt telkens eerst het doel van het onderzoek beschreven, vervolgens de methodiek (e.g. labo-opstelling) en ten slotte het resultaat van het onderzoek.

4.2.1.1 Invloed op gedrag bij knaagdieren

Janać et al. (2012) bestudeerden het effect van ELF-MF (50 Hz; 0.1, 0.25 en 0.5 mT) op de motoriek Mongoolse renmuizen (*Meriones unguiculatus*).
De renmuizen werden in kooien (3 - 4 per kooi) geplaatst en het effect van ELF-MF werd gedurende 7 dagen per behandeling bestudeerd. De opstelling wordt gegeven in **Figuur 3**.



Figuur 3: (A) Het systeem voor blootstelling aan het magnetische veld, (1) Dierenkooien en verschillende blootstellingsniveaus (0.5, 0.25 en 0.1 mT), (2) magnetische polen van magnetisch ferriet kern, (3) spoelen en (4) magnetische krachtlijnen. (B) experimentele werkwijze (Janać et al. 2012).

Het effect van de ELF-MF blootstelling was afhankelijk van de leeftijd van de muizen (3 of 10 maand). Bij 3 maanden oude renmuizen werd de motoriek (bv. afgelegde afstand, snelheid) gestimuleerd, het effect was het duidelijkste bij 0.5 mT. Bij 10 maanden oude renmuizen werd vastgesteld dat blootstelling aan een magnetisch veld van 0.1 mT zorgde voor een daling in de motoriek terwijl blootstelling aan een magnetisch veld van 0.25 mT zorgde voor een lichte stijging. Blootstelling aan een magnetisch veld van 0.5 mT resulteerde in een uitgesproken stijging. Dit gedrag zou verklaard worden door stimulatie van neurotransmitters.

Conclusie: Deze studie toonde aan dat het effect op de motoriek afhankelijk is van de leeftijd en van het stralingsniveau. In welke mate een stijging of een daling van de motoriek schadelijk is voor de overleving is niet duidelijk. Er werd klein aantal muizen onderzocht en de blootstelling aan hoge niveaus van magnetische straling is niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn.

4.2.1.2 Invloed op voortplanting en ontwikkeling bij knaagdieren

Margonato et al. (1995) onderzochten het effect van langdurige blootstelling van elektromagnetische velden van 50 Hz op de groeisnelheid, de morfologie en histologie van de lever, het hart, de lymfeklieren, de teelballen en de neurotransmitters in de hersenen van ratten.
256 mannelijke ratten werden op een leeftijd van 12 weken gedurende 32 weken 22 u per dag blootgesteld aan een magnetisch veld van 5 µT bij 50 Hz.
Continue blootstelling van jonge ratten aan magnetische velden van 5 µT bij 50 Hz gedurende 32 weken had geen significante invloed op de groeisnelheid, de morfologie en histologie van de lever, het hart, de lymfeklieren, de teelballen en de neurotransmitters in de hersenen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was op de morfologie en histologie van verschillende organen bij de onderzochte ratten. Er werden een groot aantal ratten blootgesteld aan magnetische velden vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn en dit gedurende een voldoende lange periode.

Kowalczuk et al. (1994) bestudeerden de invloed van prenatale blootstelling aan magnetische velden van 50 Hz op de ontwikkeling van muizen (CD1 muizen).
Negentig muizen werden van dag 0 tot dag 17 van de dracht blootgesteld aan een magnetisch veld van 20 mT bij 50 Hz, 86 muizen dienden als controle en werden niet blootgesteld.
Prenatale blootstelling van drachtige muizen aan magnetische velden van 50 Hz resulteerde niet in een significante verhoging van het aantal spontane abortussen of aangeboren afwijkingen.
Conclusie: Deze studie toonde geen significant verhoging van het aantal abortussen of afwijkingen bij ratten. De sterkte van het magnetisch veld is niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. Ook de blootstellingsduur was eerder kort. Er werd wel een voldoende groot aantal dieren onderzocht om conclusies te kunnen trekken.

Ryan et al. (2000) onderzochten de invloed van prenatale blootstelling aan magnetische velden van 60 Hz op de worpgrootte, het worpgewicht en de ontwikkeling van ratten (Sprague-Dawley rats).
Drie groepen van 20 ratten werden van dag 6 tot dag 19 van de dracht blootgesteld aan een magnetisch veld van 200 µT bij 60 Hz, 180 Hz of 60 + 180 Hz.
Prenatale blootstelling van drachtige ratten aan magnetische velden van 200 µT had geen significant effect op de worpgrootte, het worpgewicht en de ontwikkeling van de foetus.
Conclusie: Deze studie toonde geen significant effect op het aantal nakomelingen, het gewicht van de nakomelingen en de ontwikkeling. Er werd slechts een klein aantal ratten blootgesteld aan magnetische velden die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. Ook de blootstellingsduur was eerder kort.

Chung et al. (2003) onderzochten de invloed van prenatale blootstelling aan magnetische velden van 60 Hz op de maternale toxiciteit en ontwikkelingstoxiciteit van ratten (Wistar rats).
Drie groepen van 24 ratten werden van dag 6 tot dag 20 van de dracht blootgesteld aan een 60 Hz magnetisch veld van 5 µT, 83.3 µT en 500 µT.
Prenatale blootstelling van drachtige ratten aan 60 Hz magnetische velden tot 500 µT had geen significante effecten op het lichaamsgewicht van de moeder, gewicht van de organen, foetale sterfte, foetaal lichaamsgewicht en foetale skeletafwijkingen.

Conclusie: Deze studie toonde geen significant effect op het gewicht van de moeder en de foetussen, foetale sterfte en foetale skeletafwijkingen. De ratten werden enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 5 µT dat vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn. De ratten werden anderzijds blootgesteld aan magnetisch velden van 83.3 µT en 500 µT die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn.

Huuskonen et al. (1993) bestudeerden het effect van prenatale blootstelling aan laagfrequente magnetische velden op de embryonale en foetale ontwikkeling bij ratten (Han: Wistar-strain).
Twee groepen van 72 ratten werden continu van dag 0 tot dag 20 van de dracht blootgesteld aan een 50 Hz magnetisch veld van 35.6 µT en 15 µT.
Prenatale blootstelling van drachtige ratten aan laagfrequente magnetische velden van 50 Hz had geen significante effecten op het lichaamsgewicht van de moeder, foetale sterfte, foetaal lichaamsgewicht en grote skeletafwijkingen van de foetussen. De incidentie van foetussen met kleine skeletafwijkingen was wel significant hoger in beide blootgestelde groepen. Ook waren er meer innestelingen van embryo's en meer geboortes per rat.
Conclusie: Deze studie toonde geen grote effecten op foetale afwijkingen, wel lichte skeletafwijkingen. Er wordt verondersteld dat het groter aantal innestelingen van embryo's bij MF-blootstelling komt doordat bij blootstelling aan een MF ook embryo's met afwijkingen kunnen innestelen die anders afgestoten worden. Dit werd echter niet bevestigd door een vervolgstudie, zie hieronder. De sterkte van de magnetische velden was iets hoger dan onder een hoogspanningslijn. Er werd ook een groter aantal ratten onderzocht gedurende een voldoende lange periode.

Huuskonen et al. (2000) bestudeerden het effect van 50 Hz MF op embryo innesteling, progesteron, testosteron en melatonine niveaus en de oestrogeen en progesteron receptoren bij ratten (Wistar rats).
Er waren drie groepen van ratten, ingedeeld op basis van de blootstelling nl. geen blootstelling, blootstelling aan 13 µT en 130 µT. De ratten werden 24 uur per dag blootgesteld tot op het moment dat de embryo's verzameld werden.
Het MF veroorzaakte geen verandering in het aantal ingenestelde embryo's. Wel waren er een aantal veranderingen in het transport van de embryo's van de oviducts naar de uterus. Dit was vroeger bij blootstelling en de ontwikkeling was iets trager (maar dit was niet significant). Er waren geen verschillen in oestrogeen/progesteron concentraties. Verder waren er kleine, maar significante verschillen in oestrogeen/progesteron receptoren densiteit. Het was niet duidelijk welke implicaties dit heeft op de hormoonhuishouding.
Conclusie: Deze studie toonde geen verschillen wat betreft innesteling van embryo's in tegenstelling tot voorgaande artikel van dezelfde onderzoeksgroep. Er waren wel lichte verschillen in aanwezigheid van hormoonreceptoren, maar het is niet duidelijk wat de gevolgen hiervan zijn. Er is geen informatie beschikbaar over de exacte blootstellingsduur (wellicht de volledige dracht) en het aantal ratten dat blootgesteld werd. De ratten werden enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 13 µT dat iets hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. De ratten werden anderzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 130 µT dat niet vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn.

Mevissen et al. (1994) bestudeerden het effect van statische en wisselende magnetische velden van 30000 µT op de reproductie en foetale ontwikkeling van ratten (Wistar rats).
12 drachtige ratten werden van dag 1 tot dag 20 van de dracht blootgesteld aan een constant magnetisch veld van 30000 µT en een 50 Hz wisselend magnetisch veld van 30000 µT. 12 ratten werden niet blootgesteld en dienen als controlegroep.

Prenatale blootstelling van drachtige ratten aan magnetische velden van 30000 µT had geen significant effect op de foetale sterfte, foetaal lichaamsgewicht en grote skeletafwijkingen van de foetussen. Het aantal levend geboren foetussen was significant lager in de groep die blootgesteld werd aan statische- en magnetische velden. De incidentie van foetussen met kleine skeletafwijkingen was wel significant hoger in de groep die blootgesteld werd aan een 50 Hz wisselend magnetisch veld.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat blootstelling aan een 50 Hz magnetisch veld geen ernstige voortplantingsgevolgen veroorzaakte, maar er was wel een effect op skeletafwijkingen bij de foetussen. De dieren werden niet verder opgevolgd, dus het is niet geweten of er blijvende schade is. Er werd een klein aantal ratten blootgesteld aan magnetische velden die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn.

Elbetieha et al. (2002) onderzochten het effect van langdurige blootstelling van mannelijke en vrouwelijke Zwitserse muizen aan een magnetisch veld van 50 Hz op de vruchtbaarheid.
Volwassen mannelijke (15 controle en 15 blootgesteld) en vrouwelijke muizen (30 controle en 30 blootgesteld) werden, voor ze werden gepaard met niet-blootgestelde muizen, gedurende 90 dagen blootgesteld aan een magnetisch veld van 25 µT bij 50 Hz.
Blootstelling van mannelijke en vrouwelijke muizen aan een magnetisch veld van 50 Hz had geen invloed op de vruchtbaarheid. Verder werden bij de vrouwelijke muizen die bevrucht werden door blootgestelde mannelijke muizen geen significante verschillen waargenomen wat betreft het aantal implantatieplaatsen, het aantal levend geboren foetussen en het totaal aantal resorpties. Het gewicht van de testes en het lichaamsgewicht bij blootgestelde mannelijke muizen en het lichaamsgewicht en baarmoedergewicht bij blootgestelde vrouwelijke muizen waren niet significant verschillend. Het gewicht van de eierstokken was bij de blootgestelde vrouwelijke muizen wel significant hoger.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het magnetisch veld geen effect had op de vruchtbaarheid van de muizen. Wat betreft de stijging van het gewicht van de eierstokken was er geen directe verklaring, daarvoor is verder histologisch onderzoek nodig. De muizen werd langdurig blootgesteld aan een magnetisch veld dat iets hoger was dan deze onder een hoogspanningslijn. Er werd wel een relatief klein aantal muizen onderzocht.

Qi et al. (2015) onderzochten het effect van laagfrequente elektromagnetische velden op de vruchtbaarheid en tumorontwikkeling bij muizen (C57BL/6 muizen).
10 drachtige muizen werden gedurende 1 week (12 uur per dag) blootgesteld aan een magnetisch veld van 50 µT bij 50 Hz. 42 vrouwelijke en 24 mannelijke muizen die daaruit voortkwamen werden verder tot 15.5 maanden blootgesteld aan elektromagnetische velden. 10 drachtige muizen werden niet blootgesteld en dienden als controlegroep. Uit deze groep zijn 32 vrouwelijke en 30 mannelijke muizen voortgekomen. Deze werden niet blootgesteld gedurende dezelfde periode.
Blootstelling aan ELF-MF van vrouwelijke en mannelijke muizen resulteerde in een significant lager gemiddeld lichaamsgewicht. De grootte van de *tubuli seminiferi* was significant kleiner in de blootgestelde groepen. Verder was bij de vrouwelijke muizen de incidentie van chronische myeloïde leukemie significant hoger dan in de controlegroep. Er was geen verhoogde incidentie van lever- en longtumoren bij de blootgestelde muizen.
Conclusie: Uit de resultaten van deze studie bleek het 50 Hz MF een risicofactor te zijn voor verminderde vruchtbaarheid en het voorkomen van leukemie. Echter is er verder onderzoek nodig naar welke moleculaire veranderingen deze straling in de weefsels veroorzaakt om de oorzaak van dit effect te kunnen verklaren. Er werd een groter aantal muizen blootgesteld aan EMF en de blootstellingsduur was voldoende lang. De magnetische veldsterkte was wel iets hoger dan deze onder een hoogspanningslijn.

Lee et al. (2004) evalueerden de effecten van blootstelling aan 60 Hz elektromagnetische velden op de testiculaire apoptose van de kiemcellen bij muizen (BALB/c muizen).
15 muizen (7 weken oud) werden verdeeld in 3 groepen van 5 dieren. Twee experimentele groepen werden gedurende 8 weken continu blootgesteld aan een 60 Hz magnetisch veld van 100 µT en 500 µT. Elke groep van 5 muizen werd in een kooi in een belichtingskamer geplaatst.
Blootstelling aan ELF-MF van mannelijke muizen resulteerde in een verhoogde incidentie van kiemcelapoptose in de testes. Er werden geen significante verschillen waargenomen tussen de blootgestelde en niet-blootgestelde groepen wat betreft het lichaamsgewicht en het gewicht van de testes van de muizen. Blootstelling aan ELF-MF leidde ook tot een afname van het aantal normale *tubuli seminiferi* bij toenemende intensiteit, dit door apoptose of celdood.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat een continue blootstelling aan het 60 Hz EMF voor meer celdood bij de voortplantingscellen zorgt en een invloed kan hebben op de vruchtbaarheid. Let wel dat de blootstellingsniveaus (100 en 500 µT) veel hoger zijn dan deze onder een hoogspanningslijn. Er werd ook een klein aantal muizen blootgesteld aan het EMF. De blootstellingsduur was wel voldoende lang.

Heredia-Rojas et al. (2003) onderzochten de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden van 2000 µT bij 60 Hz op de mannelijke geslachtscellen bij muizen (CD-1(BALB/cxDBA2) muizen).
Er werden drie onafhankelijke experimenten uitgevoerd waarbij de mannelijke muizen telkens blootgesteld werden aan een 60 Hz magnetisch veld van 2000 µT. Bij het eerste experiment werden de mannelijke muizen 72 uur blootgesteld en bij het tweede experiment werden de muizen gedurende 10 dagen 8 uur per dag blootgesteld. Bij het derde experiment werden de muizen ook 72 uur blootgesteld, maar ze werden ook nog behandeld met 5 mg/kg mitomycine-C (een celdodend middel, remt vb. kanker).
Er werden geen significante verschillen vastgesteld tussen de MF-blootgestelde mannelijke muizen en de niet-blootgestelde muizen wat betreft meïotische chromosoomafwijkingen in spermatocyten en spermamorfologie.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat, hoewel het MF van 2000 µT hier zeer hoog was, er toch geen significant effect was op de voortplantingscellen. De magnetische veldsterkte is niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn en de blootstellingsduur was ook kort. Het aantal onderzochte muizen werd niet vermeld.

Duan et al. (2014) onderzochten de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden van 500 µT bij 50 Hz op de spermatogenese bij ratten (SD ratten).
40 mannelijke ratten werden verdeeld in 4 groepen van 10 ratten. Twee groepen ratten werden blootgesteld aan 50 Hz elektromagnetische velden van 500 µT in een kooi in een belichtingskamer. De eerste groep werd gedurende 4 weken en de tweede groep gedurende 8 weken 4 uur per dag blootgesteld aan elektromagnetische velden. De twee overige groepen ratten werden niet blootgesteld en dienen als controle. Verschillende biologische eindpunten met de betrekking tot de testiculaire functie en de spermatogenese werden bestudeerd. Zo werden o.a. de toename van lichaamsgewicht, de testes massa, de epididymis massa, veranderingen in het totaal aantal zaadcellen, abnormale spermaverhouding, serumtestosteronniveaus en testiculaire histologie geëvalueerd.
Er werden geen significante verschillen vastgesteld tussen de MF-blootgestelde mannelijke ratten en de niet-blootgestelde ratten wat betreft de biologische eindpunten die betrekking hebben tot de spermatogenese.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen significant effect was op de voortplantingscellen. De magnetische veldsterkte is niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. Er werd ook een klein aantal muizen blootgesteld aan EMF maar de blootstellingsduur was wel voldoende lang.

Forgács et al. (2004) onderzochten de invloed van blootstelling aan elektromagnetische velden van 100 µT bij 50 Hz op de leydig (= testosteron producerende cellen) cellen bij muizen (CFLP muizen).
13 mannelijke muizen werden gedurende 2 weken blootgesteld aan een 50 Hz magnetisch veld van 100 µT. Aan het einde van de blootstellingsperiode werden de leydig cellen geïsoleerd uit de testis en onderzocht.
Blootstelling van mannelijke muizen aan elektromagnetische velden resulteerde in een significant hogere hCG (human chorionic gonadotropin) gestimuleerde T-respons (plasma testosteron) effect bij de leydig cellen. Er werden geen MF gerelateerde histopathologische effecten waargenomen in de testes, epididymis, bijnieren, prostaat en hypofyse. Ook de groeisnelheid van de muizen werd niet beïnvloed door de elektromagnetische velden. Dus er werd geconcludeerd dat MF de respons op steroïden stimuleerde, maar niet zorgde in histopathologische veranderingen door bepaalde feedback-mechanismen. Deze auteurs concluderen echter ook dat verder onderzoek noodzakelijk is.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het MF voor bepaalde cellulaire veranderingen zorgde, maar dit zorgde niet voor veranderingen in de voortplantingsfuncties, echter verder onderzoek is noodzakelijk. De magnetische veldsterkte is niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. Er werd ook een klein aantal muizen onderzocht, maar de blootstellingsduur was wel eerder voldoende lang.

Ebrahimi et al. (2011) onderzochten de invloed van blootstelling aan elektromagnetische velden van 100 µT bij 50 Hz op de expressie van MT1- en MT2 (= metallothioneïne) genen in het testisweefsel bij mannelijke muizen (BALB/c mice).
Mannelijke muizen (aantal niet vermeld) werden gedurende 8 weken 4 uur per dag blootgesteld aan een 50 Hz magnetisch veld van 100 µT. Aan het einde van de blootstellingsperiode werd het testisweefsel verwijderd en geanalyseerd.
MT1- en MT2 genen waren significant neerwaarts gereguleerd in het testisweefsel van de MF-blootgestelde muizen. Neerwaartse regulatie van MT1- en MT2 genen kan negatieve gevolgen hebben die leiden tot onvruchtbaarheid. Uit deze studie bleek ook dat het aantal primaire spermatocyten significant verhoogd was bij de MF- blootgestelde muizen. Ook het aantal leydig cellen was significant verhoogd en de basaalmembraandikte was toegenomen bij de MF- blootgestelde muizen.
Conclusie: Uit de resultaten van deze studie bleek dat het MF zorgde voor een respons bij bepaalde genen en cellen gerelateerd aan de vruchtbaarheid, maar er werd geen histologisch onderzoek uitgevoerd en de vruchtbaarheid werd niet bepaald. Het is dus niet duidelijk of deze veranderingen effectief zorgen voor een verminderde vruchtbaarheid. De magnetische veldsterkte is niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. De blootstellingsduur was ook niet continu (slechts 4 uur per dag) en het aantal onderzochte muizen werd niet vermeld.

4.2.1.3 Invloed op tumoren bij knaagdieren

Löscher et al. (1994) onderzochten het effect van laagfrequente magnetische velden van 50 Hz op de ontwikkeling van borsttumoren bij ratten (Sprague-Dawley rats).
36 vrouwelijke ratten werden gedurende 91 dagen blootgesteld aan een 50 Hz magnetisch veld met een gradiënt van 0.3-1 µT. Tumoren werden geïnduceerd door toepassen van dimethylbenz(a)anthracene (DMBA).
Er werden geen significante verschillen waargenomen in incidentie van borsttumoren tussen de blootgestelde- en niet-blootgestelde groepen ratten.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was op de incidentie van tumoren. De magnetische veldsterkte is vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. Ook de blootstellingsduur was voldoende lang. Er werd wel een kleiner aantal ratten onderzocht.

Chung et al. (2009) onderzochten het mogelijke effect van 60 Hz magnetische velden als promotors van genetisch geïnitieerd lymfoom bij muizen (AKR muizen). 160 vrouwelijke muizen werden verdeeld in vier gelijke groepen en werden blootgesteld aan 60 Hz magnetische velden van 0 µT, 5 µT, 83.3 µT of 500 µT vanaf een leeftijd van 4-6 weken tot een leeftijd van 44-46 weken. In deze studie werden geen verschillen in tumorincidentie waargenomen tussen de blootgestelde en niet-blootgestelde dieren. Verder waren er ook geen veranderingen in lichaamsgewicht en gemiddelde overlevingstijd.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het EMF geen effect had op de tumorontwikkeling. De muizen werden enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 5 µT dat vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn. De muizen werden anderzijds blootgesteld aan magnetische velden van 83.3 µT en 500 µT die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. Er werd wel een groter aantal muizen onderzocht en de blootstellingsduur was voldoende lang.

In een andere studie van Chung et al. (2008) werd het effect van 60 Hz magnetische velden als promotors van transplacentale geïnitieerde hersentumoren bij ratten bestudeerd. 120 drachtige ratten werden verdeeld in zes gelijke groepen. Vijf groepen werden op dag 18 in utero blootgesteld aan een intraveneuze dosis van 10 mg/kg ethylnitrosourea (ENU) om tumorontwikkeling te induceren. In totaal werden 480 nakomelingen gebruikt en deze werden blootgesteld aan 60 Hz magnetische velden van 0 µT, 5 µT, 83.3 µT of 500 µT vanaf een leeftijd van 4 weken tot een leeftijd van 32 of 42 weken. Concluderend werden er geen verschillen in tumorincidentie tussen de verschillende groepen waargenomen. Er was dus geen bewijs dat blootstelling aan 60 Hz magnetische velden tot 500 µT tot een leeftijd van 32-42 weken ENU-geïnitieerde hersentumoren bij ratten bevorderde.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het EMF geen effect had op de tumorontwikkeling. De muizen werden enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 5 µT dat vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn. De muizen werden anderzijds blootgesteld aan magnetische velden van 83.3 µT en 500 µT die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. Er werd wel een groot aantal muizen onderzocht en de blootstellingsduur was voldoende lang.

McLean et al. (2003) bestudeerden het effect van 60 Hz magnetische velden van 2000 µT op de incidentie van geïnduceerde huidtumoren bij muizen. Twee groepen muizen werden behandeld met een enkele dosis carcinogeen en vervolgens werden de muizen gedurende 23 weken behandeld met een chemische tumorpromotor met de bedoeling om huidtumoren te induceren. Gedurende deze periode werd één groep muizen ook blootgesteld aan een magnetisch veld van 2000 µT bij 60 Hz. De andere groep muizen dient als controlegroep. Na de periode van 23 weken werd gestopt met het toedienen van de tumorpromotor, maar werden de muizen nog eens 29 weken blootgesteld aan het magnetisch veld. Er konden geen verschillen in tumorincidentie vastgesteld worden tussen de MF blootgestelde en de niet-blootgesteld muizen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het EMF geen effect had op de tumorontwikkeling. Hoewel de dieren voldoende lang werden blootgesteld, was de magnetische veldsterkte niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn.

In een eerdere studie van McLean et al. (1991) werd ook het effect van 60 Hz magnetische velden op de ontwikkeling van geïnduceerde huidtumoren bij muizen onderzocht. Twee groepen van 32 vrouwelijke muizen werden behandeld met een subdrempelige dosis van de tumorpromotor 7,12-dimethylbenz(a)anthraceen (DMBA). Een week na de behandeling werd de ene groep muizen gedurende 21 weken 6 uur per dag blootgesteld aan een 60 Hz magnetisch veld van 2000 µT. De andere groep muizen werd gedurende deze periode schijn blootgesteld. Bij beide groepen muizen werd geen tumorontwikkeling waargenomen.

Conclusie: Deze studie toonde aan dat het EMF geen effect had op de tumorontwikkeling. Hoewel de dieren voldoende lang werden blootgesteld, was de magnetische veldsterkte niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. Er werd ook een kleiner aantal muizen onderzocht.

Anderson et al. (2001) onderzochten de invloed van 60 Hz magnetische velden op de progressie van leukemie bij mannelijke ratten (*Fischer/344 ratten*). Aan het begin van dit onderzoek werden alle ratten geïnjecteerd met LGL-leukemiemiltcellen. De ratten werden vervolgens willekeurig verdeeld in 4 groepen met 18 dieren per groep. De eerste groep werd continu en de tweede groep werd intermitterend (aan/uit met intervallen van 3 min.) blootgesteld aan een 60 Hz magnetisch veld van 1000 µT. De derde groep dient als omgevingscontrole. Het magnetisch veld had een sterkte kleiner dan 0.1 µT. De vierde groep dient als positieve controle. De ratten werden 16 weken 20 uur per dag blootgesteld aan het magnetisch veld. Uit deze studie bleek dat er geen significante verschillen waren in de progressie van leukemie en hematologische parameters tussen de blootgestelde groepen en de omgevingscontrolegroepen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het EMF geen effect had op de progressie van leukemie en andere bloedparameters. Merk wel op dat de veldsterkte van 1000 µT hier zeer hoog was en niet vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn. Er werd ook een klein aantal ratten onderzocht, maar de blootstellingsduur was wel voldoende lang.

Mandeville et al. (1997) bestudeerden het effect van 60 Hz magnetische velden op de ontwikkeling van solide tumoren en leukemie bij ratten. Vijf groepen van 50 vrouwelijke ratten werden gedurende 104 weken vanaf de prenatale periode (2 dagen voor de geboorte) 20 uur per dag blootgesteld aan 60 Hz magnetische velden van <0.02 (schijncontrole), 2, 20, 200 of 2000 µT. Uit deze studie kan geconcludeerd worden dat blootstelling aan 60 Hz magnetische velden geen invloed heeft op de overleving, de ontwikkeling van solide tumoren en leukemie bij vrouwelijke ratten.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het EMF geen effect had op de tumorontwikkeling. De ratten werden enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 2 µT dat vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn. De ratten werden anderzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 20 µT dat iets hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. Verder werden de ratten ook blootgesteld aan magnetische velden van 200 µT en 2000 µT die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. De blootstellingsduur was zeker voldoende lang.

In de studie van Yasui et al. (1998) werd de invloed van 50 Hz magnetische velden op de overleving en kankerontwikkeling onderzocht bij ratten. Mannelijke en vrouwelijke ratten werden gedurende twee jaar 22.6 uur per dag blootgesteld aan 50 Hz magnetische velden. Mannelijke en vrouwelijke ratten werden verdeeld in 3 groepen met 48 dieren per groep. De eerste groep werd schijn blootgesteld (controle), de tweede groep werd blootgesteld aan een magnetisch veld van 500 µT en de derde groep werd blootgesteld aan een magnetisch veld van 5000 µT. Er werden geen significante verschillen in lichaamsgewicht en voedselconsumptie waargenomen gedurende de blootstellingsperiode. Aan het einde van de blootstellingsperiode waren er geen significante verschillen in overlevingspercentage bij zowel de mannelijke ratten als de vrouwelijke ratten. Verder werden er ook geen significante verschillen vastgesteld in incidentie van leukemie, incidentie van hersentumoren en intracraniale tumoren, incidentie van goedaardige en kwaadaardige neoplasmata bij zowel de mannelijke als de vrouwelijke ratten en incidentie van kwaadaardig lymfoom bij de vrouwelijke ratten.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het EMF geen effect had op de overleving en tumorincidentie van mannelijke en vrouwelijke ratten. De ratten werden blootgesteld aan magnetische velden van 500 µT en 5000 µT, welke niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. De blootstellingsduur was zeker voldoende lang.

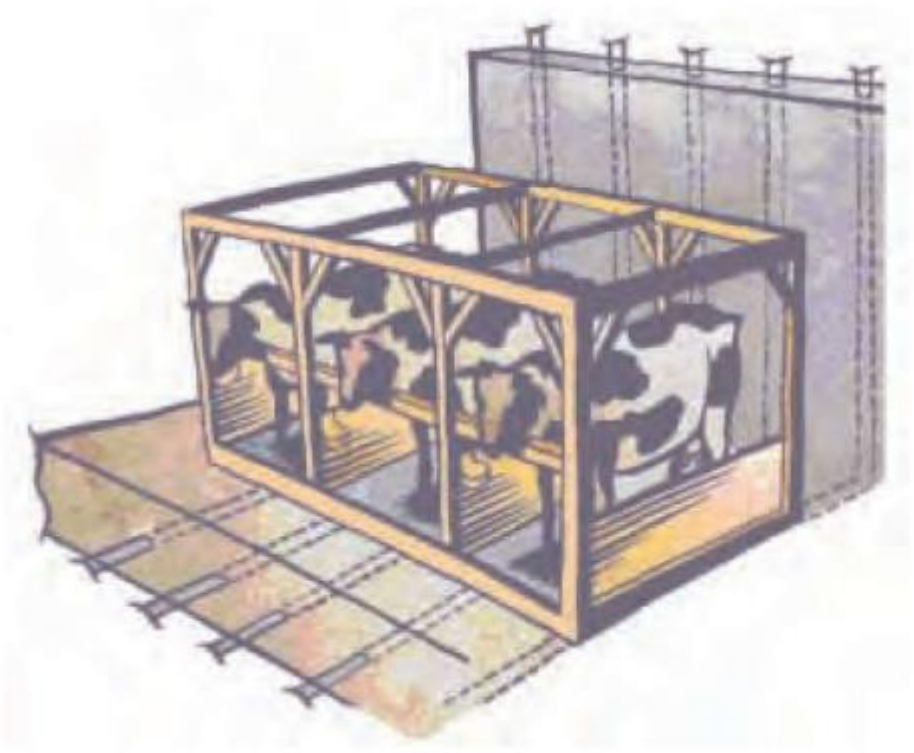
Löscher & Mevissen (1995) bestudeerden de eventuele relatie tussen de dosis van blootstelling aan een 50 Hz magnetisch veld en de incidentie van borsttumoren bij vrouwelijke ratten. Borsttumoren werden geïnduceerd met de chemische kankerverwekkende stof 7,12-dimethyl(a)antraceen (DMBA) die oraal werd toegediend in een dosis van 5 mg per rat. DMBA werd op de eerste dag van blootstelling toegediend en daarna met tussenposen van een week tot de ratten een totale dosis van 20 g hadden opgenomen. De ratten werden ingedeeld in 4 blootstellingsgroepen nl. 0.3-1 µT (36 ratten), 10 µT (99 ratten), 50 µT (99 ratten) en 100 µT (99 ratten). De ratten werden gedurende 91 dagen continu blootgesteld aan MF. Aan het einde van de blootstellingsperiode was de incidentie van borsttumoren significant verhoogd bij de ratten die werden blootgesteld aan magnetische velden van 50 µT en 100 µT. Er was geen significante toename van de incidentie borsttumoren bij de ratten die werden blootgesteld aan magnetische velden van 0.3-1 µT en 10 µT. In een eerdere studie van Löscher et al. (1993) werd identiek hetzelfde experiment uitgevoerd maar er was slechts één experimentele groep waarbij 99 vrouwelijke ratten werden blootgesteld aan een 50 Hz magnetisch veld van 100 µT. Uit deze studie bleek ook dat na een blootstellingsperiode van 91 dagen de incidentie van borsttumoren significant hoger was bij de ratten die werden blootgesteld aan magnetische velden van 100 µT.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat blootstelling van vrouwelijke ratten aan magnetische velden van 50 µT en 100 µT, welke niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn, resulteerde in een significante toename van de incidentie borsttumoren na inductie met DMBA. Blootstelling aan magnetische velden van 0.3-1 µT en 10 µT, welke vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn, resulteerde niet in een significante toename van de incidentie borsttumoren. De blootstellingsduur was voldoende lang en er werd een groter aantal ratten onderzocht.

Bua et al. (2018) bestudeerden het effect van een levenslange blootstelling aan ELF-MF bij ratten. Mannelijke en vrouwelijke ratten (500 per behandeling) werden van voor de geboorte tot de dood 19 uur per dag continu blootgesteld aan 50 Hz met een veldsterkte van 2, 20, 100 of 1000 µT. Er werd ook een groep ratten afwisselend blootgesteld (30 min. on/30 min. off) aan 1000 µT (50 Hz). Verder werd ook het effect van ELF-MF gecombineerd met formaldehyde en gamma-straling (carcinogene middelen/-straling) bestudeerd.
Wanneer de dieren enkel aan het ELF-MF werden blootgesteld bleek er geen statisch significante stijging van het aantal tumoren te zijn. Echter in combinatie met formaldehyde en gamma-straling (carcinogene middelen) bleek ELF-MF het carcinogene effect van bovengenoemde stoffen te versterken. Verder onderzoek is nodig naar het effect van ELF-MF gecombineerd met chemische stoffen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat het ELF-MF geen invloed heeft op de ontwikkeling van tumoren, maar dit kan wel mogelijks het effect van carcinogene stoffen versterken. De ratten werden enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 2 µT dat vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn. De ratten werden anderzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 20 µT dat iets hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. Verder werden de ratten ook blootgesteld aan magnetische velden van 100 µT en 1000 µT die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. De blootstellingsduur was levenslang, dus zeer relevant, en er werd ook zeer groot aantal ratten onderzocht.

4.2.1.4 Invloed op prestaties van landbouwzoogdieren

Burchard et al. (1998) bestudeerden het effect van elektrische en magnetische velden op de progesteronconcentraties tijdens de oestrische cyclus bij melkkoeien. Burchard et al. (2003) onderzochten ook het effect van elektrische en magnetische velden op de melkproductie en voeropname bij niet-drachtige melkkoeien. Rodriguez et al. (2003) bestudeerden het effect van elektrische en magnetische velden op de duur van de oestrische cyclus en de

progesteronconcentraties gedurende de oestrische cyclus bij melkkoeien. Rodriguez et al. (2004) onderzochten in een volgende studie het effect van elektrische en magnetische velden van 60 Hz op de melatonine- en prolactineconcentraties in het bloed bij melkkoeien gedurende een korte fotoperiode (8 u/dag). De proefopzet van deze auteurs was steeds dezelfde, zoals hieronder beschreven.
Er werden 16 multipare, niet-drachtige melkkoeien verdeeld in 2 reeksen van elk 8 koeien en blootgesteld aan een elektrisch veld van 10 kV/m en een magnetisch veld van 30 µT bij 60 Hz in een belichtingskamer (22 u of 16 u bij Rodriguez et al.) (**Figuur 4**). De koeien werden gedurende 3 oestrische cycli alternerend blootgesteld aan het EMF. De duur van de blootstellingsperiode was afhankelijk van de lengte van de oestrische cyclus (24 tot 27 dagen).



Figuur 4: Kamer waarin de koeien werden blootgesteld.

Er werden geen verschillen gedetecteerd in de progesteronconcentraties tijdens de oestrische cyclus tussen de blootgestelde en niet-blootgestelde perioden aan het EMF. Er werd wel vastgesteld door Burchard et al. (1998) en Rodriguez et al. (2003) dat de duur van de oestrische cyclus langer was bij koeien die werden blootgesteld aan het EMF (3 dagen (Burchard et al. 1998) en 1.4 dagen (Rodriguez et. 2003)). Echter vermelden Burchard et al. (1998) wel dat door de niet-normaliteit en hoge variantie in de data de kans op een type II fout (onterecht verwerpen van de nulhypothese, vrij groot is). Een oestrische cyclus die 1.4-3 dagen langer is zou geen implicaties hebben op de voortplanting. Verder is gebleken dat blootstelling aan het EMF resulteerde in lagere melkproductie en een hogere droge stof opname. Zowel bij het eerste als het tweede experiment werd een daling van de melatonine concentraties in het bloed waargenomen bij de EMF-blootgestelde koeien gedurende de lichtperiode. De melatonine concentraties in het bloed werden niet beïnvloed gedurende de donkere periode. Verder werd bij het eerste experiment een verhoging van de prolactine concentraties in het bloed waargenomen bij de EMF-blootgestelde koeien. Bij het tweede experiment werden de prolactine concentraties in het bloed niet beïnvloed. Ook halen de auteurs aan dat er interactie is tussen “week” en “behandeling” op melkproductie en droge stof opname, i.e. het effect van het EMF is afhankelijk van het tijdstip, door een aanpassing aan het MF.

Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was op de progesteronconcentraties tijdens de oestrische cyclus. De oestrische cyclus was wel iets langer. Een langere oestrische cyclus kan eerder als negatief beschouwd. Echter de verschillen waren hier zeer klein en zouden geen effect hebben op de voortplanting. Een lagere melkproductie en een hogere droge stof opname kunnen als negatief beschouwd worden. De hogere droge stof opname zou in dit lactatiestadium gezorgd hebben voor een toename in gewicht (niet gemeten) en niet in melkproductie. Een daling van de melatonine concentraties in het bloed gedurende de lichtperiode en een verhoging van de prolactine concentraties in het bloed kunnen eerder als positief beschouwd worden. Verder dient er opgemerkt te worden dat de magnetische veldsterkte iets hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. De blootstellingsduur was voldoende lang maar er werd telkens wel een klein aantal koeien onderzocht.

Bij de studies van Burchard et al. en Rodriguez et al. dient er opgemerkt te worden dat de melkkoeien blootgesteld werden aan hoge EMF zodat de kans op een effect groter werd. De werkelijke blootstelling aan elektrische en magnetische velden zal dus afhankelijk zijn van de omstandigheden waarin de koeien gehouden worden.

4.2.1.5 Invloed op voortplanting bij landbouwzoogdieren

Naar de invloed van elektromagnetische velden op varkens is weinig onderzoek gedaan. In een studie van Bernabo et al. (2010) werd het effect van EMF op de vruchtbaarheid van berensperma onderzocht. De spermatozoa werden *in vitro* onderzocht bij intensiteiten variërend van 0 tot 2000 µT bij 50 Hz. Er werd aangetoond dat blootstelling aan het EMF een negatief effect had op de vroege vruchtbaarheidsuitkomsten van sperma. Er dient wel opgemerkt te worden dat de laagste EMF-blootstelling 500 µT was. Deze is ruim 30 maal hoger dan de maximale veldsterkte midden onder een hoogspanningsmast.

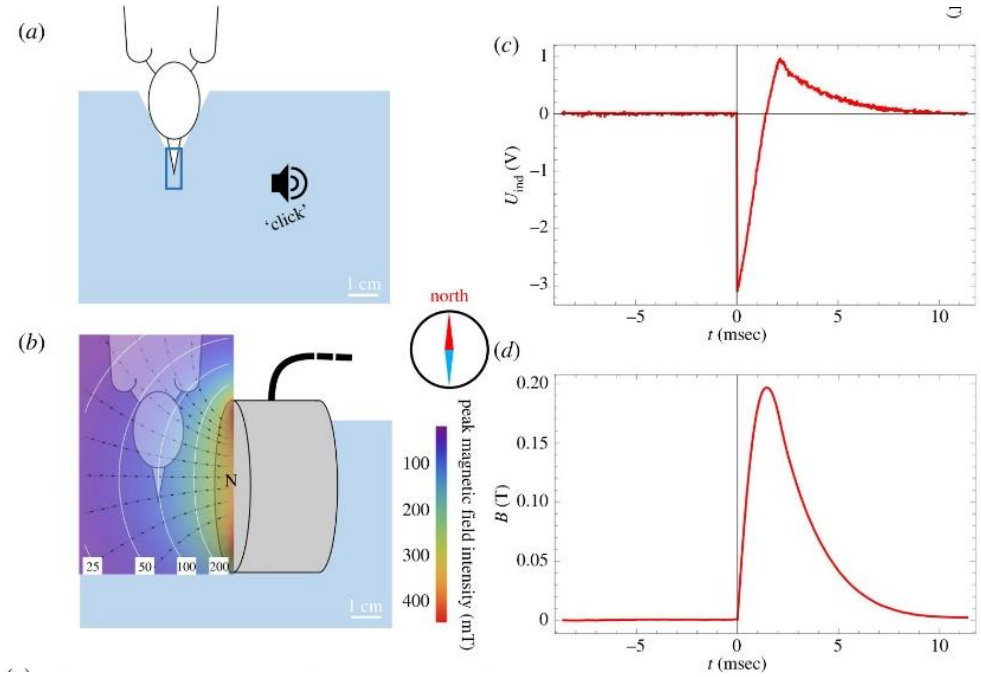
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er een negatief effect was op de vroege vruchtbaarheidsuitkomsten van berensperma, maar de laagste EMF-blootstelling was 500 µT. Deze is veel hoger dan de maximale veldsterkte midden onder een hoogspanningsmast.

4.2.1.6 Invloed op gedrag bij vogels-gevogelte

Karwinkel et al. (2022) bestudeerden het effect van magnetische pulsen (0.1 T, 100 mT) op de migratie van tapuit zangvogels.

Vogels werden in de hand gehouden en de kop werd in een inkeping van een schuimblok, dat op een houten tafel was bevestigd, geplaatst. De snavel van de vogels werd geïmmobiliseerd door deze in een klein stukje plastic buis (donkerblauw) in het schuim te plaatsen. De controlegroep hoorde alleen een kort 'klik'-geluid, maar alle handelingen waren vergelijkbaar met die van de experimentele groep (**Figuur 5a**). De experimentele groep kreeg een magnetische puls van een kleine spoel (grijze cilinder; 50 mm diameter met 15 × 15 windingen van 1 mm koperdraad) met het magnetische noorden van de spoel loodrecht op de snavel. De afstand tussen de snavel en de spoel werd aangepast om een magnetisch piekveld op te leveren van ongeveer 0,1 T (100 mT). De warmtekaart toont de maximale magnetische veldintensiteit met isolijnen in wit en geselecteerde magnetische veldlijnen in zwart. Alle experimenten werden uitgevoerd met de vogels zuidwaarts gericht (**Figuur 5b**).

Daarna werden de vogels via een zender gevolgd tijdens hun migratie. De volgende parameters werden gemeten: kans van vertrekken, tijdstip van vertrek, richting van de migratie, consistentie van vliegrichting.



Figuur 5: Toepassing van de controle (a) en experimentele behandeling (b) op de vogels. (c + d) Tijdsverloop van de magnetische veldintensiteit van de magnetische puls. De meting is gedaan met een inductiespoel (5 cm diameter, zes windingen) die op de pulsspoel is geplaatst en is aangesloten op een oscilloscoop (Tektronix MDO3032, Beaverton USA). De gemeten geïnduceerde spanning (c), die evenredig is met de veranderingssnelheid van het magnetische veld ten opzichte van de tijd, werd geïntegreerd om het tijdsverloop van het magnetische veld in Tesla (d) te verkrijgen. Na het triggeren van de puls op t = 0, bereikt het magnetische veld zijn maximum bij 1,5 ms om vervolgens binnen 8 ms af te nemen.

In tegenstelling tot wat de auteurs verwacht hadden bleek er geen effect te zijn van de magnetische pulsen. De auteurs vermoeden dat de magnetoreceptor niet werd gestimuleerd door deze pulsen of niet bestaat. Ofwel werd de receptor gestimuleerd, maar was er geen respons merkbaar.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was op de migratie van de tapuit zangvogels. Maar de magnetische veldsterkte is niet vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn en de frequentie van het magnetisch veld is niet gekend.

4.2.1.7 Invloed op voortplanting bij vogels-gevogelte

Diverse onderzoeken werden uitgevoerd om het effect van het EMF op de ontwikkeling en morfologie van kippenembryo's te onderzoeken. Er werden voornamelijk negatieve effecten teruggevonden afhankelijk van het blootstellingsniveau. Maar het is niet echt zinvol om onderzoek op het effect van EMF-blootstelling op de ontwikkeling van kippenembryo's te doen aangezien in de huidige pluimveehouderij systemen de kippen binnen eieren leggen en niet onder hoogspanningslijnen. In de broederij worden de eieren immers in klimaatkamers uitgebroed. Er werden geen studies gevonden over de invloed van EMF op volgroeide kippen.

Farrell et al. (1997) voerden een vijfjarig experiment uit waarbij het effect van gepulseerde en 60 Hz sinusoïdale magnetische velden (1 µT) op de morfologie en ontwikkeling van kippenembryo's werd onderzocht. In totaal werden 2500 kippenembryo's onderzocht. Er werd geconcludeerd dat zwakke magnetische velden morfologische afwijkingen in de ontwikkeling van kippenembryo's kunnen induceren. Verder werd er verondersteld dat de genetische samenstelling van de kippen een belangrijke factor is die de gevoeligheid voor EMF-geïnduceerde afwijkingen bepaalt.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er een negatief effect was op de morfologie en ontwikkeling van kippenembryo's, maar de gevoeligheid voor EMF-geïnduceerde afwijkingen was afhankelijk van

de genetica van de kippen. De magnetische veldsterkte is vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. Er werd ook een zeer groot aantal kippenembryo's onderzocht en het experiment werd gedurende vijf jaren uitgevoerd.

Lahijani & Ghafoori onderzochten het effect van elektromagnetische velden van 8007 tot 10143 µT bij 50 Hz op de ontwikkeling van kippenembryo's. In totaal werden 221 bevruchte eieren geïncubeerd en blootgesteld aan 24 verschillende EMF's gedurende 24 uur. Na 9 dagen werden de embryo's beoordeeld. Het percentage afwijkingen in de ontwikkeling van de embryo's was hoger bij de blootgestelde groepen in vergelijking met de niet-blootgestelde groepen. Het eigewicht was niet significant verschillend. Wat betreft lichaamsgewicht, lichaamslengte, lengte van de snavel, hart- en levergewicht werden enkel significante verschillen gevonden tussen de 8007, 8453 en 8713 µT blootgestelde groepen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er een negatief effect was op het percentage afwijkingen en de ontwikkeling van de kippenembryo's. Er was geen effect op het eigewicht. Er dient wel opgemerkt te worden dat de sterkte van het magnetisch veld veel hoger is dan deze midden onder een hoogspanningsmast.

Sechman et al. (2006) bestudeerden de invloed van laagfrequente elektromagnetische velden op de veranderingen in schildklierhormonenspiegels en uitkomstparameters bij kippenembryo's. 160 broedeieren werden vanaf het begin van de incubatie tot de dag van uitkomen blootgesteld aan een magnetisch veld van 10 µT bij 50 Hz. Resultaten van deze studie toonden aan dat blootstelling aan EMF de activiteit van de schildklier bij kippenembryo's stimuleert. Verder werd ook geconcludeerd dat blootstelling aan EMF gepaard ging met een afname van kuikensterfte, sneller piepen en sneller uitkomen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er een positief effect was op de concentratie van schildklierhormonen en de werking van de schildklier van kippenembryo's. Ook de uitkomstparameters werden positief beïnvloed. Het is namelijk bekend dat schildklierhormonen een cruciale rol spelen tijdens de embryogenese en een invloed hebben op het moment van uitkomen en de duur van incubatie. De magnetische veldsterkte is vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. Ook de blootstellingsduur was voldoende lang en er werd een groot aantal broedeieren blootgesteld aan EMF.

Pawlak et al. (2013) onderzochten de invloed van zwak elektromagnetische velden op het hart, de concentratie van schildklierhormonen (T4 en T3) en het bloed aminotransferasegehalte bij kippenembryo's. Bij dit experiment werden 120 eieren verdeeld in 4 gelijke groepen. Bij de eerste groep eieren ontwikkelden de eieren zich in een standaard incubator (controle) van dag 1 tot 21. Bij de tweede groep ontwikkelden de eieren zich van dag 1 tot 21 in een incubator met een EMF generator die uitgeschakeld was. Bij de derde groep werden de eieren blootgesteld aan een magnetisch veld van 50 µT en een elektrisch veld van 0.173 kV/m bij 50 Hz en bij de vierde groep werden de eieren blootgesteld aan een magnetisch veld van 100 µT en een elektrisch veld van 0.180 kV/m bij 50 Hz. De embryo's in deze groepen werden blootgesteld aan een continu EMF van de eerste tot de laatste dag van incubatie. Uit deze studie kon geconcludeerd worden dat blootstelling aan EMF de hartslag versnelde, voornamelijk vanaf 17 dagen incubatie. Dit kon geassocieerd worden met de stijging van de plasma T4 en T3 concentraties gedurende het laatste stadium van de embryogenese. Verder werd aangetoond dat blootstelling aan EMF van 100 µT leidde tot een significante toename van het hartgewicht en een significante toename van de aminotransferase gehaltes in het bloed van de kippenembryo's. Dit laatste heeft een direct negatief effect op de werking van de hartspier.
Conclusie: Deze studie geeft aan dat de stijging van de concentratie schildklierhormonen (tot op een bepaald niveau) gedurende het laatste stadium van de embryogenese als positief kan beschouwd

worden. Schildklierhormonen hebben namelijk een positief effect op de uitkomstparameters. Een versnelde hartslag is een direct gevolg van de stijging van de concentratie schildklierhormonen. De significante toename van de aminotransferase gehaltes in het bloed van de kippenembryo's bij blootstelling aan een magnetisch veld van 100 µT kan als negatief beschouwd worden. Aminotransferases zijn namelijk specifieke indicators van hartspierschade na een hartinfarct. Ook de toename van het hartgewicht na blootstelling aan een magnetisch veld van 100 µT kan als negatief beschouwd worden. De toename van de aminotransferase gehaltes in het bloed en de toename van het hartgewicht van de kippenembryo's zijn indicators dat blootstelling aan een magnetisch veld van 100 µT een direct effect heeft op de fysiologische functie van de hartspier. De kippeneieren werden enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 50 µT dat iets hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. De kippeneieren werden anderzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 100 µT dat veel hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. De blootstellingsduur was voldoende lang, maar er werd wel een klein aantal eieren blootgesteld aan EMF.

In een studie van Lis (2019) werd het effect van 50 Hz magnetische velden op de ontwikkeling van kippenembryo' en het verloop van uitkomen bestudeerd. Er waren 3 experimentele groepen met telkens 360 eieren (3 herhalingen met 120 eieren). De eieren werden respectievelijk blootgesteld aan een magnetisch veld van 15 µT, 10 µT en 5 µT bij 50 Hz gedurende de volledige incubatieperiode. De resultaten van deze studie toonden aan dat blootstelling aan een magnetisch veld van 10 µT en 15 µT vroege embryosterfte kan induceren. Ook de kwaliteit van de uitgekomen kuikens was lager bij blootstelling aan 10 µT en 15 µT. Aan de andere kant werd aangetoond dat blootstelling een laagfrequente elektromagnetische velden de embryo ontwikkeling en het uitkomproces versnelden.
Conclusie: Deze studie geeft aan dat de versnelde ontwikkeling en het versneld uitkomproces van de kippenembryo's ten gevolge van blootstelling aan een magnetisch veld van 10 µT en 15 µT als positief kunnen beschouwd worden, maar aangezien dit negatieve gevolgen heeft op de vroege embryosterfte en de kwaliteit van de uitgekomen kuikens moet het resultaat als negatief beoordeeld worden. De kippeneieren werden enerzijds blootgesteld aan magnetische velden van 5 µT en 10 µT die vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. De kippeneieren werden anderzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 15 µT dat iets hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. Er werd telkens een groot aantal eieren blootgesteld aan EMF en de blootstellingsduur was ook voldoende lang.

Laszlo et al. (2017) onderzochten het effect van elektromagnetische velden op kalkoenen. Meer bepaald werd de invloed van EMF op de NE-geactiveerde β-adrenoceptor functie bestudeerd door middel van het gehalte 3'5'-cyclisch-adenosine-monofosfaat (cAMP) te meten. In deze studie werden 40 kalkoenen gedurende 3 weken in aparte kooien blootgesteld aan een magnetisch veld van 10 µT bij 50 Hz (220 V). Eén week ervoor werden de kalkoenen samen geplaatst om zich aan te passen en zo stress te vermijden. Een regeneratieperiode vond gedurende 5 weken na de blootstelling plaats. Uit de resultaten van deze studie bleek dat de NE-geactiveerde β-adrenoceptor functie gedaald was gedurende de 3 weken blootstellingsperiode. Dit werd gecompenseerd door het homeostatisch complex gedurende de 5 weken regeneratieperiode waardoor de NE-geactiveerde β-adrenoceptor functie terug steeg naar het oorspronkelijke niveau.
Conclusie: Deze studie geeft aan dat de daling van de NE-geactiveerde β-adrenoceptor functie gedurende de blootstellingsperiode als negatief kan beschouwd worden aangezien de kalkoenen een depressief gedrag (minder krabben en pikken, meer slapen, hoofd in vleugels stoppen) vertoonden. De magnetische veldsterkte is vergelijkbaar met deze onder een hoogspanningslijn. De blootstellingsduur was ook voldoende lang maar het aantal onderzochte kalkoenen was wel eerder beperkt.

4.2.2 Studies onder hoogspanningslijn

4.2.2.1 Invloed op gedrag bij landbouwzoogdieren

De voorgestelde studie van Burda et al. (2009) bestudeert het effect van ELF MF op de "magnetische alignering" van koeien. Op basis van Google Earth satellietbeelden werden 1699 runderen op 153 plaatsen in België, Duitsland, GB en Nederland en 47 kuddes rendieren (Tsjechië) die grazen nabij een hoogspanningslijn (380 kV, 50 Hz, 15 µT onder de lijn, 1 µT op 70 m van 380 kV lijn) bestudeerd.

Volgens deze studie positioneren runderen in rust hun lichaam bij voorkeur evenwijdig met de noord-zuid as, wanneer deze meer dan 500 m van een hoogspanningslijn verwijderd zijn. Wanneer de kuddes zich in de buurt van hoogspanningslijnen bevonden (tot 150 m) was de oriëntatie meer random zonder een preferentie voor de noord-zuid as. Slaby et al. (2013) bevestigden dat kuddes zich preferentieel oriënteren volgens de noord-zuid as, maar dat ook de densiteit van de kudde van belang is. Ook Begall et al. (2008) zagen dat runderen en rendieren zich preferentieel oriënteren volgens veldlijnen van het magnetisch veld van de aarde, maar enkel wanneer er weinig wind en zon is.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat ELF-MF van de hoogspanningslijn zelf een invloed kan hebben op de oriëntatie van runderen, maar enkel als er geen of weinig andere omgevingssignalen zijn die de oriëntatie beïnvloeden. Er werd een groot aantal runderen op verschillende locaties bestudeerd.

Weijers et al. (2018) evalueerden het effect van het magneetveld door aan 34 koeien een neodymium magneet te bevestigen. Deze auteurs vonden geen effect van de magneet op de oriëntatie van de koeien. De oriëntatie van de koeien werd gemeten met een kompas. Ook bestudeerden ze of de dichtheid van de kudde een effect had op de oriëntatie, maar dit bleek niet het geval te zijn. Volgens Burda & Begall, die repliceerden op deze studie, zouden er te weinig dieren bestudeerd zijn en zou de methodiek ook niet correct zijn.

Een recente review van Schneider et al. (2022) omtrent magnetoreceptie bij dieren, haalt ook bovenstaande studies aan. Er werd geconcludeerd dat de kans dat magnetoreceptie aanwezig is meer waarschijnlijk is dan de afwezigheid hiervan. Echter gedrag dat verband houdt met perceptie van magnetische signalen kan prioriteit geven aan andere omgevingssignalen en komt alleen tot uiting als een dier nergens anders op kan vertrouwen. Dit maakt het ontwerpen van gedragsexperimenten die zowel realistisch als succesvol zijn (er worden voldoende omgevingsprikkels gecontroleerd zodat een dier reageert op magnetische signalen) een uitdagende taak.

4.2.2.2 Invloed op vruchtbaarheid/prestaties bij landbouwzoogdieren

Algers & Hultgren (1987) bestudeerden de effecten van langdurige blootstelling aan een hoogspanningslijn van 400 kV (50 Hz) op de oestrus en vruchtbaarheid bij koeien. In deze studie werden 58 vaarzen onder een hoogspanningslijn met een elektrisch veld van 4 kV/m en een magnetisch veld van gemiddeld 2 µT gehouden (variatie 0.39 µT en 4.7 µT). 58 controle vaarzen werden weg van de lijn gehouden. De koeien werden 24 dagen nadat ze op de weide werden geplaatst geïnsemineerd en nadien werden verschillende vruchtbaarheidsparameters opgevolgd. Uit deze studie is gebleken dat de lengte en regelmaat van de oestrische cyclus, het progesterongehalte tijdens de oestruscyclus, het aantal inseminaties per dracht en het aantal dieren dat drachtig werd niet werden beïnvloed door de hoogspanningslijn.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was op de oestrische cyclus en de vruchtbaarheid bij de koeien. Bij deze studie moet er echter wel rekening met gehouden worden dat de blootstelling van de koeien aan het magnetisch veld varieert (tussen 0.39 en 4.7 µT), gezien de blootgestelde koeien uiteraard niet steeds onder de lijn grazen.

Mahmoud & Zimmerman (1983) onderzochten het effect van elektromagnetische velden op varkens. 30 varkens, die onder een 345 kV hoogspanningslijn in hokken (**Figuur 6**) gehouden werden, werden vergeleken met 30 controle varkens.

Figuur 7: Testopstelling varkens onder hoogspanningsmasten in het onderzoek van Mahmoud en Zimmerman (1983).

Er werden geen significante verschillen gevonden tussen beide groepen wat betreft het gewicht, de voederopname, de vruchtbaarheid en dracht, het aantal levend geboren biggen, het gedrag en de groei van de varkens.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was op het gewicht, de voederopname, de vruchtbaarheid en dracht, het aantal levend geboren biggen en het gedrag en de groei van de varkens. Merk wel op dat de varkens in hokken gehuisvest werden die niet te vergelijken zijn met de huidige varkensstallen, die beter afgeschermd zijn van de hoogspanningslijnen. Er werd ook een klein aantal varkens onderzocht.

Lee et al. (1993) bestudeerden het effect van elektrische en magnetische velden afkomstig van een hoogspanningslijn op schapen. In deze studie werd onderzocht of blootstelling aan EMF de afscheiding van melatonine (sturende factor van voortplanting) en het normaal optreden van de puberteit bij vrouwelijke lammeren kan beïnvloeden. Hiervoor werden 20 vrouwelijke lammeren willekeurig in gelijke aantallen toegewezen aan een behandelingsgroep en een controlegroep. De behandelde lammeren werden gedurende 8 maanden in hokken onder een 500 kV hoogspanningslijn gehouden en blootgesteld aan een elektrisch veld van 6 kV/m en een magnetisch veld van 4 µT bij 60 Hz. Uit deze studie kon geconcludeerd worden dat blootstelling aan EMF geen effect had op de afscheiding van melatonine, de leeftijd van pubertijd en het aantal opeenvolgende oestrische cycli bij vrouwelijke schapen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was op de afscheiding van melatonine, de leeftijd van pubertijd en het aantal opeenvolgende oestrische cycli bij vrouwelijke schapen. Het effect van EMF van de hoogspanningslijn zelf werd bestudeerd maar er werd wel een klein aantal lammeren onderzocht.

Het onderzoek van Thompson et al. (1995) was identiek aan de studie van Lee et al. (1993), maar in deze studie werd onderzocht wat het effect is van EMF afkomstig van een hoogspanningslijn op de cortisol (=stresshormoon) concentraties, de toename van lichaamsgewicht en de wolgroei bij vrouwelijke lammeren. Opnieuw werden 20 vrouwelijke lammeren willekeurig in gelijke aantallen toegewezen aan een behandelingsgroep en een controlegroep. De behandelde lammeren werden

gedurende 8 maanden in hokken onder een 500 kV hoogspanningslijn gehouden en blootgesteld aan een elektrisch veld van 6 kV/m en een magnetisch veld van 4 µT bij 60 Hz. Uit deze studie kon geconcludeerd worden dat blootstelling aan EMF geen invloed had op de afscheiding van cortisol, de toename van lichaamsgewicht en de wolgroei bij ooilammeren.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was op de afscheiding van cortisol, de toename van lichaamsgewicht en de wolgroei bij ooilammeren. Het effect van EMF van de hoogspanningslijn zelf werd bestudeerd maar er werd wel een klein aantal lammeren onderzocht.

Hefeneider et al. (2001) onderzochten langetermijneffecten van elektrische en magnetische velden van 60 Hz op de IL-1- en IL-2-activiteit bij schapen. 45 ooilammeren werden willekeurig verdeeld in 3 groepen van 15 lammeren. Eén groep werd in een hok gehuisvest onder de hoogspanningslijn (500 kV), een tweede groep werd in een afgeschermd hok (enkel magnetisch veld) gehouden onder de hoogspanningslijn en een derde groep werd in een controle hok op enkele honderden meters van de hoogspanningslijn gehouden. Gedurende de blootstellingsperiode van 27 maanden werden maandelijks bloedstalen genomen van alle dieren. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen de groepen in de functie van het immuunsysteem. In twee eerdere korte termijnonderzoeken (10 maanden) van dezelfde onderzoekers werden wel significante verschillen waargenomen in de werking van het immuunsysteem tussen blootgestelde en niet-blootgestelde groepen. Vrouwelijke lammeren van 8 tot 10 weken oud werden in deze studies blootgesteld aan een elektrisch veld van 5.2 tot 5.8 kV/m en een magnetisch veld van 3.5 tot 3.8 µT. Uit deze studie werd geconcludeerd dat de leeftijd van de dieren, de veldsterkte en het seizoen/weersomstandigheden belangrijke variabelen zijn om te bepalen of de EMF-blootstelling een effect heeft op de werking van het immuunsysteem bij schapen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat, afhankelijk van de leeftijd van de schapen, de veldsterkte, het seizoen en de weersomstandigheden, EMF-blootstelling de werking van het immuunsysteem negatief kan beïnvloeden. Het effect van EMF van de hoogspanningslijn zelf werd bestudeerd. Ook de blootstellingsduur was voldoende lang, maar er werd wel een klein aantal lammeren onderzocht. Echter doordat het EMF niet werd gemeten, is er geen info over de effectieve blootstellingsniveaus wat een minpunt van deze studie is.

4.2.2.3 Invloed op vruchtbaarheid bij vogels

Het effect op vogels is ook onderwerp van verschillende studies. Tomás et al. (2012) bestudeerden de eigrootte en het aantal eieren van de koolmees nabij een hoogspanningslijn (66 kV) in Spanje. Hiervoor werden nestkastjes gehangen in bomen vlakbij en verder van de lijn. Over de verschillende jaren heen werden 112 niet blootgestelde nesten vergeleken met 51 blootgestelde. Het magnetisch veld werd gemeten met een *Triaxal Elf Magnetic field meter*. In nesten met een blootstelling > 0.1 mG (0.01 µT) steeg zowel de grootte van de eieren als het aantal significant bij blootstelling aan EMF. Verder zagen ze bij de groep blootgestelde mezen dat het aantal eieren daalde tussen 0.1 en 0.5 µT en steeg tussen de 0.5 en 0.9 µT.

Koolmezen nabij een hoogspanningslijn zouden dus meer investeren in reproductie maar de verklaring hiervoor is onduidelijk. Er zijn studies die deze bevinding bevestigen, maar ook studies (Hamann et al. 1998) die net het tegenovergestelde waarnamen. Zij zagen een niet-significante daling van het aantal eieren bij koolmezen, maar een stijging bij pimpelmezen. Tomás et al. (2012) zien verschillende mogelijke verklaringen voor deze verschillen; Hamann et al. (1998) bestudeerden het effect nabij hoogspanningslijnen van 100 en 20 kV, maar het kan eveneens te wijten zijn aan de afstand tussen de kasten en de lijn (i.e. het blootstellingsniveau en de afstandsverschillen zelf worden niet vermeld) of de omgevingsomstandigheden. *Bemerk dat we de studie van Hamann niet gevonden hebben, maar*

we vonden het belangrijk om toch deze inconsistentie met de studie van Tomás et al. (2012) aan te halen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat EMF-blootstelling een invloed heeft op de grootte van de eieren en het aantal eieren bij mezen, maar dit effect kan afhankelijk zijn van de afstand tussen de kasten en de hoogspanningslijn of de omgevingsomstandigheden.

In de review van Fernie & Reynolds (2005) op basis van verschillende wetenschappelijke artikels, wordt het effect van EMF van hoogspanningslijnen op vogels bestudeerd. EMF-blootstelling, hetzij in het veld of onder relevante labo-omstandigheden, heeft invloed op het gedrag, de fysiologie, het endocriene systeem en de immuun functie van vogels, wat over het algemeen resulteerde in negatieve gevolgen voor hun voortplanting of ontwikkeling. Echter de gevoeligheid zou zeer sterk afhankelijk zijn van het species. Zo zouden vb. kippen en zwaluwen zeer gevoelig zijn en vb. haviken, raven, steenarenden zouden minder gevoelig zijn.

Dell'Omo et al. (2009) bestudeerden de invloed van elektromagnetische velden geproduceerd door hoogspanningslijnen op de groei, het melatoninegehalte, het aantal leukocyten en het vliegsucces bij wilde torenvalken. Kuikens van paren torenvalken die zich nestelen op hoogspanningslijnen werden vergeleken met kuikens van paren die zich elders nestelen in vergelijkbare habitats. Het magnetisch veld werd in elke nestkast gemeten en geanalyseerd. Kuikens die in nesten op hoogspanningslijnen zijn uitgekomen werden blootgesteld aan EMF vanaf de vroege stadia van hun embryonale ontwikkeling *in ovo* tot ze uitvliegen. Er konden geen significante verschillen waargenomen worden tussen de EMF blootgestelde en de niet-blootgestelde vogels wat betreft de groei, het melatonine gehalte, het aantal leukocyten en het vliegsucces. Er dient echter opgemerkt te worden dat het effect van elektromagnetische velden in andere situaties niet kan uitgesloten worden. Om dit te evalueren zijn er nog verdere studies in andere gebieden en bij verschillende vogelsoorten nodig.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat blootstelling aan EMF geen significant effect heeft op de groei, het melatonine gehalte, het aantal leukocyten en het vliegsucces bij wilde torenvalken. Maar er dient opgemerkt te worden dat dit effect situatie- en dier afhankelijk is. Dus om dit effect te evalueren zijn er nog verdere studies in andere gebieden en met verschillende vogelsoorten nodig.

Conclusie

Er zijn heel wat studies, meestal m.b.t. vogels en ratten/muizen, die het effect van elektromagnetische straling op verschillende vertebraten bestuderen. De uitkomst van deze studies is zeer variabel. Er zijn ongeveer evenveel studies die aantonen dat ELF-EMF een bepaalde respons kan uitlokken t.o.v. studies die geen significant effect vinden.

Wat betreft het effect van ELF-MF op de **oriëntatie** van organismen zijn de resultaten het meest eenduidig, antropogene straling **kan** de magnetisch oriëntatie (i.e. oriëntatie op basis van natuurlijke magnetisch veld) verstoren. Echter de mate waarin organismen gebruik maken van magnetoreceptie is sterk afhankelijk van de mate waarin andere omgevingssignalen (vb. wind, schaduw, andere dieren) gebruikt worden om hun oriëntatie te bepalen. Het is dus niet duidelijk of en onder welke omstandigheden de verstoring van het "natuurlijke kompas" door antropogene straling voor de dieren ook ecologische gevolgen heeft.

Het effect van ELF-EMF op de **voortplanting** werd veelvuldig onderzocht bij **knaagdieren** (ratten en muizen). De resultaten uit de literatuur zijn hier niet eenduidig, het aantal studies die geen effect vonden, was gelijkaardig aan het aantal studies waarbij een negatief effect gerapporteerd werd. Het ELF-EMF had meestal geen effect op de vruchtbaarheid zelf, maar skeletafwijkingen bij foetussen

werden wel gerapporteerd. Het is echter niet duidelijk of deze afwijkingen tijdelijk of blijvend zijn gezien de dieren niet verder opgevolgd werden. Verder werden ook soms veranderingen in concentraties van hormoonreceptoren, cellulaire responsen of expressie van genen waargenomen, waarbij verondersteld werd dat dit mogelijks een invloed kan hebben, maar het gevolg van deze veranderingen werd niet steeds onderzocht.

Het effect van ELF-MF op **tumoren** werd vaak onderzocht bij **knaagdieren**. Bij de meeste studies bleek er geen significant effect te zijn op de ontwikkeling van tumoren. Bij sommige studies had ELF-MF een negatief effect op de ontwikkeling van tumoren. Echter dient hierbij opgemerkt te worden dat in de studies ELF-MF vaak gecombineerd werd met tumor inducerende stoffen. Echter uit Bua et al. (2018) bleek dat ELF-MF alleen geen effect had op tumoren, maar wel het effect van tumor-inducerende stoffen kan versterken. Er is verder onderzoek nodig naar de mogelijks synergistische effecten van ELF-MF en andere stoffen op tumorontwikkeling, aangezien dieren (en mensen) aan verschillende stoffen/stralingen etc. worden blootgesteld.

De invloed op de **prestatie parameters** van **melkkoeien** werd onderzocht in verschillende studies (vaak van dezelfde auteurs nl. Bourchard en Rodriguez). Hierbij bleek er geen effect te zijn op de gezondheid en het gedrag van de kalveren. Melatonine gehaltes waren lager en prolactine concentraties waren hoger bij blootstelling, dit kan als positief beschouwd worden. De oestrische cyclus was iets langer bij blootstelling. Dit zou echter geen implicaties hebben op de vruchtbaarheid en door de verdeling van de data was de nulhypothese daar mogelijks onterecht verworpen. Het effect op melkproductie bleek licht negatief te zijn. Echter vermelden de auteurs ook dat er een interactie is tussen “tijd” en “behandeling”. Het negatief effect op de melkproductie was kleiner naar het einde van het experiment toe, waarbij de hypothese gesteld wordt dat de dieren zich kunnen aanpassen aan het veranderde magnetisch veld, zonder blijvende gevolgen op de productiviteit. Er zijn dus experimenten op langere termijn met veel dieren nodig om te na gaan of een continue blootstelling economische gevolgen heeft.

Een beperkt aantal studies bestudeerden het effect van hoogspanningslijnen op **schapen**. Uit deze studies bleek er geen significant effect te zijn op de groei, de ontwikkeling, de wolproductie en de oestrische cyclus. Onder bepaalde omstandigheden zou er, volgens één studie, een negatief effect kunnen zijn op het immuunsysteem, maar dit effect was sterk afhankelijk van de leeftijd en de weersomstandigheden. Verder onderzoek is dus nodig.

Heel wat studies onderzochten onder labo-omstandigheden het effect van ELF-MF op **kippenembryo’s**. Sommige studies rapporteren geen effect van blootstelling, echter bij het merendeel van de studies bleek er wel een effect te zijn. Vooreerst bleken de eieren sneller uit te komen en de kuikens sneller te piepen. Dit kan als een positief effect beschouwd worden, indien er geen verdere gevolgen zijn. Sommige studies rapporteren echter een negatief effect op de morfologie en ontwikkeling van kippenembryo’s. Maar de aan- of afwezigheid van dit effect zou afhankelijk zijn van de genetica van kippen. Verder dient opgemerkt te worden dat de magnetische veldsterkte bij deze labo-studies vaak veel hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. De kippeneieren worden ook steeds in broedstoven binnen uitgebroed. Er werden geen onderzoeken teruggevonden m.b.t. het effect van hoogspanningslijnen die boven een kippenstal lopen.

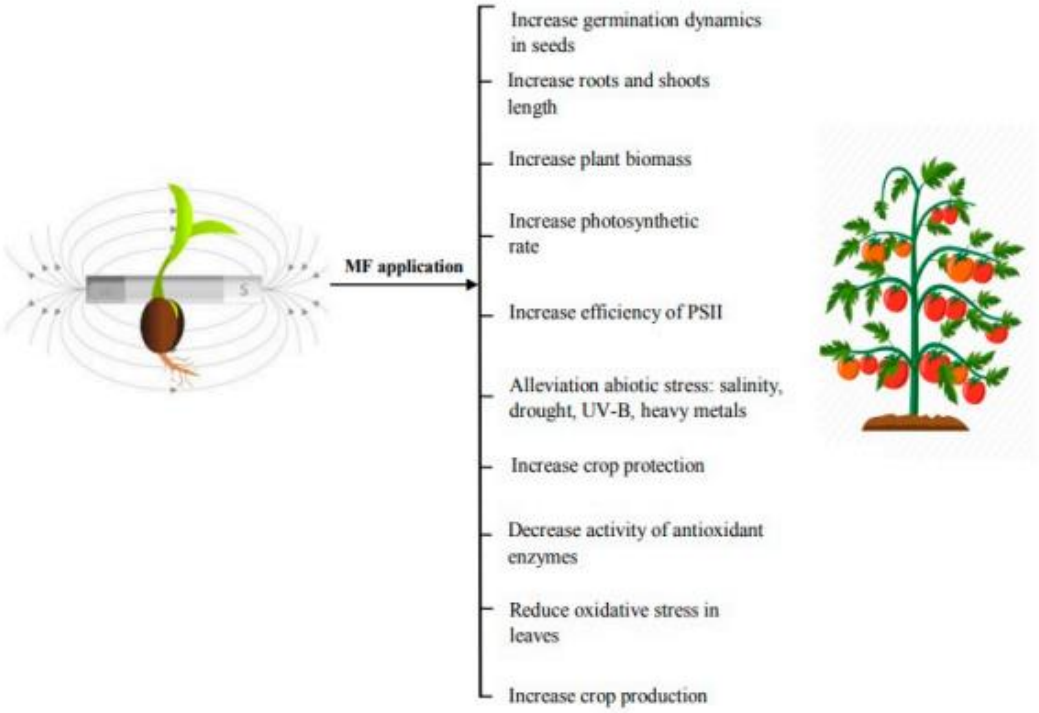
Er zijn ook een aantal studies die de **grootte** en het **aantal eieren** van **wilde vogels** nabij hoogspanningslijnen bestudeerden. Hier zijn de resultaten opnieuw tegenstrijdig. Soms wordt een stijging van het aantal eieren waargenomen en soms een daling. Dit zou te maken kunnen hebben met de proefopzet en de soort vogel die bestudeerd wordt. De genetica zou dus een invloed hebben.

Er kan dus geconcludeerd worden dat de verandering van het magnetische veld, door vb. de aanwezigheid van een hoogspanningslijn, een bepaalde respons kan uitlokken bij dieren (vb. verandering in hormoonconcentraties, genexpressie, etc.). Deze veranderingen kunnen een effect hebben op de fysiologie (groei, ontwikkeling, vruchtbaarheid) van organismen. Maar dit is niet steeds het geval. Er dient ook onderzocht te worden of deze effecten blijvend zijn of een tijdelijke reactie zijn op een veranderde toestand.

Verder dient ook opgemerkt te worden dat er bij deze studies telkens vaak een klein aantal dieren onderzocht werd onder labo-omstandigheden waarbij de stralingsniveaus vaak hoger zijn dan nabij een hoogspanningslijn. Om conclusies te kunnen trekken of ELF-EMF al dan niet negatieve gevolgen heeft op landbouwhuisdieren door verminderde prestaties of op de omgeving (door veranderde species samenstelling, zie review van Fernie & Reynolds (2005)) zijn er meer lange-termijn studies, over verschillende generaties van dieren heen, nodig en wordt het aanbevolen om de studies op te volgen.

4.3 EFFECT OP PLANTEN

Magnetoreceptie bij planten is voornamelijk gebaseerd op excitatie van cryptochroom. Magnetische velden worden vaak toegepast om plantaardige productie te stimuleren. Zo zou blootstelling aan een magneetveld resulteren in een toenemende gemiddelde kiemkracht en wortel- en scheutgroei, een hogere productiviteit, een toenemend fotosynthetisch pigmentgehalte, een toenemende celdeling, evenals de opname van water en voedingsstoffen. Bovendien suggereren verschillende onderzoeken dat magnetische velden verwondingen voorkomen die worden veroorzaakt/toegebracht door ziekten en plagen op landbouwgewassen en andere economisch belangrijke planten en helpen bij het verminderen van de oxidatieve schade in planten veroorzaakt door stresssituaties (Sarraf et al. 2020; Pietruszewski & Martínez, E., 2015). Ondanks de grote verscheidenheid aan studies blijkt dat magnetische velden van 50-60 Hz over het algemeen een positief effect hebben op plantengroei (**Figuur 8**). **Echter, bemerk dat de meeste studies uitgevoerd werden onder labo-omstandigheden, waarbij de duur van de blootstelling beperkt is.**



Figuur 9: Morfologische, fysiologische en biochemische effecten van magnetische velden op planten (Sarraf et al. 2020).

4.3.1 Studies met artificiële bestraling

De meeste studies werden uitgevoerd onder labo-omstandigheden, waarbij planten gedurende een beperkte tijd werden blootgesteld aan een bepaalde veldsterkte. Dit is uiteraard niet steeds representatief voor veldomstandigheden met een quasi continue blootstelling. Bijna steeds is het effect op kieming bij blootstelling aan EMF positief.

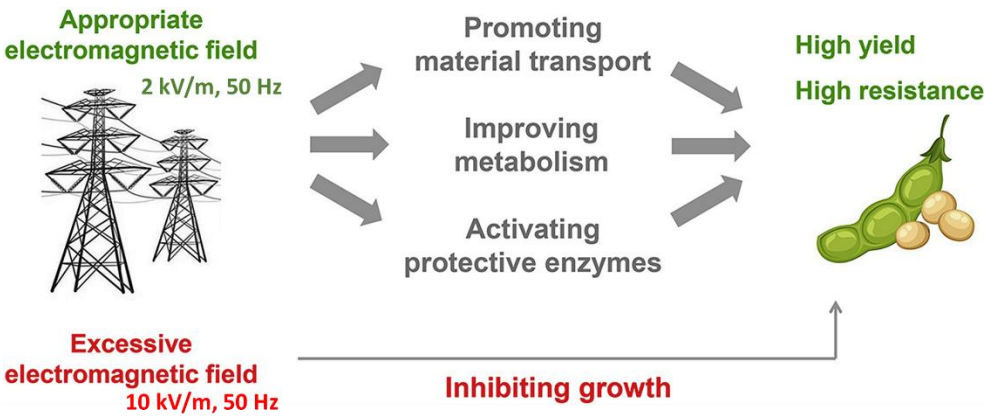
Deze studies worden verder niet in detail besproken, maar worden vermeld in de Appendix. Verder worden deze studies vaak gekenmerkt door een hoge blootstelling en korte blootstellingsduur.

4.3.2 Studies onder hoogspanningslijn

Soja et al. (2003) bestudeerden het effect van wintertarwe en maïs geteeld nabij (op 2, 8, 14 en 40 m afstand) een hoogspanningslijn (380 kV, EF: 0.2 – 0.4 kV/m, MF: 0.4 – 4.5 µT) gedurende een periode van 5 jaar. Bij tarwe werd in elke plot (1.77 m^2) geoogst en bij maïs ging het telkens over vijftien planten. Er werd geen significante en eenduidige invloed van de afstand tot de verbinding waargenomen. Bij maïs werden geen effecten waargenomen, maar bij tarwe vond men een lichte trend ($P < 0.10$) voor hogere opbrengst op een grotere afstand van de lijn, en dit bij droge jaren, tijdens natte jaren niet.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er geen effect was bij maïs. Er was een mogelijks licht negatief (maar niet significant bij α = 0.05) effect bij tarwe, maar enkel bij bepaalde weersomstandigheden. Het effect van EMF van de hoogspanningslijn zelf werd gedurende 5 jaar onderzocht.

El-Khawas (2012) bestudeerde het effect van een hoogspanningslijn op maïs (Egypte). Er werden geen specificaties omtrent de veldsterkte vermeld, enkel de afstand tot de lijn: direct onder de lijn (hoge blootstelling), 250 m (matige blootstelling) en 500 m verder (controle, nagenoeg geen blootstelling). Op 250 m van de lijn werd de beste kieming, de beste vegetatieve groei en de hoogste opbrengst vastgesteld. Ook steeg het gehalte aan oplosbare suikers, stikstof en de inhoud aan fenolische componenten bij een matige blootstelling. Verder werd de kwaliteit en kwantiteit van de olie gestimuleerd bij een blootstelling op 250 m. Direct onder de lijn werd een hogere concentratie aan H_2O_2 en malondialdehyde gemeten (als maat voor membraanschade).
Conclusie: Deze studie toonde aan dat er direct onder de hoogspanningslijn een negatief effect was op de opbrengst en de kwaliteit van maïs. Op 250 m afstand van de hoogspanningslijn was er een positief effect t.o.v. geen invloed van het ELF-MF. Een minpunt van deze studie is dat de veldsterkte niet gemeten werd.

Li et al. (2019) bestudeerden het effect van een hoogspanningslijn op de groei van soja in China (frequentie 50 Hz, intensiteit van 0, 2 en 10 kV/m). Het kiemingspercentage steeg met de toenemende intensiteit. Wat betreft het aantal peulen en het drooggewicht van de planten waren er geen significante verschillen. Maar de opbrengst van de bonen was significant hoger bij een blootstelling aan 2 kV/m. Ook de totale hoeveelheid oplosbare suikers, eiwitgehalte en chlorofyl was het hoogst bij 2 kV/m. Verder bleken 2.977 genen te worden opgereguleerd en 1,462 genen te worden downgereguleerd bij blootstelling aan het EF. Dit wijst erop dat straling een bepaalde respons uitlokt. Maar welk effect (positief/negatief/neutraal) die op- en down regulatie teweegbrengt moet verder onderzocht worden.



Figuur 10: Grafisch abstract van de studie van Li et al. (2021).

Conclusie: Deze studie toonde aan dat blootstelling aan een elektrisch veld van 10 kV/m een negatief effect heeft op de groei en kwaliteit van soja. Een lage blootstelling (2 kV/m) stimuleert echter de groei en kwaliteit. Echter doordat het EMF van de hoogspanningslijn niet werd gemeten, is er geen info over de effectieve blootstellingsniveaus (dus de kwaliteit van de studies voor dit beoogde doel is niet goed).

Conclusie

Blootstelling van planten aan magnetische straling **kan** verschillende fysiologische reacties uitlokken. Het effect op de kiemkracht werd hierbij het meeste bestudeerd, waarbij het bestralen van zaden gedurende een korte periode een positief effect zou hebben. Wanneer men deze resultaten zou extrapoleren naar een landbouwcontext kan dit zowel positief als negatief zijn. Een betere kiemkracht van een bepaald gewas kan zorgen voor meer opbrengst, maar ook onkruidzaden zouden mogelijks beter kunnen kiemen wat resulteert in hogere onkruiddruk. Echter dit laatste kan dan eventueel weer als iets positief gezien worden voor de biodiversiteit in bepaalde (natuur)gebieden.

Er zijn weinig studies (zie hierboven) die de continue blootstelling van ELF-EMF als gevolg van hoogspanningslijnen bij 50 Hz op planten bestuderen. Deze studies tonen aan dat bij lage tot matige blootstelling er zeker geen negatief effect op de plantengroei zou zijn. Sommige parameters bleken zelf positief beïnvloed te worden waarbij een EMF met een lage (2 kV/m, 50 Hz) veldsterkte of op 250 m vanaf de hoogspanningslijn kan werken als een bio-stimulator, welke de groei van bepaalde gewassen kan bevorderen. Direct onder de lijn zou er mogelijks een lichte daling van de productiviteit zijn. Echter zijn de verschillen in productiviteit, gemeten als gevolg van de straling, vaak inferieur aan de verschillen als gevolg van vb. weersomstandigheden. Bemerk dat deze conclusies gebaseerd zijn op twee studies, meer onderzoek bij verschillende gewassen is dus nodig.

Ook hier weer zijn meer lange-termijn studies onder verschillende omstandigheden nodig, waarbij voldoende rekening gehouden wordt met confounding factors, zoals vb. drupschade door de lijn, moeilijker bewerken van de akker rond de mast van de hoogspanning, wat ook gevolgen kan hebben voor de productiviteit van het gewas. Het wordt aanbevolen om de studies op te volgen.

***Opmerking*:** Binnen het kader van BBEMG zal de proefhoeve Bottelare gedurende enkele groeiseizoenen (start groeiseizoen 2023) ook de groei, de ontwikkeling en de opbrengst van tarwe en maïs op verschillende afstanden van hoogspanningslijnen opvolgen.

4.4 EFFECT OP INSECTEN

Vanbergen et al. (2019) reviewden het effect van verschillende soorten straling op insecten (**Figuur 11**). Er wordt aangehaald dat bijen het (natuurlijke) magnetische veld gebruiken voor oriëntatie, navigatie en het vinden van voedsel. Verder gebruiken ze elektrische velden voor intra- in interspecifieke (e.g.[2] plant – bestuiver) communicatie. In het H2020 EKLIPSE project werd onderzoek gedaan naar het effect van antropogene straling op bijen, wespen, etc. Zowel Vanbergen et al. (2019) als het H2020 EKLIPSE project concludeerden dat het onderzoek zeer beperkt was. In deze studies wordt o.a. verwezen naar de onderzoeken van Shepherd et al. voor het effect van ELF-MF op insecten. Deze studies worden hieronder besproken.

Figuur 12: Niveau van de wetenschappelijke kennis op bestuivers en bestuiving, in het rode kader het effect van hoogspanningslijnen (Vanbergen et al. 2019). Betrouwbaarheid (confidence) wordt onderverdeeld in verschillende niveaus. **Well established** - uitgebreide meta-analyse of andere synthese of meerdere onafhankelijke onderzoeken die het eens zijn; **Established but incomplete** - algemene overeenstemming hoewel er slechts een beperkt aantal studies bestaat, maar geen alomvattende synthese en/of de studies behandelen de vraag onnauwkeurig; **Unresolved** - er bestaan meerdere onafhankelijke onderzoeken, maar de conclusies komen niet overeen; **Inconclusive** - beperkt onderzoek en grote kennislacunes.

4.4.1 Studies met artificiële bestraling

Shepherd et al. (2018) bestudeerden het effect van het veld van ELF-MF van hoogspanningslijnen (50 Hz, 400 kV, 20 – 7000 µT) op bijen, maar dan nagebootst in het labo. De bijen werden gedurende 1 min blootgesteld aan het EMF en dit gedurende 5 keer. Dit had als doel om een scenario waarbij de bijen de lijn passeren na het lokaliseren van een voedselbron te simuleren. Bij bijen blootgesteld aan elektromagnetische straling daalde de geheugensterkte. Hoe sterker het magnetisch veld, hoe sterker de daling. De vleugelslagfrequentie nam toe met de veldsterkte en het aantal succesvolle vluchten (waarbij pollen gevonden werden) daalde bij blootstelling aan 100 µT.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat een kortstondige blootstelling aan ELF-EMF negatieve gevolgen zou hebben op het vinden van voedsel. Echter lange-termijn studies zijn nodig om na te gaan of deze effecten blijvend zijn, hoe lang de "herstelperiode" is en om na te gaan of de insecten in staat zijn om zich aan te passen aan de veranderende veldsterkte. De bijen werden enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 20 µT dat hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn. Anderzijds werden de bijen blootgesteld aan magnetische velden van 100, 1000 en 7000 µT die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn.

In een volgende studie van Shepherd et al (2019) werden bijen gedurende 17 uur blootgesteld aan een magnetische velden van 100 µT en 1000 µT. De effecten van veld-realistische ELF-MF op leer- en agressieniveaus bij bijen werden onderzocht. De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat korte termijnblootstelling aan ELF-MF op niveaus die in bijenkorven onder hoogspanningslijnen kunnen aangetroffen worden de leerprestaties verminderde en de agressieniveaus verhoogde.
Conclusie: Ook hier werd een eerder negatief effect op het gedrag van bijen vastgesteld. Lange-termijn studies zijn nodig om deze stelling te bevestigen of te verwerpen. Er dient opgemerkt te worden dat de magnetische veldsterktes niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. Ook de blootstellingsduur was beperkt.

In Shepherd et al. (2021) werd aangetoond dat de vleugelslagfrequentie van sprinkhanen verandert bij blootstelling aan 50 Hz magnetische velden waarbij de verandering sterker is als de veldsterkte toeneemt (100, 1000 en 7000 µT). De blootstellingsduur in dit experiment was < 15 s. Het effect op de vleugelslagfrequentie bleek afhankelijk te zijn van de initiële frequentie, waarbij sprinkhanen die vlogen met een frequentie lager dan 20 Hz hun vleugelslagfrequentie verhoogden, terwijl sprinkhanen die vlogen met een vleugelslagfrequentie hoger dan 20 Hz hun vleugelslagfrequentie verlaagden. Tijdens de toepassing van 50 Hz EMF werd de vleugelslagfrequentie meegevoerd tot een verhouding van 2:5 (twee vleugelslagcycli tot vijf EMF-cycli) van de toegepaste EMF. Deze resultaten tonen aan dat blootstelling aan ELF-MF's leidt tot kleine, maar significante veranderingen in de frequentie van de vleugelslag bij sprinkhanen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat de vleugelslagfrequentie van sprinkhanen werd beïnvloed door het ELF-MF, waarbij het versnellen/vertragen afhankelijk was van de initiële vleugslagfrequentie. Ook hier is meer inzicht op het gedrag op lange termijn nodig en of er mogelijks een aanpassingsvermogen is. Er dient opgemerkt te worden dat de sprinkhanen werden blootgesteld aan magnetische velden die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn.

In een recente studie van Migdal et al. (2022) werd het effect op het gedragspatroon van bijen bestudeerd bij blootstelling aan magnetische velden. Bijen werden blootgesteld aan een magnetisch veld van 1000 µT en 1700 µT bij 50 Hz gedurende 10 minuten, 1 uur en 3 uren. Blootstelling aan magnetische velden bleek de gedragspatronen significant te beïnvloeden, maar het was moeilijk om de richting van de veranderingen te bepalen met toenemende tijd of intensiteit van blootstelling. Elke groep vertoonde individuele gedragspatronen maar er was één overheersend storend symptoom nl. verlies van evenwicht. Gedragsveranderingen zijn een indicatie van de reactie op het magnetisch veld.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat blootstelling aan ELF-MF zorgt voor gedragsveranderingen bij bijen. Bemerk dat de blootstellingsniveaus in deze studie zeer hoog zijn en niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. Ook de blootstellingsduur was zeer kort, maar voor bijen is een korte blootstellingduur relevant gezien deze vaak slechts een kort periode in de buurt van een hoogspanningslijn zijn en dan verder vliegen.

Wyszkowska et al. (2016) onderzochten de invloed van ELF-MF op het gedrag, de neuronale en spierreacties en de niveaus van stresseiwitten bij woestijnsprinkhanen. De woestijnsprinkhanen werden gedurende 24 uur blootgesteld aan EMF van 4000 µT en 7000 µT bij 50 Hz. Uit de resultaten van deze studie is gebleken dat blootstelling aan ELF-MF de trapkracht en het normale loopgedrag van sprinkhanen verminderde en de niveaus ven stresseiwitten verhoogde.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat blootstelling aan ELF-MF negatieve gevolgen heeft op het gedrag van woestijnsprinkhanen en stress verhoogt. Merk wel op dat de onderzochte blootstellingsniveaus zeer hoog zijn en niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn. Ook de blootstellingsduur was kort.

In een studie van Maliszewska et al. (2018) werd het effect van blootstelling aan EMF op de reactie van kakkerlakken op schadelijke hitte geëvalueerd. De kakkerlakken werden 24 uur, 72 uur en 7 dagen blootgesteld aan een magnetisch veld van 7000 µT bij 50 Hz. De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat blootstelling aan EMF de reactie van kakkerlakken op schadelijk hitte verandert. Hoe langer de blootstelling, hoe sterker het effect werd waargenomen. Waarschijnlijk heeft dit te maken met het feit dat blootstelling aan EMF de pijngevoeligheid en pijnremming beïnvloedt. Verder is ook gebleken dat blootstelling aan EMF leidde tot oxidatieve stress bij kakkerlakken.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat blootstelling aan zeer sterke magnetische velden zorgt voor oxidatieve stress en een verandering van de reactie op schadelijke hitte bij kakkerlakken. Merk op

dat de kakkerlakken gedurende een korte periode werden blootgesteld aan een magnetisch veld dat niet vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn.

Li et al. (2013) onderzochten de invloed van ELF-MF op de genexpressie en het voortplantingsvermogen van mannelijke fruitvliegen (*Drosophila melanogaster*). De mannelijke fruitvliegen werden blootgesteld aan een magnetisch veld van 3000 µT bij 50 Hz. Uit dit onderzoek bleek dat langdurige blootstelling aan ELF-MF meer genexpressieveranderingen veroorzaakte dan korte termijnblootstelling. Het betreft veranderingen in expressie van genen die betrokken zijn bij metabole processen, reactie op stress, veroudering, celdood en cellulaire ademhaling. Verder werd ook aangetoond dat kortdurende blootstelling het voortplantingsvermogen van de mannelijke fruitvliegen kan verminderen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat hoge blootstelling aan een magnetisch veld dat niet vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn een negatief effect heeft op verschillende processen bij fruitvliegen.

In een recente studie van Li et al. (2022) werd het effect van ELF-MF op de ontwikkeling van bijenlarven bestudeerd. De larven werden van de tweede levensdag tot het einde van de individuele ontwikkeling blootgesteld aan een magnetisch veld van 3000 µT bij 50 Hz. De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat blootstelling aan ELF-MF een negatieve invloed heeft op het lichaamsgewicht, de overlevingskansen, de groei, de ontwikkeling en de ontwikkelingsduur van de bijenlarven. Verder is ook gebleken dat blootstelling aan ELF-MF een negatieve invloed heeft op het nutriënten- en energiemetabolisme van de bijenlarven en de metamorfose en verpopping ernstig verstoort.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat hoge blootstelling aan een magnetisch veld dat niet vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn een negatief effect heeft op de ontwikkeling en verpopping van bijenlarven.

Chicas-Mosier et al. (2020) bestudeerden het effect van MF (72-280 µT) op het zoeken naar voedsel bij honingbijen. Hoewel geweten is dat bijen een MF gebruiken als signaal om voedsel te lokaliseren, bleek uit de experimenten van Chicas-Mosier et al. (2020) dat bijen kunnen gebruik maken van het MF, maar dat andere signalen belangrijker zijn (vb. kleur van bloemen).
Conclusie: Deze studie toonde aan dat bijen andere signalen kunnen prefereren boven het MF. De bijen werden in de verschillende experimenten blootgesteld aan magnetische velden die niet vergelijkbaar zijn met deze onder een hoogspanningslijn en de frequentie van het magnetisch veld was niet gekend.

Dimitrijevic et al. (2013) onderzochten het effect van een MF op de bewegingsactiviteit van fruitvliegen (*Drosophila subobscura*). Zowel eerste stadium larven als juist ontpopte volwassen fruitvliegen werden gedurende 48 uur blootgesteld aan een extreem laag magnetisch veld van 500 µT bij 50 Hz. Uit deze studie bleek dat de bewegingsactiviteit daalde bij blootstelling aan MF onafhankelijk van het ontwikkelingsstadium van de fruitvliegen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat blootstelling aan MF resulteerde in een dalende bewegingsactiviteit bij fruitvliegen. Dit is niet noodzakelijk negatief, dit kan ook een aanpassing zijn aan de veranderde omgeving. Merk wel op dat de fruitvliegen gedurende een korte periode werden blootgesteld aan een magnetisch veld dat niet vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn.

Zhang et al. (2016) bestudeerden het koppelingsmechanisme van elektromagnetische velden en thermische stress bij fruitvliegen (*Drosophila melanogaster*). Hiervoor werden de vliegen blootgesteld

aan een magnetisch veld van 3000 µT bij 50 Hz. Uit deze studie kon geconcludeerd worden dat de negatieve effecten van thermische stress op de sterftecijfers, de levensduur en de voortbeweging van de fruitvliegen versterkt worden door blootstelling aan elektromagnetische velden. Thermische stress en elektromagnetische velden veroorzaken dus m.a.w. een synergetisch effect.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat EMF bepaalde stressfactoren kan versterken. Er dient wel opgemerkt te worden dat de fruitvliegen werden blootgesteld aan een magnetisch veld dat niet vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn.

In de studie van Graham et al. (2000) werd de invloed van laagfrequente magnetische velden op de groei en ontwikkelingsstabiliteit van fruitvliegen (*Drosophila melanogaster*) bestudeerd. De fruitvliegen werden blootgesteld aan een magnetisch veld van 1.5 µT en 80 µT bij 60 Hz. Uit de resultaten van deze studie bleek dat blootstelling aan magnetisch velden van 1.5 µT en 80 µT leidde tot een significante vermindering van het gewicht van de vliegen. Verder vertoonden de vliegen in een veld van 80 µT een lagere ontwikkelingsstabiliteit. Een groot deel van deze vliegen had gefuseerde buiksegmenten. Blootstelling aan een magnetisch veld van 1.5 µT vertoonde een hogere ontwikkelingsstabiliteit van de fruitvliegen in vergelijking met de controlevliegen.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat een lagere veldsterkte ook negatieve gevolgen zou hebben op de ontwikkeling van fruitvliegen. Meer onderzoek om na te gaan of deze effecten al dan niet blijvend zijn is nodig. In deze studie werden de fruitvliegen enerzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 1.5 µT dat vergelijkbaar is met deze onder een hoogspanningslijn. In deze studie werden de fruitvliegen anderzijds blootgesteld aan een magnetisch veld van 80 µT dat iets hoger is dan deze onder een hoogspanningslijn.

Acosta-Avalos et al. (2015) onderzochten de invloed van wisselende magnetische velden van 60 Hz op de magnetische oriëntatie en magnetosensitiviteit van vuurmieren. De vuurmieren werden blootgesteld aan wisselende magnetische velden van 21 µT, 40 µT en 57 µT in aanwezigheid van constante magnetische velden van 10 µT, 16 µT, 26 µT en 29 µT. De parameters die gemeten werden om de magnetosensiviteit en de magnetische oriëntatie te bepalen waren de ontsnappingstijd en de oriëntatiehoek ten opzichte van de geomagnetische N-Z as. Concluderend werd vastgesteld dat de vuurmieren gevoelig zijn voor magnetische velden. Hun magnetische oriëntatie en magnetosensitiviteit veranderen afhankelijk van de relatie tussen constante en wisselende magnetische velden. In dit onderzoek werd waargenomen dat het gedrag van de mieren enkel aangepast werd bij de volgende magnetische veldintensiteiten: constant 10 µT en wisselend 57 µT, constant 26 µT en wisselend 40 µT en constant 29 µT en wisselend 40 µT.
Conclusie: Deze studie toonde aan dat de sterkte van het magnetisch veld een sterke invloed bleek te hebben op het gedrag van vuurmieren. De vuurmieren werden wel blootgesteld aan magnetische velden die iets hoger zijn dan deze onder een hoogspanningslijn.

4.4.2 Studies onder hoogspanningslijn

Studies die het effect van het EMF geproduceerd door hoogspanningslijnen op bestuivers/insecten/biodiversiteit bestuderen werden niet gevonden. Wel werden een aantal studies gevonden die het gedrag en voorkomen van bijen en vlinders nabij hoogspanningslijnen bestudeerden. Oki et al. (2021) evalueerden het voorkomen van bosvlinders nabij hoogspanningsmasten in coniferen plantages in Japan. Hieruit bleek dat de verscheidenheid aan species en het aantal species het hoogste was nabij hoogspanningsmasten. Dit omdat rond hoogspanningsmasten open plekken zijn in het bos waar bloeiende planten kunnen groeien die een voedingsbron zijn voor de vlinders. Ook Plewa et al. (2020) onderzochten het effect van open plekken in het bos door hoogspanningsmasten in Polen. Zowel vlinders als kevers waren meer divers en

kwamen meer voor nabij masten in deze open plaatsen in het bos. Berg et al. (2016) bestudeerden ook de impact van hoogspanningsmasten in Zweden, zowel in bossen als in landbouwgebied. Ook hier was de diversiteit en het aantal het grootst nabij de masten. Du Clos et al. (2022) en Wagner et al. (2019) evalueerden het voorkomen en de soortenrijkdom van bijen nabij hoogspanningsmasten in de VS. Hieruit bleek ook dat de verscheidenheid aan species en het aantal species het hoogste was nabij hoogspanningsmasten wegens de grote diversiteit aan bloeiende planten. *Gezien in de gebieden waar de observaties gedaan werden sowieso ook straling aanwezig was, kan men zich afvragen of het positief effect door het creëren van open plekken in het bos / natuurlijke flora in landbouwgebieden een meer positief effect heeft dan de straling die vrijkomt?*

Hoewel deze studies onder hoogspanningslijnen zijn gebeurd, werd het EMF niet gemeten waardoor er geen info is over de effectieve blootstellingsniveaus (dus de kwaliteit van de studies voor dit beoogde doel is niet zeer goed). De frequentie van het magnetisch veld is ook niet gekend.

Conclusie

Net zoals vogels, zouden insecten potentieel vrij gevoelig zijn voor magnetische straling en zou antropogene magnetische straling door hoogspanningslijnen hun oriëntatie en gedrag ***kunnen*** verstoren. Echter werd recent ook aangetoond dat vb. bijen onder bepaalde omstandigheden andere signalen vb. kleurprioriteit hebben t.o.v. het magnetisch veld.

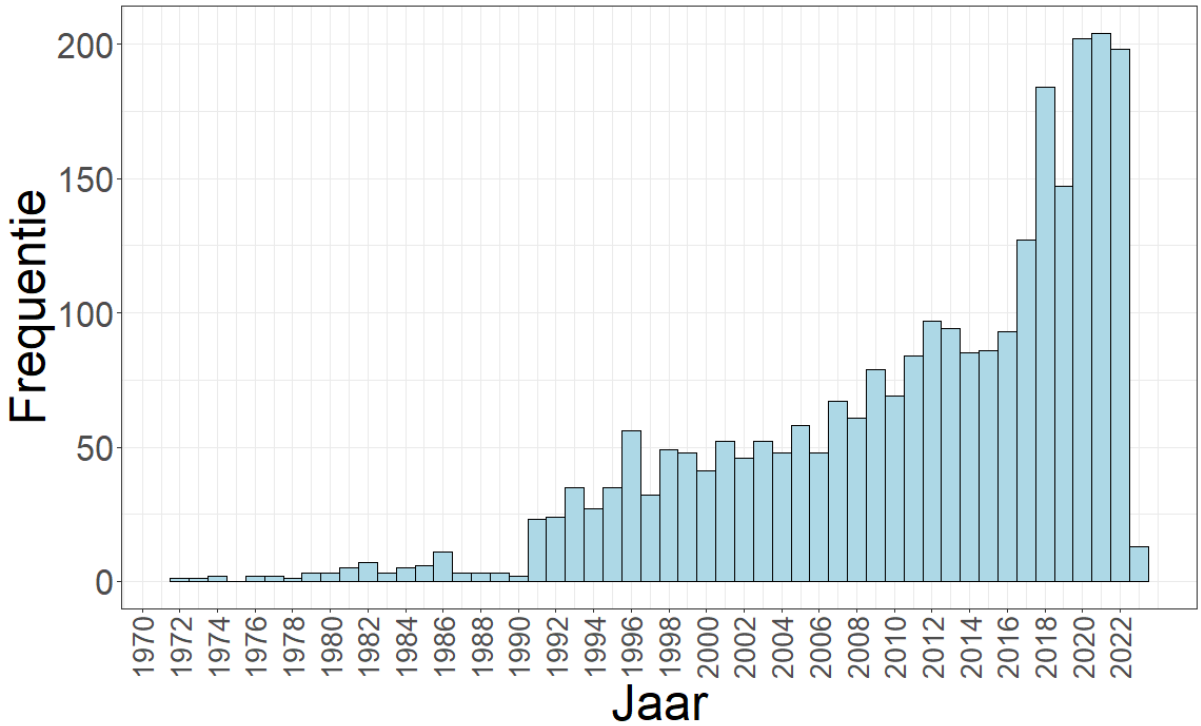
Wat betreft de invloed op de fysiologie, was de literatuur niet consistent en kan het effect zowel positief, neutraal of negatief zijn. Al lijkt de trend eerder naar negatief te gaan. Maar opnieuw moeten we opmerken dat de blootstelling onder labo-omstandigheden vaak hoger is dan onder hoogspanningslijnen en dat de blootstellingsduur kort is. Meer inzicht in mogelijke lange-termijn effecten en of de insecten kunnen gewennen aan blootstelling is nodig. Het wordt daarom aanbevolen om de studies op te volgen. Verder is het ook belangrijk om te vermelden dat er heel wat onderzoek gedaan wordt naar het effect van hoogspanningsmasten op de biodiversiteit. Hieruit blijkt dat deze steeds een indirect positief effect hebben op de diversiteit en aantal insecten. Hoogspanningsmasten creëren immers open plekken in het bos waar lage vegetatie een kans krijgt en onbewerkte plekken in de akker waar onkruiden, die insecten aantrekken, kunnen groeien. Hoewel deze studies eerder focussen op de fysieke effecten van masten, is er onvermijdelijk ook straling aanwezig. *Hypothese: Misschien zijn positieve effecten van de mast op de biodiversiteit wel groter dan de niet-bewezen negatieve effecten van de straling?*

5 TOPIC MODELLING

Met de zoekquery uit sectie 3.1 werden meer dan 2500 artikels gevonden in database WoS/Scopus. Het is uiteraard onmogelijk om deze studies allemaal te lezen en te beoordelen. Om een inzicht te krijgen in de structuur en het onderwerp van deze publicaties kan gebruik worden gemaakt van Topic modelling (een unsupervised machine learning technique) en Natural Language Processing (NLP) technieken. Zo kan de inhoud van de documenten omgezet worden naar "topics", lijsten met woorden die statistisch gezien vaak in de buurt van elkaar voorkomen. Zo kunnen verborgen patronen aanwezig in de corpus gevonden worden en kunnen de meest en minder voorkomende topics bestudeerd worden.

Zoals blijkt uit **Figuur 13** stijgt het aantal artikels in functie van de tijd. **Figuur 14** toont een heatmap met de frequenties van artikels waarin een bepaalde combinatie van twee termen voorkomt. E.g. er zijn 210 artikels die "magnetic field (MF)" en "rat" vermelden. 14 artikels vermelden "rat" en "powerline" etc. Uit deze heatmap blijkt duidelijk dat vogels in relatie tot hoogspanningslijnen het meeste bestudeerd werden (297 artikels). Maar "MF" of "EMF" worden niet steeds vermeld aangezien heel wat studies botsingen van vogels met hoogspanningslijnen of elektrocutie bestuderen. Het is ook duidelijk dat de impact van EMF en MF vaak bestudeerd wordt op ratten, maar powerline wordt weinig vermeld aangezien het meestal om studies op laboschaal gaat. Het valt ook op dat MF en germination (germin) zeer vaak bestudeerd worden (206). Zoals hoger vermeld kan een magnetisch veld gebruikt worden om kieming te stimuleren.

Verder zien we dat de studies rond vb. insect en bestuivers (pollinators) zeer beperkt zijn. Ook de impact van MF en EMF op biodiversiteit lijkt niet vaak in studies voor te komen.



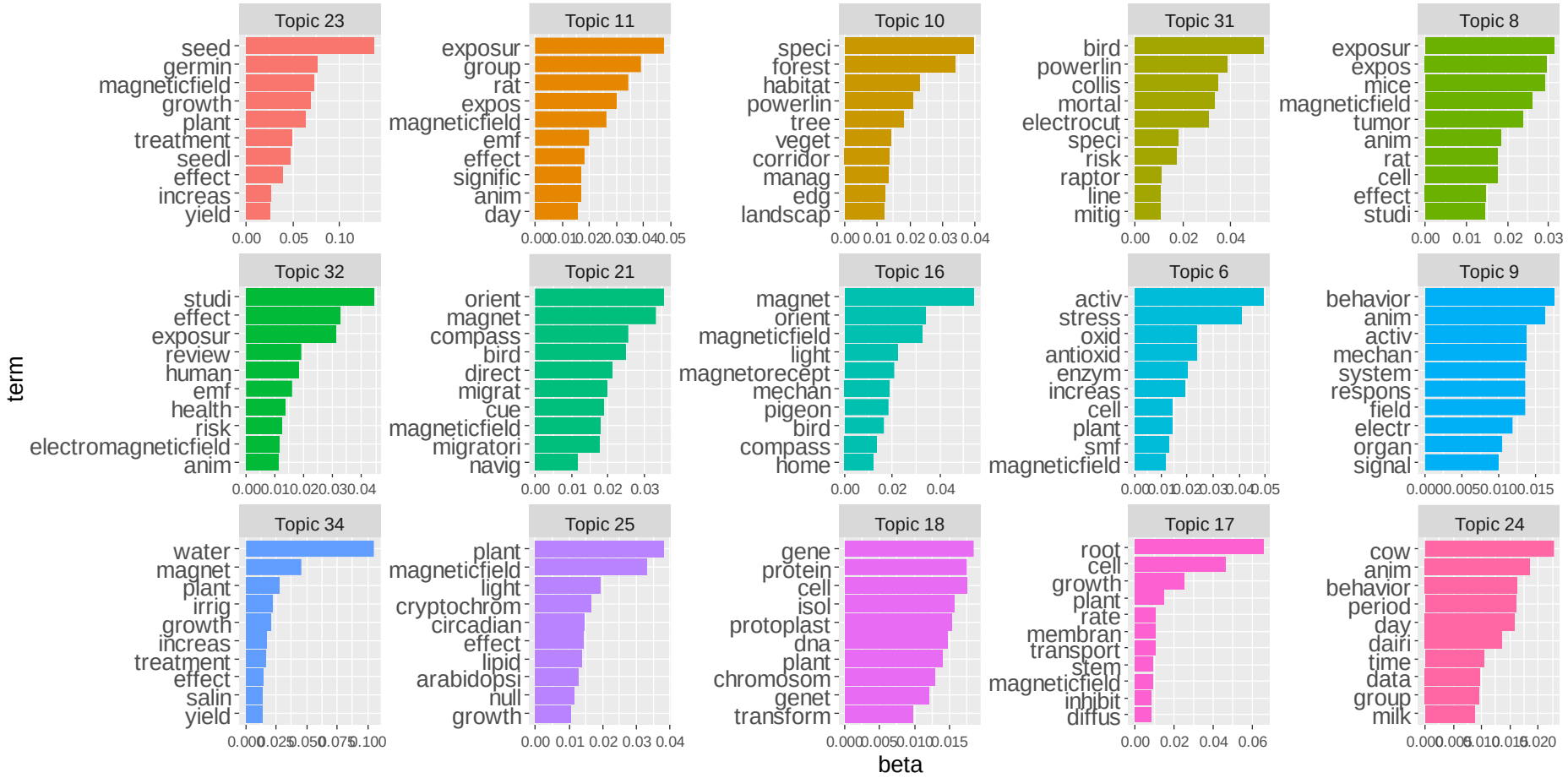
Figuur 15: Aantal artikels gevonden met de query (30/01/23) uit Sectie 3.1 in functie van de tijd.

	powerlin	MF	EMF
maiz	1	46	23
potato	0		3
wheat	4	80	
grass	15	1	2
disease	0	0	0
pest	2	4	2
yield	13	167	53
quality	0	0	0
germin	7	206	81
agricultur	76	76	26
forest	157	8	11
biodivers	73	6	13
mammal	28	8	9
pollin	14	2	5
insect	18	19	12
bird	297	165	48
rat	14	210	228

Figuur 16: Heatmap met frequentie van artikels waarin een bepaalde combinatie van twee termen voorkomt. Bemerk dat de termen werden gereduceerd tot hun "stem" (stamwoord), vb. forest, forests, forestry => forest. De kleur van de cellen is een maat voor het aantal keer deze termen werden waargenomen, gaande van wit (frequent) tot roze – oranje – lichtgroen -dondergroen (zelden).

Figuur 17 toont de output van het *topic modelling* algoritme. De topics bestaan uit groepen van woorden die statistisch gezien vaak in de buurt van elkaar voorkomen. De topics worden in Figuur 18 op de y-as vermeld. De volgorde waarin de topics in de figuur staan is volgens belangrijkheid. Zoals blijkt uit deze figuur focussen de meeste studies die gevonden werden met de query zich op het effect van magnetische velden op kieming en opbrengst van planten (Topic 23). De tweede belangrijkste groep van studies is deze over ratten (Topic 11). Topic 10 vervolledigt de top 3 met studies over hoe hoogspanningslijnen mogelijks het landschap verstoren. Op nummer 4 staan de artikels omtrent botsingen van vogels met hoogspanningsmasten.

Deze "geautomatiseerde" screening van meer dan 2500 artikels leert ons dus dat er nog veel onderwerpen zijn waar weinig over gepubliceerd is, e.g. biodiversiteit, effect op insecten. Verder is ook het effect van hoogspanningslijnen op dierlijke productie weinig bestudeerd.



Figuur 19: Resultaat van de topic modelling.

6 BESLUIT

6.1 KWALITEIT VAN DE STUDIES

De studies werden meestal goed tot zeer goed beoordeeld wat betreft de studiekwaliteit, i.e. identieke omstandigheden controle en blootgestelde groep en dataverwerking met de correcte statistiek. Bij de labo-experimenten werd de blootstelling steeds nauwkeurig gemeten. Echter bij studies onder labo-omstandigheden is de tijd van blootstelling vaak beperkt en is de ruimte te klein. Bij de experimenten onder hoogspanningslijnen werd vaak enkel de afstand vermeld en werd het effectieve veld niet gemeten. Indien dit niet gebeurde werd dit als minpunt onder de studies weergegeven. Vooral op het criterium "herhaalexperimenten" scoorden veel studies minder. Labostudies worden vaak in herhalingen opgezet, maar deze worden meestal niet in de tijd herhaald (i.e. eenzelfde experiment opnieuw opzetten met andere dieren, op een ander tijdstip en opnieuw dezelfde metingen doen). Echter gezien de conclusies van dit rapport gebaseerd zijn op zeer veel onafhankelijke studies is het niet uitvoeren van herhaalexperimenten op zich geen probleem.
Veldexperimenten worden meestal ofwel op één locatie gedurende meerdere jaren uitgevoerd of gedurende één jaar op meerdere locaties, maar meestal nooit beide. Bij studies onder veldomstandigheden worden "confounding" factors (e.g. effect weersomstandigheden en andere omgevingsparameters) vaak niet meegenomen.

Het aantal dieren dat onderzocht werd in de dierproeven was vaak beperkt (wellicht uit praktische overwegingen). Nergens wordt vermeld of er vooraf een power analyse werd uitgevoerd om de "sample size" te bepalen. Ook werd meestal niet over verschillende generaties heen gekeken.

Bij de meeste studies dient er ook rekening gehouden te worden met een bepaalde vooringenomenheid van de auteurs die vasthangt aan een persoonlijk waardenkader. Bij de studies met ratten en muizen wordt er bijvoorbeeld vaak direct een link gelegd met de mens en geldt diezelfde conclusie voor de mens terwijl die bepaalde eigenschap niet onderzocht werd op de mens zelf. Een groep van onderzoekers houdt zich ook vaak bezig met één bepaalde thematiek zoals bijvoorbeeld de invloed op vruchtbaarheid, ontwikkeling van embryo's etc. waardoor bij het trekken van conclusies niet ruimer wordt gekeken dan die bepaalde thematiek. Als er bijvoorbeeld geconcludeerd wordt dat het effect op de bestudeerde eigenschap negatief is, dan blijven de onderzoekers vaak bij dit standpunt en gaan ze zich daarop fixeren, wat kan leiden tot een zogenaamde confirmation bias. Maar het kan even goed zijn dat er verder onderzoek op lange termijn nodig is om effectief conclusies te kunnen trekken

6.2 AANBEVELINGEN

6.2.1 Vertebraten

Bij deze studies werd vaak een klein aantal dieren onderzocht onder labo-omstandigheden waarbij de stralingsniveaus vaak hoger zijn dan nabij een hoogspanningslijn. Merk op dat er geen algemene richtlijn is voor een minimum aantal dieren dat moet gebruikt worden. De steekproefgrootte is

immers afhankelijk van o.a. de grootte van het effect dat wordt verwacht, de nauwkeurigheid waarmee een bepaalde eigenschap kan gemeten worden en de natuurlijke variatie van een bepaalde eigenschap.
Om conclusies te kunnen trekken of ELF-EMF al dan niet negatieve gevolgen heeft op landbouwhuisdieren (door verminderde presentaties) of op de biodiversiteit/omgeving (door veranderde species samenstelling) zijn er meer lange-termijn studies, over verschillende generaties van dieren heen, nodig en wordt het aanbevolen om de studies op te volgen.

6.2.2 Planten

Ook hier was het aantal veldstudies vrij beperkt en zijn er meer lange-termijn studies onder verschillende omstandigheden nodig, waarbij voldoende rekening gehouden wordt met confounding factors, zoals vb. drupschade door de lijn, moeilijker bewerken van akker rond de hoogspanningsmast, wat ook gevolgen kan hebben voor de productiviteit van het gewas. Het wordt daarom aanbevolen om de studies op te volgen.

6.2.3 Insecten

Hoewel insecten zeer kleine organismen zijn, zijn deze zeer belangrijk voor de biodiversiteit. Op basis van bovenstaande literatuurstudie blijkt dat insecten zeer gevoelig zijn voor magnetische straling en dat antropogene straling, waaronder deze afkomstig van hoogspanningsverbindingen, bepaalde processen kan beïnvloeden. Verder onderzoek is nodig omtrent de omstandigheden waaronder magnetoreceptie van belang is en welke andere stimuli onder bepaalde omstandigheden mogelijks prioriteit krijgen. Ook dient nagegaan te worden of insecten zich mogelijk kunnen aanpassen aan vb. ELF-MF gezien deze vaak voorkomen rond hoogspanningsmasten. Het wordt daarom aanbevolen om het onderzoek op te volgen.

6.3 EFFECT VAN ELF-EMF OP FAUNA EN FLORA

In de grijze kaders wordt telkens een gedetailleerd besluit gegeven omtrent de invloed van ELF-EMF op fauna en flora voor de verschillende bestudeerde eigenschappen. Het is duidelijk dat verschillende species in staat zijn om magnetische velden en veranderingen van magnetische velden aan te voelen (magnetoreceptie). In de literatuur was er voor de meeste van de bestudeerde eigenschappen geen consensus te vinden of antropogene straling met een frequentie van 50 Hz (of 60 Hz), zoals deze afkomstig van hoogspanningsverbindingen, al dan niet gevolgen heeft voor de gezondheid. Er kan geconcludeerd worden dat een verandering in het magnetische veld door e.g. hoogspanningslijnen onder bepaalde omstandigheden een “effect” (vb. cellulaire verandering, genexpressie) uitlokt. Of dit effect al dan niet resulteert in een respons (vb. verandering in vruchtbaarheid, gedrag) is opnieuw afhankelijk van verschillende randfactoren (vb. gezondheidstoestand, leeftijd, genetica, andere omgevingsstimuli). Er werden zowel positieve als negatieve responsen gevonden in de literatuur. Verder werden de mogelijke economische gevolgen van negatieve responsen niet bestudeerd. In de studies m.b.t. insecten werd ook nooit de balans gemaakt tussen de mogelijks negatieve gevolgen van straling en de mogelijks positieve gevolgen door de fysieke aanwezigheid van de mast waaronder een meer diverse vegetatie voorkomt.

Op dit ogenblik kan uit het huidig onderzoek niet afgeleid worden of antropogene straling met een frequentie van 50 Hz (of 60 Hz) al dan niet schadelijk is voor fauna en flora. Het wordt daarom aanbevolen om het onderzoek op te volgen.

REFERENTIES

Acosta-Avalos D., Pinho A.T., de Souza Barbosa J. et al. (2015). Alternating magnetic fields of 60 Hz affect magnetic orientation and magnetosensitivity of fire ants. Journal of Insect Behavior, 28, 664–673. (https://doi.org/10.1007/s10905-015-9534-0).

Algers B., Hultgren J. (1986). Effects of long-term exposure to a 400-kV, 50-Hz transmission line on estrous and fertility in cows. Preventive Veterinary Medicin, 5 (1), 21-36. (https://doi.org/10.1016/0167-5877(87)90003-1).

Anderson L.E., Morris J.E., Miller D.L., Rafferty C.N., Ebi K.L. and Sasser L.B. (2001). Large granular lymphocytic (LGL) leukemia in rats exposed to intermittent 60 Hz magnetic fields. Bioelectromagnetics, 22, 185-193. (https://doi.org/10.1002/bem.37).

Begall S., Cerveny J., Weisse J., Vojtech, O., Burda, H.. (2008). Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105, 13451-5. 10.1073/pnas.0803650105.

Berg A., Bergman K.O., Wissman J., Żmihorski M., Öckinger E. (2016). Power-line corridors as source habitat for butterflies in forest landscapes. Biological Conservation, 201, 320-326. (https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.034).

Bernabò N., Tettamanti E., Russo V., Martelli A., Turriani M., Mattoli M., Barboni B. (2010). Extremely low frequency electromagnetic field exposure affects fertilization outcome in swine animal model. Theriogenoloy, 73, 1293-1305. (https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.12.010).

Bua L., Tibaldi E., Falcioni L., Lauriola M., De Angelis L., Gnudi F., Manservigi M., Manservisi F., Manzoli I., Menghetti I., Montella R., Panzacchi S., Sgargi D., Strollo V. Vornoli A., Mandrioli D., Belpoggi F. (2018). Results of lifespan exposure to continuous and intermittent extremely low frequency electromagnetic fields (ELFEMF) administered alone to Sprague Dawley rats. Environmental Research, 164, 271-279. (https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.036).

Burchard J.F., Monardes H., Nguyen D.H. (2003). Effect of 10 kV, 30 µT, 60 Hz electric and magnetic fields on milk production and feed intake in nonpregnant dairy cattle. Bioelectromagnetics, 24, 557–563. (https://doi.org/10.1002/bem.10132).

Burchard J.F., Nguyen D. H, Block E. (1998). Progesterone concentrations during estrous cycle of dairy cows exposed to electric and magnetic fields. Bioelectromagnetics, 19, 438–443. (https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1998)19:7<438::AID-BEM6>3.0.CO;2-2).

Chicas-Mosier A.M., Radi M., Lafferrandre J., O'Hara J.F., Vora H.D. and Abramson C.I. (2020). Low strength magnetic fields serve as a cue for foraging honey bees but prior experience is more indicative of choice. Bioelectromagnetics, 41, 458-470. (https://doi.org/10.1002/bem.22285).

Chung M.-K., Kim J.-C., Myung S.-H., Lee D.-I. (2003). Developmental toxicity evaluation of ELF magnetic fields in Sprague–Dawley rats. Bioelectromagnetics, 24, 231-240. (https://doi.org/10.1002/bem.10114).

Chung M.-K., Yu W.-J., Kim Y.-B., Myung S.-H. (2010). Lack of a co-promotion effect of 60 Hz circularly polarized magnetic fields on spontaneous development of lymphoma in AKR mice. Bioelectromagnetics, 31, 130-139. (https://doi.org/10.1002/bem.20538).

Chung M.-K., Kim Y.-B., Ha C.-S., Myung S.-H. (2008). Lack of a co-promotion effect of 60 Hz rotating magnetic fields on N-ethyl-N-nitrosourea induced neurogenic tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics, 29, 539-548. (https://doi.org/10.1002/bem.20422).

Dell'Omo G., Costantini D., Lucini V., Antonucci G., Nonno R., Polichetti A. (2009). Magnetic fields produced by power lines do not affect growth, serum melatonin, leukocytes and fledging success in wild kestrels. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 150 (3), 372-376.(https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.06.002).

Dimitrijevic D., Janac B., Savic, T. (2013). Temporal pattern of *Drosophila subobscura* locomotor activity after exposure to extremely low frequency magnetic field (50 Hz, 0.5 mt). Drosophila Information Service, 96 (2013).

Duan W., Liu C., Wu H., Chen C., Zhang T., Gao P., Luo X., Yu Z., Zhou Z. (2014). Effects of exposure to extremely low frequency magnetic fields on spermatogenesis in adult rats. Bioelectromagnetics, 35, 58-69. (https://doi.org/10.1002/bem.21816).

Du Clos B., Drummond F.A, Loftin C.S. (2022). Effects of an early mass-flowering crop on wild bee communities and traits in power line corridors vary with blooming plants and landscape context. Landscape Ecology, 37, 2619–2634. (https://doi.org/10.1007/s10980-022-01495-9).

Ebrahimi-Kalan A., Habibi Roudkenar M., Halabian R., Broki Milan P., Zarrintan A., Mohammadi Roushandeh, A. (2011). Down-regulation of metallothionein 1 and 2 after exposure to electromagnetic field in mouse testis. Iran Biomedical Journal, 15 (4), 151-156.

Elbetieha A., AL-Akhras M.A., Darmani H. (2002). Long-term exposure of male and female mice to 50 Hz magnetic field: effects on fertility. Bioelectromagnetics, 23(2), 168-72. (doi: 10.1002/bem.109).

El-Khawas S.A. (2012). Effect of electric power lines stress on growth, some metabolic activities, and yield of maize (*zea mays* L.). THE EGYPTIAN JOURNAL OF EXPERIMENTAL BIOLOGY (Botany), 8(2),151-159.

Farrell J.M., Litovitz T.L., Penafiel M., Montrose C.J., Doinov P., Barber M., Brown K.M., Litovitz T.A. (1997). The effect of pulsed and sinusoidal magnetic fields on the morphology and developing of chick embryos. Bioelectromagnetics, 18, 431-438.

Fernie K., Reynolds S. (2005). The effects of electromagnetic fields from power lines on avian reproductive biology and physiology: A aeview. Journal of toxicology and environmental health. Part B, Critical reviews, 8, 127-40. (10.1080/10937400590909022).

Forgács Z., Somosy Z., Kubinyi G., Sinay H., Bakos J., Thuróczy G., Surján A., Hudák A., Olajos F., an Lázár P. (2004). Effects of whole-body 50 Hz magnetic field exposure on mouse Leydig cells. The Scientific World Journal, 4(S2), 83–90. (https://doi.org/10.1100/tsw.2004.182).

Geuzaine C., Remacle J.-F. (2009). Gmsh, a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 79(11), 1309-1331.

Geuzaine C., Henrotte F., Remacle J.-F., Dular P., Sabariego R. (2012). ONELAB: Open Numerical Engineering LABoratory, Proceedings of the 7th European Conference on Numerical Methods in Electromagnetism (NUMELEC2012), July 3-5, 2012.

Graham, J.H., Fletcher, D., Tigue, J., McDonald, M. (2000). Growth and developmental stability of Drosophila melanogaster in low frequency magnetic fields. Bioelectromagnetics. 2000 Sep; 21(6): 465-72. PMID: 10972950.

Hamann H.-J., Schmidt K.-H., Wiltschko W. (1998). Mogliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder auf die Brutbiologie von Vögeln am Beispieleiner Population von höhlenbrütenden Singvögeln an einer Stromtrasse. Z.Vogelk. Natursch. Hessen Vogen. Umwelt 9, 215–246.

Hefeneider S.H., McCoy S.L, Hausman F.A., Christensen H.L., Takahashi D., Perrin N., Bracken T.D., Shin K.Y., Hall A.S. (2001). Long-term effects of 60 Hz electric vs. magnetic fields on IL-1 and IL-2 activity in sheep. Bioelectromagnetics, 22(3), 170-7. (DOI: 10.1002/bem.35).

Heredia-Rojas J.A., Caballero-Hernandez D.E., Rodriguez-de la Fuente A.O., Ramos-Alfano G. and Rodriguez-Flores L.E. (2004). Lack of alterations on meiotic chromosomes and morphological characteristics of male germ cells in mice exposed to a 60 Hz and 2.0 mT magnetic field. Bioelectromagnetics, 25, 63-68. (https://doi.org/10.1002/bem.10184).

Hore P.J., Mouritsen H. (2016). The radical-pair mechanism of magnetoreception. Annual Review of Biophysics, 5(45), 299-344. (10.1146/annurev-biophys-032116-094545).

Huuskonen H., Juutilainen J., Komulainen H (1993). Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in rats. Bioelectromagnetics, 14(3), 205-13. (doi: 10.1002/bem.2250140304).

Huuskonen H., Saastamoinen V., Komulainen H., Laitinen J., Juutilainen J. (2000). Effects of low-frequency magnetic fields on implantation in rats. Reproductive Toxicology, 15 (1), 49-59. (https://doi.org/10.1016/S0890-6238(00)00110-6).

Janać B., Selaković V., Rauš S., Radenović L., Zrnić M., Prolić Z. (2012). Temporal patterns of extremely low frequency magnetic field induced motor behavior changes in Mongolian gerbils of different age. International Journal Radiation Biology 2012 Apr;88(4):359-66. (10.3109/09553002.2012.652725).

Karwinkel T., Winklhofer M., Christoph P., Allenstein D., Hüppop O., Brust V., Bairlein F., Schmaljohann H. (2020). No apparent effect of a magnetic pulse on free-flight behaviour in northern wheatears (Oenanthe) at a stopover site. Journal of The Royal Society Interface, 19, 20210805,20210805. (10.1098/rsif.2021.0805).

Kowalczuk C.I., Robbins L., Thomas J.M., Butland B.K., Saunders R.D. (1994), Effects of prenatal exposure to 50 Hz magnetic fields on development in mice: I. Implantation rate and fetal development. Bioelectromagnetics, 15, 349-361. (https://doi.org/10.1002/bem.2250150409).

Kumar A., Pandey O.P. (2021). Causal theory on acceleration of seed germination in the vicinity of high voltage direct current transmission line. Journal of Theoretical Biology, 531, 110899, ISSN 0022-5193. (https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2021.110899).

Lahijani M.S., Ghafoori M. (2000). Teratogenic effect of sinusoidal extremely low frequency electromagnetic fields on morphology of 24 hr chick embryos. Indian Journal of Experimental Biology, 38, 692-699.

Laszlo A.M., Ladanyi M., Boda K., Csicsman J.., Bari F, Serester A., Molnar Z., Sepp K., Galfi M., Radacs M. (2017). Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on turkeys. Poultry Science, 97(2), 634-642. (doi: 10.3382/ps/pex304. PMID: 29077912).

Lee J.M. Jr, Stormshak F., Thompson J.M., Thinesen P., Painter L.J., Olenchek E.G., Hess D.L., Forbes R., Foster D.L. (1993). Melatonin secretion and puberty in female lambs exposed to environmental electric and magnetic fields. Biology of Reproduction, 49(4), 857-64, 1993.

Lee J.S., Ahn S.S., Jung K.C., Kim Y-W, Lee S.K. (2004). Effects of 60 Hz electromagnetic field exposure on testicular germ cell apoptosis in mice. Asian Journal Andrology, 6, 29-34. PMID: 15064831.

Levitt B., Lai H., Manville, A. (2022). Effects of non-ionizing electromagnetic fields on flora and fauna, Part 2 impacts: how species interact with natural and man-made EMF. Reviews on Environmental Health, 37(3), 327-406. (https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0050).

Li Y., Sun C., Zhou H., Huang H., Chen Yi., Duan X., Huang S., Li J. (2022). Extremely low-frequency electromagnetic field impairs the development of honeybee (*Apis cerana*). Animals, 12(18), 2420. (DOI: 10.3390/ani12182420).

Li X., Liu X., & Wan B. & Li X., Li M., Zhu H., Hua, H.-X. (2019). Effects of continuous exposure to power frequency electric fields on soybean Glycine max. Journal of Environmental Radioactivity, 204, 35-41, 10.1016/j.jenvrad.2019.03.026.

Li S., Zhang Z., Yang C., Lian H., Cai P. (2013). Gene expression and reproductive abilities of male Drosophila melanogaster subjected to ELF-EMF exposure. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 758, 1-2, 95-103. (https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2013.10.004).

Lis M.W. (2019). Effect of 50 Hz magnetic field on chicken embryo development and course of hatching. Science, Technology and Innovation Journal, 5(2), 44-49.

Löscher W., Wahnschaffe U., Mevissen M., Lerchl A., Stamm A. (1994). Effects of Weak Alternating Magnetic Fields on Nocturnal Melatonin Production and Mammary Carcinogenesis in Rats. Oncology, 51, 288-295. (https://doi.org/10.1159/000227352).

Löscher W., Mevissen M. (1995). Linear relationship between flux density and tumor co-promoting effect of prolonged magnetic field exposure in a breast cancer model. Cancer Letters, 6(2), 175-180. (https://doi.org/10.1016/0304-3835(95)03926-N).

Löscher W., Mevissen M., Lehmacher W., Stamm A. (1993). Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. Cancer Letters, Volume 71, Issues 1–3, Pages 75-81. (https://doi.org/10.1016/0304-3835(93)90100-N).

Mahmoud A., Zimmerman D. (1983). High Voltage Transmission and Environmental Effects. Right of Way, 15-19.

Maliszewska J., Marciniak P., Kletkiewicz H., Wyszkowska J., Nowakowska A., Rogalska, J. (2018). Electromagnetic field exposure (50 Hz) impairs response to noxious heat in American cockroach. Journal of Comparative Physiology A, 204, 605-611. (https://doi.org/10.1007/s00359-018-1264-2).

Malkemper E.P., Tscheulin T., Vanbergen A.J., Vian A., Balian E., Goudeseune L. (2018). The impacts of artificial electromagnetic radiation on wildlife (flora and fauna). Current knowledge overview: A background document to the web conference. A Report of the EKLIPSE Project (http://www.eklipse-mechanism.eu/).

Mandeville R., Franco E., Sidrac-Ghali S., Paris-Nadon L., Rocheleau N., Mercier G., Désy M., Gaboury L. (1997). Evaluation of the potential carcinogenicity of 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave magnetic fields in Fischer F344 rats. The FASEB Journal, 11, 1127-1136. (https://doi.org/10.1096/fasebj.11.13.9367347).

McLean J.R., Thansandote A., McNamee J.P., Tryphonas L., Lecuyer D., Gajda G. (2003). A 60 Hz magnetic field does not affect the incidence of squamous cell carcinomas in SENCAR mice. Bioelectromagnetics, 24, 75-81. (https://doi.org/10.1002/bem.10067).

McLean, J.R.N., Stuchly, M.A., Mitchel, R.E.J., Wilkinson, D., Yang, H., Goddard, M., Lecuyer, D.W., Schunk, M., Callary, E., Morrison, D. (1991). Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60-Hz magnetic field: II. Tumor development and immune response. Bioelectromagnetics, 12, 273-287. (https://doi.org/10.1002/bem.2250120503).

Mevissen M., Buntenkötter S., Löscher W. (1994). Effects of static and time-varying (50-Hz) magnetic fields on reproduction and fetal development in rats. Teratology 50(3), 229-37. (doi: 10.1002/tera.1420500308).

Migdal P., Berbec E., Bienkowski P., Plotnik M., Murawska A., Latarowski K. (2022). Exposure to magnetic fields changes the behavorial pattern in honybess under laboratory conditions. MDPI Animals, 12(7), 855. (https://doi.org/10.3390/ani12070855).

Margonato V., Nicolini P., Conti R., Zecca L., Veicsteinas A., Cerretelli P. (1995), Biologic effects of prolonged exposure to ELF electromagnetic fields in rats: II. 50 Hz magnetic fields. Bioelectromagnetics, 16, 343-355. (https://doi.org/10.1002/bem.2250160602).

Nordmann G.C., Hochstoeger T., Keays D.A. (2017). Magnetoreception- A sense without a receptor. PLoS Biol, 15(10), e2003234. (https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2003234).

Oki K., Soga M., Amano T., Koike S. (2021). Power line corridors in conifer plantations as important habitats for butterflies. Journal of Insect Conservation, 25, 829–840. (https://doi.org/10.1007/s10841-021-00343-6).

Parsch L.D., Norman M.D. (1986). Impact of Powerlines on Cost of Crop Production. Arkansas farm research-Arkansas Agricultural Experiment Station (USA).

Pawlak K., Sechman A., Nieckarz Z., Wojtysiak D. (2013). Effect of weak electromagnetic field on cardiac work, concentration of thyroid hormones and blood aminotranseferase lavel in the chick embryo. Acta Veterinaria Hungarica, 61(3), 383-91. (DOI:10.1556/AVet.2013.014).

Pietruszewski S., Martínez E. (2015). Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: A review. International Agrophysics, 29 (3), 377-389.

Plewa R., Jaworski T., Tarwacki G., Gil W., Horák J. (2020). Establishment and Maintenance of Power Lines are Important for Insect Diversity in Central Europe. Zool Stud. 4;59: e3. doi: 10.6620/ZS.2020.59-3. PMID: 32215060; PMCID: PMC7089852.

Pophof B., Henschenmacher B., Kattnig D.R., Kuhne J., Vian A., Ziegelberger G. (2023). Biological Effects of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields from 0 to 100 MHz on Fauna and Flora: Workshop Report. Health Physics, 124(1), 39-52. (DOI: 10.1097/HP.0000000000001624).

Qi G., Zuo, X., Zhou, L., Aoki, E., Okamula A., Watanebe M., Wang H., Wu Q., Lu H., Tuncel H., Watanabe H., Zeng S., Shimamoto F. (2015). Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) exposure on B6C3F1 mice. Environ Health Prev Med 20(4), 287-93. (doi: 10.1007/s12199-015-0463-5).

Ritz T., Dommer D. H., Phillips J.B. (2002). Shedding light on vertebrate magnetoreception. Neuron, 34, 503-506.

Rodriguez M. Petitclerc D., Burchard J.F., Nguyen D.H., Block E. (2004). Blood melatonin and prolactin concentrations in dairy cows exposed to 60 Hz electric and magnetic fields during 8 h photoperiods. Bioelectromagnetics, 25(7), 508-15. (doi: 10.1002/bem.20024).

Rodriguez M., Petitclerc D., Burchard J.F., Nguyen D.H., Block E., Downey B.R. (2003). Responses of the estrous cycle in dairy cows exposed to electric and magnetic fields (60 Hz) during 8-h photoperiods. Animal reproduction science, 77, 11-20. (doi: 10.1016/S0378-4320(02)00273-7).

Ryan BM., Polen M., Gauger JR., Mallett E. Jr., Kearns MB., Bryan TL., McCormick DL. Evaluation of the developmental toxicity of 60 Hz magnetic fields and harmonic frequencies in Sprague-Dawley rats. Radiat Res., 2000 May, 153 (5 Pt 2): 637-41. (doi: 10.1667/0033-7587).

Sarraf M., Kataria S., Taimourya H., Santos LO., Menegatti RD., Jain M., Ihtisham M., Liu S. (2020). Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. *Plants,* 9(9), 1139. (https://doi.org/10.3390/plants9091139).

Schneider W.T., Holland R.A., Lindecke, O. (2023). Over 50 years of behavioural evidence on the magnetic sense in animals: what has been learnt? The European Physical Journal Special Topics (https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00755-8).

Sechman A., Niedziólka J. Lis M., Rzasa J. (2006). Changes in thyroid hormone levels in chicken embryos exposed to extremely low frequency electromagnetic field. European Poultry Science, Arch.Geflügelk., 70 (1), 41-47.

Shepherd S., Hollands G., Godley V.C., Sharkh S.M., Jackson CW., Newland P.L. (2019). Increased aggression and reduced aversive learning in honeybees exposed to extremely low frequency electromagnetic fields. Plos One, 14(10), e0223614. (https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223614).

Shepherd S., Lima M.A.P., Oliveira E.E. *et al.* (2018). Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields impair the Cognitive and Motor Abilities of Honey Bees. Scientific Reports, 8, 7932. (https://doi.org/10.1038/s41598-018-26185-y).

Shepherd S., Jackson C.W., Sharkh S.M., Aonuma H., Oliveira E.E., Newland P.L. (2021). Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields Entrain Locust Wingbeats. Bioelectromagnetics, 42(4): 296-308. (doi: 10.1002/bem.22336)

Slaby P., Tomanova K., Vacha M. (2013). Cattle on pastures do align along the North–South axis, but the alignment depends on herd density. Journal of Comparative Physiology A, 199, 695–701. (https://doi.org/10.1007/s00359-013-0827-5).

Soja G., Kunsch B., Gerzabek M., Reichenauer T., Soja A.-M., Rippar G. and Bolhàr-Nordenkampf, H.R. (2003), Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line. Bioelectromagnetics, 24, 91-102. (https://doi.org/10.1002/bem.10069).

Thompson, J.M., Stormshak, F., Lee, J.M., Hess, D.L., Painter, L. (1995). Cortisol secretion and growth in ewe lambs chronically exposed to electric and magnetic fields of 60-Hertz 500-kilovolt AC transmission line. Journal of Animal Science, 73, 3274-3280. (DOI:10.2527/1995.73113274x).

Tomás G., Barba E., Merino S. & Martinez J. (2012). Clutch size and egg volume in great tits (Parus major) increase under low intensity electromagnetic fields: A long-term field study. Environmental research, 118, 40-6. (10.1016/j.envres.2012.07.007).

Uebe R., Schuler D. (2016). Magnetosome biogenesis in magnetotactic bacteria. Nat Rev Microbiol, 14, 621-637. (https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.99, PMID: 27620945).

Vanbergen A.J., Potts S.G., Vian A., Malkemper E. P., Young J., Tscheulin T. (2019). Risk to pollinators from anthropogenic electro-magnetic radiation (EMR): Evidence and knowledge gaps, Science of The Total Environment, 695, 133833. (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133833).

Wagner D.L., Metzler K.J., Frye H. (2019). Importance of transmission line corridors for conservation of native bees and other wildlife. Biological Conservation, 235, 147-156. (https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.042).

Weijers D., Hemerik L., Heitkönig IMA. (2018). An experimental approach in revisiting the magnetic orientation of cattle. PLOS ONE 13(4): e0187848. (https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187848).

Wyszkowska J., Shepherd S., Sharkh S., Jackson C.W., Newland P.L. (2016). Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields alters the behaviour, physiology and stress protein levels of desert locusts. Scientific Reports 6, Article number: 36413. (https://doi.org/10.1038/srep36413).

Yasui M., Kikuchi T., Ogawa M., Otaka Y., Tsuchitani M. and Iwata H. (1997). Carcinogenicity test of 50 Hz sinusoidal magnetic fields in rats. Bioelectromagnetics, 18, 531-540. (https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1997)18:8<531::AID-BEM1>3.0.CO;2-3).

Zhang Z-Y., Zhang J., Yang C-J., Lian H-Y., Yu H., Huang X-M., et al. (2016) Coupling Mechanism of Electromagnetic Field and Thermal Stress on *Drosophila melanogaster*. PLOS ONE, 11(9), e0162675. (https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162675).

APPENDIX

Studie	Jaar	Diersoort	# dieren	Type bestraling	Spanning (kV)	EF (kV/m)	MF (µT)	Freq (Hz)	duur (dagen)	Journal
Burda et al.	2009	Koe	1699	Hoogspanningslijn	380		8	50		PNAS
Burda et al.	2009	Ree	653	Hoogspanningslijn	380		8	50		PNAS
Weijers et al.	2018	Koe	34	Artificiële bestraling						Plos one
Burchard et al.	1998	Koe	16	Artificiële bestraling		10	30	60	3 cyclussen (24-27 dagen)	Bioelectromagnetics
Rodriguez et al.	2003	Koe	16	Artificiële bestraling		10	30	60	3 cyclussen (24-27 dagen)	Animal Reproduction Science
Burchard et al.	2003	Koe	16	Artificiële bestraling		10	30	60	3 cyclussen (24-27 dagen)	Bioelectromagnetics
Margonato et al.	1995	Rat	256	Artificiële bestraling			5	50	224	Bioelectromagnetics
Loscher et al.	1994	Rat	36	Artificiële bestraling			0.6	50	91	Karger
Dell' omo	2009	valk	250	Hoogspanningslijn	150	2,4-2,6	8.63	50		Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.
Algers & Hultgren	1987	Koe	58	Hoogspanningslijn	400	4	2	50	120	Preventive Veterinary Medicine
Rodriguez et al.	2004	Koe	32	Artificiële bestraling		10	30	60	28	Bioelectromagnetics
Bernabo et al.	2010	Varken	2	Artificiële bestraling			500	50	0.04	Theriogenology
Bernabo et al.	2010	Varken	2	Artificiële bestraling			750	50	0.04	Theriogenology
Bernabo et al.	2010	Varken	2	Artificiële bestraling			1000	50	0.04	Theriogenology
Laszlo et al.	2017	Kalkoen	40	Artificiële bestraling			10	50	21	Poultry Science Association
Lis	2019	Kip	360	Artificiële bestraling			15	50	21	Science, Technology and Innovation Journal
Lis	2019	Kip	360	Artificiële bestraling			10	50	21	Science, Technology and Innovation Journal
Lis	2019	Kip	360	Artificiële bestraling			5	50	21	Science, Technology and Innovation Journal
Farrell et al.	1997	Kip	2500	Artificiële bestraling			1	60	2	Bioelectromagnetics
Lahijani & Ghafoori	2000	Kip	221	Artificiële bestraling			9075	50	1	Indian Journal of Experimental Biology
Sechman et al.	2006	Kip	320	Artificiële bestraling			10	50	21	European Poultry Science
Pawlak et al.	2013	Kip	30	Artificiële bestraling		0.173	50	50	21	Acta Veterinaria Hungarica
Pawlak et al.	2013	Kip	30	Artificiële bestraling		0.18	100	50	21	Acta Veterinaria Hungarica
Kowalczuk et al.	1994	Muis	176	Artificiële bestraling			20000	50	17	Bioelectromagnetics

Studie	Jaar	Diersoort	# dieren	Type bestraling	Spanning (kV)	EF (kV/m)	MF (µT)	Freq (Hz)	duur (dagen)	Journal
Ryan et al.	2000	Rat	20	Artificiële bestraling			200	60	14	Radiation Research
Ryan et al.	2000	Rat	20	Artificiële bestraling			200	180	14	Radiation Research
Ryan et al.	2000	Rat	20	Artificiële bestraling			200	60 + 180	14	Radiation Research
Chung et al.	2003	Rat	24	Artificiële bestraling			5	60	15	Bioelectromagnetics
Chung et al.	2003	Rat	24	Artificiële bestraling			83,3	60	15	Bioelectromagnetics
Chung et al.	2003	Rat	24	Artificiële bestraling			500	60	15	Bioelectromagnetics
Huuskonen et al.	1993	Rat	72	Artificiële bestraling			35,6	50	20	Bioelectromagnetics
Huuskonen et al.	1993	Rat	72	Artificiële bestraling			15	50	20	Bioelectromagnetics
Lee et al.	1993	Schaap	20	Hoogspanningslijn	500	6	4	60	244	Biology of Reproduction
Thompson et al.	1995	Schaap	20	Hoogspanningslijn	500	6	4	60	244	Journal of Animal Science
Hefeneider et al.	2001	Schaap	45	Hoogspanningslijn	500			60	824	Bioelectromagnetics
Mahmoud & Zimmerman	1983	Varken	30	Hoogspanningslijn	345		6	50-60		
Janac et al.	2012	Muis	4	Artificiële bestraling			500	50	7	International Journal Radiation Biology
Janac et al.	2012	Muis	4	Artificiële bestraling			250	50	7	International Journal Radiation Biology
Janac et al.	2012	Muis	4	Artificiële bestraling			100	50	7	International Journal Radiation Biology
Mevissen et al.	1994	Rat	24	Artificiële bestraling			30000	50	20	Teratology
Elbetieha et al.	2002	Muis	90	Artificiële bestraling			25	50	90	Bioelectromagnetics
Qi et el.	2015	Muis	20	Artificiële bestraling			50	50	7	Environ Health Prev Med
Lee et al.	2004	Muis	15	Artificiële bestraling			100	60	56	Asian J Androl
Lee et al.	2004	Muis	15	Artificiële bestraling			500	60	56	Asian J Androl
Lee et al.	2004	Muis	15	Artificiële bestraling			100	60	56	Asian J Androl
Lee et al.	2004	Muis	15	Artificiële bestraling			500	60	56	Asian J Androl
Heredia-Rojas	2004	Muis		Artificiële bestraling			2000	60	10	Bioelectromagnetics
Duan	2014	Rat	10	Artificiële bestraling			500	50	28	Bioelectromagnetics
Duan	2014	Rat	10	Artificiële bestraling			500	50	56	Bioelectromagnetics
Forgacs et al.	2004	Muis	20	Artificiële bestraling			100	50	14	TheScientificWorldJOURNAL
Forgacs et al.	2004	Muis	20	Artificiële bestraling			100	50	14	TheScientificWorldJOURNAL
Ebrahimi-Kalan et al.	2011	Muis		Artificiële bestraling			100	50	56	Iran. Biomed. J.
Tomás et al.	2012	Koolmees	163	Hoogspanningslijn	66		0,1	50		Environmental research
Tomás et al.	2012	Koolmees	163	Hoogspanningslijn	66		0,1	50		Environmental research
Huuskonen et al.	2000	Rat		Artificiële bestraling			130	50	3 tot 7	Reproductive Toxicology
Huuskonen et al.	2000	Rat		Artificiële bestraling			130	50	3 tot 7	Reproductive Toxicology
Huuskonen et al.	2000	Rat		Artificiële bestraling			130	50	3 tot 7	Reproductive Toxicology
Huuskonen et al.	2000	Rat		Artificiële bestraling			13	50	3 tot 7	Reproductive Toxicology
Huuskonen et al.	2000	Rat		Artificiële bestraling			13	50	3 tot 7	Reproductive Toxicology

Studie	Jaar	Diersoort	# dieren	Type bestraling	Spanning (kV)	EF (kV/m)	MF (µT)	Freq (Hz)	duur (dagen)	Journal
Chung et al.	2009	Muis	40	Artificiële bestraling			5	60	280	Bioelectromagnetics
Chung et al.	2009	Muis	40	Artificiële bestraling			83.3	60	280	Bioelectromagnetics
Chung et al.	2009	Muis	40	Artificiële bestraling			500	60	280	Bioelectromagnetics
Chung et al.	2008	Rat	20	Artificiële bestraling			5	60	196 of 266	Bioelectromagnetics
Chung et al.	2008	Rat	20	Artificiële bestraling			83.3	60	196 of 266	Bioelectromagnetics
Chung et al.	2008	Rat	20	Artificiële bestraling			500	60	196 of 266	Bioelectromagnetics
McLean et al.	2003	Muis		Artificiële bestraling			2000	60	364	Bioelectromagnetics
McLean et al.	1991	Muis	32	Artificiële bestraling			2000	60	147	Bioelectromagnetics
Anderson et al.	2001	Rat	72	Artificiële bestraling			1000	60	112	Bioelectromagnetics
Mandeville et al.	1997	Rat	50	Artificiële bestraling			2	60	728	The Faseb Journal
Mandeville et al.	1997	Rat	50	Artificiële bestraling			20	60	728	The Faseb Journal
Mandeville et al.	1997	Rat	50	Artificiële bestraling			200	60	728	The Faseb Journal
Mandeville et al.	1997	Rat	50	Artificiële bestraling			2000	60	728	The Faseb Journal
Yasui et al.	1998	Rat	48	Artificiële bestraling			500	50	728	Bioelectromagnetics
Yasui et al.	1998	Rat	48	Artificiële bestraling			5000	50	728	Bioelectromagnetics
Löscher & Mevissen	1995	Rat	36	Artificiële bestraling			0,3-1	50	91	Cancer Letters
Löscher & Mevissen	1995	Rat	99	Artificiële bestraling			10	50	91	Cancer Letters
Löscher & Mevissen	1995	Rat	99	Artificiële bestraling			50	50	91	Cancer Letters
Löscher & Mevissen	1995	Rat	99	Artificiële bestraling			100	50	91	Cancer Letters
Löscher et al.	1993	Rat	99	Artificiële bestraling			100	50	91	Cancer Letters
Bua et al.	2018	Rat	1000	Artificiële bestraling			2	50	levenslang	Environmental Research
Bua et al.	2018	Rat	1000	Artificiële bestraling			20	50	levenslang	Environmental Research
Bua et al.	2018	Rat	1000	Artificiële bestraling			10	50	levenslang	Environmental Research
Bua et al.	2018	Rat	1000	Artificiële bestraling			1000	50	levenslang	Environmental Research

Studie	Jaar	Plantensoort	Type bestraling	Spanning (kV)	EF (kV/m)	MF (µT)	Freq (Hz)	Afstand tot de lijn	Journal
Soja et al.	2003	Tarwe	Hoogspanningslijn	380	4	4,5	50	2	Bioelectromagnetics
Soja et al.	2003	Tarwe	Hoogspanningslijn	380	2,3	3,7	50	8	Bioelectromagnetics
Soja et al.	2003	Tarwe	Hoogspanningslijn	380	1	2,6	50	14	Bioelectromagnetics
Soja et al.	2003	Tarwe	Hoogspanningslijn	380	0,2	0,8	50	40	Bioelectromagnetics
Soja et al.	2003	Maïs	Hoogspanningslijn	380	4	4,5	50	2	Bioelectromagnetics
Soja et al.	2003	Maïs	Hoogspanningslijn	380	2,3	3,7	50	8	Bioelectromagnetics
Soja et al.	2003	Maïs	Hoogspanningslijn	380	1	2,6	50	14	Bioelectromagnetics
Soja et al.	2003	Maïs	Hoogspanningslijn	380	0,2	0,8	50	40	Bioelectromagnetics
Muraji et al.	1998	Maïs	Artificiële bestraling LABO			5000	5		Bioelectrochemistry and Bioenergetics
Muraji et al.	1998	Maïs	Artificiële bestraling LABO			5000	10		Bioelectrochemistry and Bioenergetics
Muraji et al.	1998	Maïs	Artificiële bestraling LABO			5000	20		Bioelectrochemistry and Bioenergetics
Muraji et al.	1998	Maïs	Artificiële bestraling LABO			5000	40		Bioelectrochemistry and Bioenergetics
De Souza et al.	2008	Sla	Artificiële bestraling LABO			140000	60		Electromagnetic Biology and Medicine
De Souza et al.	2008	Sla	Artificiële bestraling LABO			140000	60		Electromagnetic Biology and Medicine
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			6,38	10		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			6,38	10		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			13,1	20		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			13,1	20		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			16,55	30		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			16,55	30		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			18,7	40		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			18,7	40		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			19,33	50		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			19,33	50		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			16,2	60		Bioelectromagnetics
Huang and Wang	2008	Mungboon	Artificiële bestraling LABO			16,2	60		Bioelectromagnetics
Novitskii et al.	2014	Radijs	Artificiële bestraling LABO			500	50		Bioelectromagnetics

Studie	Jaar	Plantensoort	Type bestraling	Spanning (kV)	EF (kV/m)	MF (µT)	Freq (Hz)	Afstand tot de lijn	Journal
Shine	2011	Soja	Artificiële bestraling LABO			50	50		Bioelectromagnetics
Shine	2011	Soja	Artificiële bestraling LABO			100000	50		Bioelectromagnetics
Shine	2011	Soja	Artificiële bestraling LABO			150000	50		Bioelectromagnetics
Shine	2011	Soja	Artificiële bestraling LABO			200000	50		Bioelectromagnetics
Shine	2011	Soja	Artificiële bestraling LABO			250000	50		Bioelectromagnetics
Shine	2011	Soja	Artificiële bestraling LABO			300000	50		Bioelectromagnetics
Yano	2004	Radijs	Artificiële bestraling LABO			50	60		Bioelectromagnetics
Demir	2010	Japanse liguster	Hoogspanningslijn				50		AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY
Demir	2010	Leylandcipres	Hoogspanningslijn				50		AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY
Davis	1996	Mosterd	Artificiële bestraling LABO			57,5	50		Bioelectromagnetics
Davis	1996	Gerst	Artificiële bestraling LABO			57,5	50		Bioelectromagnetics
Davis	1996	Radijs	Artificiële bestraling LABO			57,5	50		Bioelectromagnetics
Celestino	1998	Kurk	Artificiële bestraling LABO			15	50		Plant Cell, Tissue and Organ Culture volume
Pietruszewski	2000	Suikerbiet	Hoogspanningslijn			75000	50		International Agrophysics
Pietruszewski	2000	Suikerbiet	Hoogspanningslijn			75000	50		International Agrophysics
Podleoeny	2005	Erwt	Artificiële bestraling VELD			30000	50		Int. Agrophysics
Podleoeny	2005	Erwt	Artificiële bestraling VELD			85000	50		Int. Agrophysics
Podleoeny	2004	Veldboon	Artificiële bestraling VELD			30000	50		Int. Agrophysics
Podleoeny	2004	Veldboon	Artificiële bestraling VELD			85000	50		Int. Agrophysics
Podleoeny	2005	Erwt	Artificiële bestraling VELD			30000	50		Int. Agrophysics
Podleoeny	2005	Erwt	Artificiële bestraling VELD			85000	50		Int. Agrophysics
Podleoeny	2004	Veldboon	Artificiële bestraling VELD			30000	50		Int. Agrophysics
Podleoeny	2004	Veldboon	Artificiële bestraling VELD			85000	50		Int. Agrophysics
Aguilar	2009	Maïs	Artificiële bestraling LABO			20000	60		Acta Agrophysica
Aguilar	2009	Maïs	Artificiële bestraling LABO			60000	60		Acta Agrophysica
Aguilar	2009	Maïs	Artificiële bestraling LABO			1000000	60		Acta Agrophysica
Balonchi	2009	Warkruid	Artificiële bestraling LABO			88	60		Int. Agrophysics
Balonchi	2009	Warkruid	Artificiële bestraling LABO			128	60		Int. Agrophysics
Balonchi	2009	Vlinderbloemigen	Artificiële bestraling LABO			88	60		Int. Agrophysics
Balonchi	2009	Vlinderbloemigen	Artificiële bestraling LABO			128	60		Int. Agrophysics
Balonchi	2009	Vlinderbloemigen	Artificiële bestraling LABO			88	60		Int. Agrophysics
Balonchi	2009	Vlinderbloemigen	Artificiële bestraling LABO			128	60		Int. Agrophysics
Sujak	2009	Amarant	Artificiële bestraling VELD			30000	50		Int. Agrophysics
Sujak	2009	Amarant	Artificiële bestraling VELD			30000	50		Int. Agrophysics
Sujak	2010	Amarant	Artificiële bestraling VELD			30000	50		Int. Agrophysics
Muszyński	2009	Tarwe	Artificiële bestraling LABO			15000	50		Polish Journal of Environmental Studies
Dziwulska-Hunek	2009	Amarant	Artificiële bestraling LABO			30000	50		Int. Agrophysics

Studie	Jaar	Plantensoort	Type bestraling	Spanning (kV)	EF (kV/m)	MF (µT)	Freq (Hz)	Afstand tot de lijn	Journal
Zepeda-Bautista	2010	Maïs	Artificiële bestraling LABO			4800000	60		Int. Agrophysics
Marks	2010	Aardappel	Artificiële bestraling VELD			20000	50		Int. Agrophysics
Marks	2010	Aardappel	Artificiële bestraling VELD			40000	50		Int. Agrophysics
Marks	2010	Aardappel	Artificiële bestraling VELD			80000	50		Int. Agrophysics
Marks	2010	Aardappel	Artificiële bestraling VELD			20000	50		Int. Agrophysics
Marks	2010	Aardappel	Artificiële bestraling VELD			40000	50		Int. Agrophysics
Marks	2010	Aardappel	Artificiële bestraling VELD			80000	50		Int. Agrophysics
Rochalska	2011	Tarwe	Artificiële bestraling LABO			5000	16		Int. Agrophysics
Matwijczuk	2012	Zonnebloem	Artificiële bestraling LABO			30000	50		Int. Agrophysics
Podleśny	2021	Erwt	Artificiële bestraling LABO			85000	50		Agronomy
Podleśny	2021	Erwt	Artificiële bestraling LABO			30000	50		Agronomy
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			60000	50		Int. Agrophysics
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			120000	50		Int. Agrophysics
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			180000	50		Int. Agrophysics
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			60000	50		Int. Agrophysics
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			120000	50		Int. Agrophysics
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			180000	50		Int. Agrophysics
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			60000	50		Int. Agrophysics
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			120000	50		Int. Agrophysics
Iqbal	2012	Erwt	Artificiële bestraling LABO			180000	50		Int. Agrophysics
VASILYEVA	2020	Gras	Artificiële bestraling LABO			6	40		J. of water and land development
VASILYEVA	2020	Ui	Artificiële bestraling LABO			6	40		J. of water and land development
Bautista	2014	Maïs	Artificiële bestraling VELD			3600	60		African J. Biotechnol.,
Picazo	1999	Linzen	Artificiële bestraling LABO			15	50		Electro and magnetobiology
Picazo	1999	Distel	Artificiële bestraling LABO			15	50		Electro and magnetobiology
Li	2019	Soja	Hoogspanningslijn		2		50		Journal of Environmental Radioactivity
Li	2019	Soja	Hoogspanningslijn		10		50		Journal of Environmental Radioactivity
Li	2019	Soja	Hoogspanningslijn		2		50		Journal of Environmental Radioactivity
Li	2019	Soja	Hoogspanningslijn		10		50		Journal of Environmental Radioactivity
Li	2019	Soja	Hoogspanningslijn		2		50		Journal of Environmental Radioactivity
Li	2019	Soja	Hoogspanningslijn		10		50		Journal of Environmental Radioactivity
El-Khawas	2012	Maïs	Hoogspanningslijn				50	250	Egypt. J. Exp. Biol.
El-Khawas	2012	Maïs	Hoogspanningslijn				50	250	Egypt. J. Exp. Biol.
El-Khawas	2012	Maïs	Hoogspanningslijn				50	250	Egypt. J. Exp. Biol.
El-Khawas	2012	Maïs	Hoogspanningslijn				50	250	Egypt. J. Exp. Biol.
El-Khawas	2012	Maïs	Hoogspanningslijn				50	0	Egypt. J. Exp. Biol.
El-Khawas	2012	Maïs	Hoogspanningslijn				50	0	Egypt. J. Exp. Biol.
El-Khawas	2012	Maïs	Hoogspanningslijn				50	0	Egypt. J. Exp. Biol.
El-Khawas	2012	Maïs	Hoogspanningslijn				50	0	Egypt. J. Exp. Biol.
Parsh	1986	katoen	Hoogspanningslijn	230			50	0	
Parsh	1986	katoen	Hoogspanningslijn	500			50	0	

Studie	Jaar	Soort	Type bestraling	Spanning (kV)	EF (kV/m)	MF (µT)	Freq (Hz)	duur (dagen)	Journal
Migdal et al.	2022	Bij	Artificiële bestraling			1000	50	0,01	MDPI Animals
Migdal et al.	2022	Bij	Artificiële bestraling			1000	50	0,04	MDPI Animals
Migdal et al.	2022	Bij	Artificiële bestraling			1000	50	0,125	MDPI Animals
Migdal et al.	2022	Bij	Artificiële bestraling			1700	50	0,01	MDPI Animals
Migdal et al.	2022	Bij	Artificiële bestraling			1700	50	0,04	MDPI Animals
Migdal et al.	2022	Bij	Artificiële bestraling			1700	50	0,125	MDPI Animals
Shepherd et al.	2018	Bij	Artificiële bestraling	400		20	50	0,000694444	Scientific Reports
Shepherd et al.	2018	Bij	Artificiële bestraling	400		100	50	0,000694444	Scientific Reports
Shepherd et al.	2018	Bij	Artificiële bestraling	400		1000	50	0,000694444	Scientific Reports
Shepherd et al.	2018	Bij	Artificiële bestraling	400		7000	50	0,000694444	Scientific Reports
Shepherd et al.	2019	Bij	Artificiële bestraling			100	50	0,71	Plos One
Shepherd et al.	2019	Bij	Artificiële bestraling			1000	50	0,71	Plos One
Shepherd et al.	2021	Sprinkhaan	Artificiële bestraling			1000	50	0,000173611	Bioelectromagnetics
Shepherd et al.	2021	Sprinkhaan	Artificiële bestraling			1000	50	0,000173611	BioElectromagnetics
Wyszkowska et al.	2016	Sprinkhaan	Artificiële bestraling			4000	50	1	Scientific Reports
Wyszkowska et al.	2016	Sprinkhaan	Artificiële bestraling			7000	50	1	Scientific Reports
Maliszweka et al.	2018	Kakkerlak	Artificiële bestraling			7000	50	1	Journal of Comparative Physiology A
Maliszweka et al.	2018	Kakkerlak	Artificiële bestraling			7000	50	3	Journal of Comparative Physiology A
Maliszweka et al.	2018	Kakkerlak	Artificiële bestraling			7000	50	7	Journal of Comparative Physiology A
Li et al.	2013	Fruitvlieg	Artificiële bestraling			3000	50	3	Mutation Research
Li et al.	2013	Fruitvlieg	Artificiële bestraling			3000	50	13	Mutation Research
Li et al.	2022	Bij	Artificiële bestraling			3000	50	van dag 2 tot einde ontwikkeling	MDPI Animals
Dimitrijevic et al.	2013	Fruitvlieg	Artificiële bestraling			500	50	2	Drosophila Information Service
Zhang et al.	2016	Fruitvlieg	Artificiële bestraling			3000	50		Plos One
Graham et al.	2000	Fruitvlieg	Artificiële bestraling			1,5	60		Bioelectromagnetics
Graham et al.	2000	Fruitvlieg	Artificiële bestraling			80	60		Bioelectromagnetics
Acosta-Avalos et al.	2015	Vuurmier	Artificiële bestraling			21/40/57	60		Journal of Insect Behaviour
Oki et al.	2021	Vlinder	Hoogspanningslijn						Journal of Insect Conservation
Plewa et al.	2020		Hoogspanningslijn						Zoological Studies
Berg et al.	2013	Vlinder	Hoogspanningslijn						Insect Conservation and Diversity
Du Clos et al.	2022	Bij	Hoogspanningslijn						Landscape Ecology
Wagner et al.	2019	Bij	Hoogspanningslijn						Biological Conservation
Chicas-Mosier	2021	Bij	Artificiële bestraling			90-180			Bioelectromagnetics