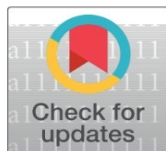
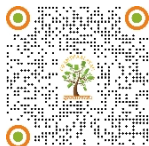


HET GEDRAG VAN HONINGBIJEN IN EEN FARADAY-AFGESCHERMDE BIJENKORF: VERPLICHTE SCHUMANN-RESONANTIE VOOR HET OVERLEVEN VAN DE KOLONIE

Daniel Favre  , Olle Johansson²

¹ A.R.R.A., Postbus 138, CH-1860 Aigle, Zwitserland

² Associate Professor, gepensioneerd van het Karolinska Instituut (in november 2017, nog steeds actief), Afdeling Neurowetenschappen, hoofd van de afdeling Experimentele Dermatologie, Stockholm, Zweden, en adjunct-professor, voorheen aan het Koninklijk Technologisch Instituut, Stockholm, Zweden



Ontvangen op 8 maart 2025
Geaccepteerd op 3 april 2025
Gepubliceerd op 30 april 2025

Corresponderende auteur

Daniel Favre, science@alerte.ch

DOI

[10.29121/granthaalayah.v13.i4.2025.6023](https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v13.i4.2025.6023)

Financiering: Dit project heeft geen specifieke onderzoekssubsidie ontvangen van enige financieringsinstantie in de publieke, commerciële of non-profitsector. O.J. wil zijn dank betuigen voor de financiële steun die hij heeft ontvangen van particuliere donateurs, die geen van allen verbonden zijn aan of betrokken zijn bij ons project.

Auteursrecht: © 2025 De auteur(s). Dit werk is gelicentieerd onder een [Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationale licentie](#).

Met de licentie CC-BY behouden auteurs het auteursrecht, waardoor iedereen hun bijdrage mag downloaden, hergebruiken, herdrukken, wijzigen, verspreiden en/of kopiëren. Het werk moet op de juiste wijze worden toegeschreven aan de auteur.

SAMENVATTING

Onderzoek toont aan dat lage antropogene elektromagnetische velden een negatieve invloed hebben op het gedrag van verschillende diersoorten, met gevolgen voor hun oriëntatie, migratie, foeragering, voortplanting, nestbouw, territoriumverdediging, vitaliteit en overlevingskansen. Veel insecten, zoals honingbijen, zijn voor hun oriëntatie en foeragering afhankelijk van de elektromagnetische velden van de aarde. Honingbijen reageren negatief op antropogene multifrequente interferentie via multisensorische mechanismen. Om de mogelijk negatieve effecten van externe elektromagnetische invloeden te omzeilen, werden de honingbijen in Faraday-kasten gehouden. Door honingbijen in dergelijke Faraday-afgeschermd kooien te plaatsen, die externe elektromagnetische velden blokkeren, worden ze effectief geïsoleerd van natuurlijke elektromagnetische frequenties. Het langdurig overleven van de honingbijen in dergelijke Faraday-kasten was echter alleen mogelijk met de kunstmatige herintroductie van de natuurlijke elektromagnetische omgeving van de aarde, de Schumann-resonantie. Honingbijen die in kooien van Faraday worden geplaatst zonder toegang tot de Schumann-resonantie, ondervinden een reeks effecten, waaronder fysiologische stoornissen bij de koningin van de honingbijenkolonie, die stopt met het leggen van bevruchte eitjes. Dit leidt tot het instorten van de kolonie, die uiteindelijk alleen nog onvolwassen vrouwelijke werksters en darren bevat. Deze bevindingen onderstrepen het belang van natuurlijke elektromagnetische velden voor het behoud van de homeostase en de normale biologische functies van honingbijen. Er is verder onderzoek nodig om factoren te onderzoeken die van invloed zijn op de fysiologie en het gedrag van honingbijen, zoals elektromagnetische straling. Het gecombineerde effect van meerdere stressfactoren, die op elkaar inwerken ruimte en tijd, speelt waarschijnlijk een centrale rol in de wereldwijde achteruitgang van de gezondheid van honingbijen.

Sleutelwoorden: Honingbijen, RF-EMF, antropogene elektrosmog, Faraday-bijenkorf, afscherming, Schumann-resonantie van de aarde



1. INLEIDING

Honingbijen worden wereldwijd bedreigd door het verdwijnen van bijenkolonies (CCD), dat in verband wordt gebracht met factoren als varroamijten, pesticiden, immuunstress, droogte, monocultuur,

migratiestress en overdracht van ziekteverwekkers [Brown et al. \(2016\)](#), [Decourtye et al. \(2019\)](#). Het CCD is een recent fenomeen [Vanengelsdorp \(2009\)](#).

Niet-ioniserende elektromagnetische velden (EMV's, 0-300 gigahertz, GHz) omvatten frequenties tussen zichtbaar licht en de natuurlijke statische velden van de aarde. Ze worden op grote schaal gebruikt in moderne technologieën, waaronder stroomdistributie, draadloze communicatie (wifi, mobiele telefoons, 2-5G), slimme apparaten, omroep, radar, satellieten en militaire toepassingen. Internationale Commissie voor Bescherming tegen Niet-Ioniserende Straling [ICNIRP \(2020\)](#). Studies tonen aan dat lage niveaus van antropogene EMV's een negatief effect hebben op verschillende soorten, waardoor hun oriëntatie, migratie, foeragering, voortplanting, nestbouw, territoriaal gedrag en algehele overlevingskansen worden verstoord. Toenemende blootstelling aan elektromagnetische straling van mobiele telefoons en antennes draagt waarschijnlijk bij aan de verstoring of achteruitgang van insectenpopulaties, zoals blijkt uit verschillende studies [Genersch \(2010\)](#), [Halabi et al. \(2013\)](#), [Levitt et al. \(2022\)](#), [Migdal et al. \(2022\)](#), [Panagopoulos \(2013\)](#), [Vanbergen et al. \(2019\)](#) en [Watson en Stallins \(2016\)](#). Er is aangetoond dat mobiele telefoons en de elektromagnetische vervuiling in de omgeving het fluitsignaal van werkers in gestresste honingbijenkolonies induceren ([Favre, 2011](#); [Favre \(2017\)](#)). Honingbijen kunnen worden verstoord tijdens bijzondere gebeurtenissen, zoals tijdens oudejaarsavond [Favre en Johansson \(2020\)](#). Bovendien oefende blootstelling aan EMV sterke fysiologische stress uit op honingbijen, wat van invloed was op genexpressie gerelateerd aan stress en gedrag, en leidde tot een verminderde bestuivingsefficiëntie [Molina et al. \(2023\)](#).

In 1836 construeerde Michael Faraday (1791-1867), de Engelse wetenschapper die gespecialiseerd was in elektromagnetisme en elektrochemie, voor het eerst de zogenaamde kooi van Faraday of het scherm [van Faraday \(1832\)](#). Een Faraday-afscherming is een geleidende behuizing die elektromagnetische velden blokkeert door elektrische ladingen te herverdelen. Het wordt gebruikt voor het afschermen van verschillende objecten (elektronica, enz.) tegen interferentie, het beveiligen van gegevens, het beschermen tegen bliksem, het mogelijk maken van wetenschappelijke experimenten, het voorkomen van storingen van medische apparatuur en het beschermen van elektronica tegen schade door elektromagnetische pulsen (EMP) [Celozzi et al. \(2023\)](#).

Experimenten waarbij verschillende diersoorten in Faraday-afschermingen werden geplaatst, omvatten knaagdieren en vogels. Muizen die in Faraday-kooien werden geplaatst, vertoonden verhoogde cortisolspiegels (een stresshormoon) en verstoorde slaappatronen en een verminderd vermogen om met stressfactoren om te gaan ([Febinger et al., 2014](#)). Studies naar trekvogels wezen uit dat kunstmatige EMV-afscherming hun oriëntatie- en navigatievermogen beïnvloedde, zelfs wanneer geomagnetische velden niet werden geblokkeerd ([Morrison, 2014](#)). Deze studies suggereren dat zowel de aanwezigheid als de afwezigheid van EMV's verschillende biologische processen bij verschillende soorten kan beïnvloeden. Wetenschappelijk onderzoek dat specifiek de effecten onderzoekt van het plaatsen van insecten, en met name honingbijen, in een Faraday-afscherming om ze te isoleren van externe elektromagnetische velden, is zeer schaars. Om te beoordelen of een dergelijke omgeving verschillende fysiologische en gedragseffecten op honingbijen kan hebben, zijn daarom experimenten uitgevoerd waarbij honingbijenkolonies werden gehouden in speciaal voor dit doel gebouwde bijenkasten. Voor zover wij weten, is dit de eerste keer dat honingbijen zich op lange termijn in een dergelijke bijzondere omgeving ontwikkelen.

2. MATERIALEN EN METHODEN

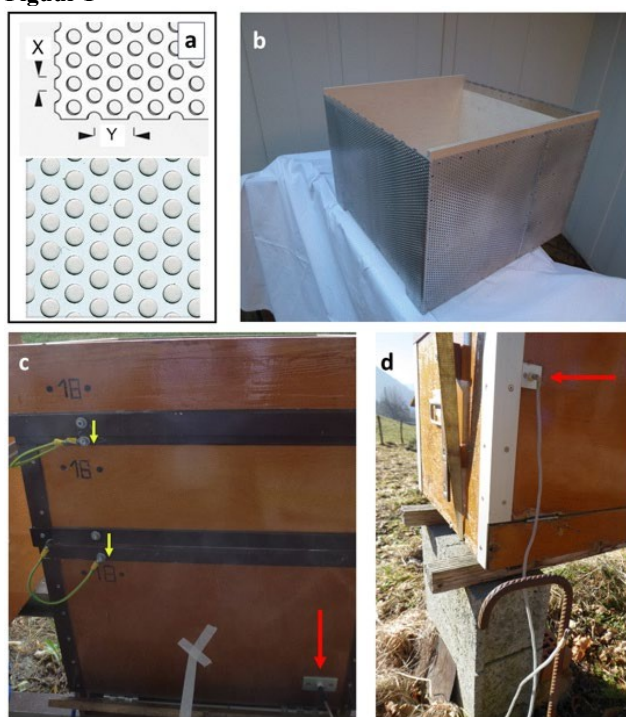
2.1. BOUW VAN EEN FARADAY-AFGESCHERMDE BIJENKAST

Voor de constructie van een met aluminium afgeschermd Faraday-bijenkast werd uitgegaan van de plannen voor een standaard Dadant-Blatt-bijenkast met 12 ramen. De details voor de constructie van de met Faraday-afscherming uitgeruste bijenkast vallen buiten het bestek van dit artikel en worden elders beschreven (Daniel Favre en Bernard Anker, manuscript in voorbereiding). In principe meet de binnenkant van de broedkast 470 x 435 x 300 mm.

(hoogte) mm. In de kern van het hoofdgedeelte is de aluminiumplaat met ronde gaten (Alfer™ GmbH, combitech® system Sheet, <https://products.alfer.com>; dikte 0,7 mm) ingeklemd tussen twee massieve stukken larikshout van elk 1 cm dik. De vloerplaat van de bijenkorf is ook gemaakt van aluminium met ronde gaten. Het dak is gemaakt van aluminium met ronde gaten en is voorzien van aluminium profielen voor een efficiënte sluiting van de verbindingen (afbeelding 1).

×Om een goede bescherming te bieden tegen elektromagnetische golven van 900 MHz en tegelijkertijd een opening van 30 cm x 2 cm aan de voorkant van de bijenkorf te behouden, moeten we metalen staven met de juiste tussenruimte gebruiken om de binnenkomende straling te blokkeren (Celozzi et al. 2023, Ohmura et al. 2014). De golflengte van 900 MHz-straling is ongeveer 33,3 cm. Om 900 MHz-straling effectief te blokkeren, moet de afstand tussen de staven aanzienlijk kleiner zijn dan de golflengte. Een algemene richtlijn is om een afstand van minder dan 1/4 van de golflengte te gebruiken. De staven moeten verticaal over de opening van 30 cm worden geplaatst om horizontaal gepolariseerde golven te blokkeren. Een afstand van 1/4 van de golflengte is dus 8,33 cm. Aangezien 6 cm kleiner is dan 8,33 cm, ligt deze afstand onder de limiet van 1/4 golflengte, wat betekent dat deze nog steeds een redelijke afscherming zou moeten bieden.

Figuur 1



Figuur 1 Constructie van Faraday-afgeschermd bijenkasten en aansluiting op de grond. a: Aluminiumplaat met ronde gaten. $X = t$ 1,6 mm. $Y = t$ 3,0 mm. b: Aluminiumkern tijdens de constructie. c, d: Aarding van de bijenkasten op de grond, waardoor de elektrische stromen van Foucault (wervelstromen) in de grond kunnen wegvloeien. Gele pijlen geven de verbinding aan tussen het dak, de honingkamer en het hoofdgedeelte van de bijenkast. Hier is de bijenkast klaar voor een bezoek van de imker. Rode pijlen geven de verbinding aan van de bijenkast met de metalen staaf met een diameter van 10 mm die wordt gebruikt voor de aarding.

2.2. SPECIFICATIES VAN DE FARADAY-AFGESCHERMDE BIJENKAST

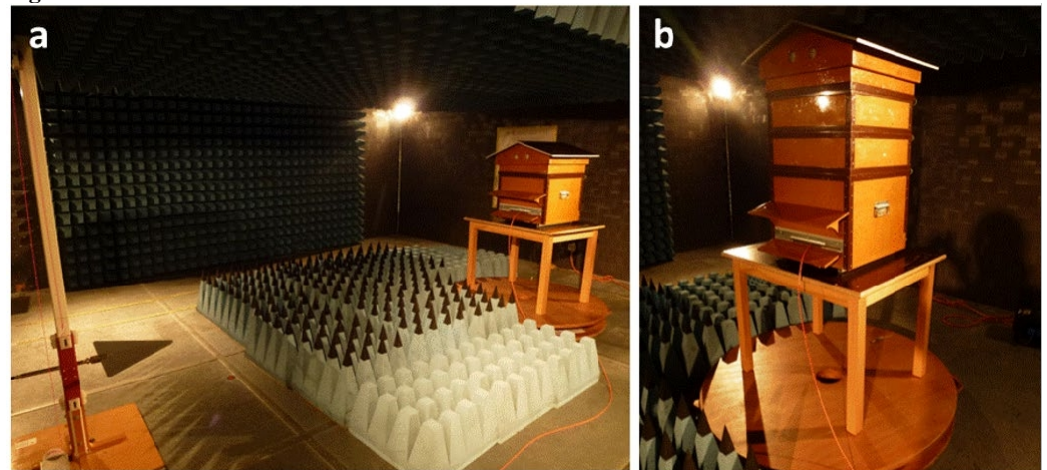
Voor de specificaties van een Faraday-afgeschermd bijenkorf moet de dempingsfactor worden gemeten, aangezien deze aangeeft hoe effectief de kooi het interieur afschermt van externe elektromagnetische velden. Deze wordt doorgaans uitgedrukt in decibel (dB). De definitie is als volgt:

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{E_{\text{outside}}}{E_{\text{inside}}} \right)$$

waarbij A de dempingsfactor in dB is, E_{buiten} de externe elektrische veldsterkte in volt per meter (V/m) is en E_{binnen} de interne elektrische veldsterkte is. De elektromagnetische veldsterkte buiten de kooi van Faraday zal in het begin over het algemeen zwakker zijn, vooral als de bron ver weg is. De afstand tot de bron zelf zorgt ervoor dat de intensiteit van de elektromagnetische golven op natuurlijke wijze afneemt volgens de omgekeerde kwadratswet, wat betekent dat hoe verder de bijenkorf van de bron verwijderd is, hoe minder intens het veld wordt. De afstand tussen de staven in een kooi van Faraday hangt samen met de afsnijfrequentie van de golfgeleider en de afscherming van de opening, die beide worden behandeld in boeken over microgolftechniek [van Morrison \(2016\)](#) en [Ramo et al. \(1994\)](#).

Een echovrije kamer is een speciaal ontworpen ruimte waarin geluidsreflecties en externe geluiden tot een minimum worden beperkt om een omgeving te creëren die zo stil mogelijk is. De term 'anechoïsch' betekent 'zonder echo's'. Deze kamers worden gebruikt voor verschillende akoestische en elektromagnetische tests. Daarom werd de Faraday-afgeschermd bijenkorf getest in de echovrije kamer van de School of Engineering van het Zwitserse Federale Instituut voor Technologie (EPFL, kamer ELL 937.0) om de karakterisering van de dempingsfactoren bij 900 megahertz (MHz) te verkrijgen. Hiervoor werden, volgens de vergelijkbare experimentele opstelling, de volgende apparaten gebruikt in de echovrije kamer van de EPFL: signaalgenerator IFR type 2023A; hoogfrequent (HF) versterker Prâna MT21; log-periodieke antenne Schwarzbeck UHALP 9107, isotrope veldsonde Amplifier Research FM2000/FP 2000. De hoogte van de antenne en de sonde was $H = 117$ cm boven het maaiveld. De afstand tussen de antenne en de sonde was $D = 3$ m ([figuur 2](#)).

Figuur 2



Figuur 2 Faraday-afgeschermd bijenkorf in de echovrije kamer. a: Faraday-afgeschermd bijenkorf zonder "supers" (gebruikt voor honingopslag). b: Faraday-afgeschermd bijenkorf met twee "supers". De sonde is in de bijenkorf geplaatst.

Voor de berekening van de fundamentele elektrische veldsterkte van de Schumann-resonantie hebben [Nickolaenko en Hayakawa \(2014\)](#), [Schumann \(1952\)](#) en [Sentman \(2017\)](#) een waarde van 0,02 V/m gehanteerd. De Schumann-resonantiefrequenties liggen namelijk doorgaans rond 7,83 Hz en worden geassocieerd met zeer laagfrequente (VLF) elektromagnetische golven. De magnetische veldsterkte van Schumann-resonantiemodi wordt vaak geschat op 50 nT tot 100 nT (nanotesla). Met behulp van de

relatie $E = c \times B$ (waarbij E het elektrische veld is in V/m, B het magnetische veld in Tesla en c de lichtsnelheid), is de overeenkomstige elektrische veldsterkte van de Schumann-resonantie van de aarde, bij een conventioneel magnetisch veld van 50 nT, ongeveer $= 0,015$ V/m.

Het elektrische veld E_{binnen} een kooi van Faraday wordt gegeven met een vergelijkbare formule, waarbij E_{buiten} de elektrische veldsterkte van de Schumann-resonantie is, met :

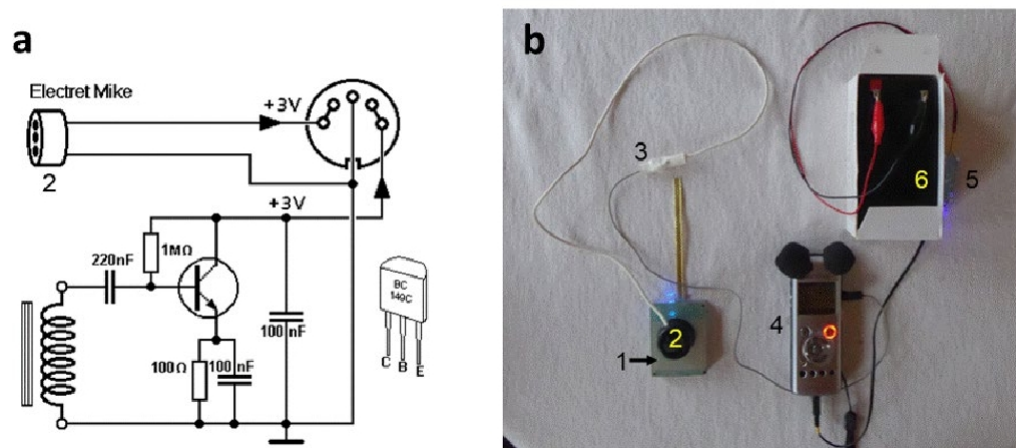
$$E_{\text{inside}} = E_{\text{outside}} \times 10^{-\frac{\text{Attenuation (dB)}}{20}}$$

2.3. BIJENKOLONIES

Het onderzoek naar honingbijenkolonies in twee Faraday-bijenkasten vond plaats in een landelijk gebied in Zwitserland, dicht bij de stad Montreux en op een hoogte van 960 m boven zeeniveau, zoals elders beschreven door [Favre en Johansson \(2020\)](#). Er is slechts één lokale antenne antenne in direct zicht (CH1093+/ LV95, <https://www.bakom.admin.ch/bakom/en/homepage/frequencies-and-antennas/location-of-radio-transmitters.html>), op ongeveer 950 m afstand van de bijenkorf. De intensiteit van de RF-EMF in de omgeving varieerde van 0,05 tot 0,2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ zoals regelmatig gemeten met behulp van de hoogfrequentieanalysator HF59B (Gigahertz Solutions). In de herfst en winter werden de bijen behandeld tegen de varroamijt *Varroa destructor* met mierenzuur en oxaalzuur, zoals elders aanbevolen (Agroscope Liebefeld-Posieux, Zwitserland). Bijenonderzoekscentrum; [Charrière et al. \(2004\)](#). De experimenten met honingbijen die in Faraday-afgeschermden bijenkasten werden gehouden, begonnen in het vroege voorjaar van 2013 en duurden tot medio 2024.

2.4. ANALYSE VAN DE SCHUMANN-GENERATOR

De Schumann-generator (model CF-FM783-BA van de fabrikant Shairann, China) die tijdens deze experimenten werd gebruikt, heeft een afmeting (7 x 5,5 x 1 cm) die zeer geschikt is om gemakkelijk via de vooringang in de bijenkorf te worden geplaatst. Volgens de specificaties van de fabrikant is de laadstroom van de Schumann-generator 250 mA, kan het product in ongeveer 6 uur volledig worden opgeladen en is de werkstroom ongeveer 7 mA, zodat het bij volledige lading ongeveer 200 uur kan worden gebruikt. De uitgezonden Schumann-golf is volgens de fabrikant 7,83 Hz. Aangezien het absoluut cruciaal was om te bevestigen dat de uitgezonden elektromagnetische golf inderdaad 7,83 Hz was, werd de Schumann-generator geanalyseerd met behulp van een ELF-receptor die speciaal is ontworpen voor de analyse van de extreem lage frequenties (ELF) van elektromagnetische golven. Hiervoor werd de ELF-receptor dicht bij de Schumann-generator geplaatst die werd gebruikt voor de uitzending van de elektromagnetische signalen. De ELF-receptor werd aangesloten op een stemrecorder (Olympus LS-11) die via een 12V-naar-3V-spanningsomvormer (Dupertuis Electronique S.A., Lausanne, Zwitserland) was verbonden met een externe batterij (Panasonic LC-R123R4P; <https://na.industrial.panasonic.com/>) ([afbeelding 3](#)). Het opgenomen signaal werd gedigitaliseerd als een golfvorm audio-/geluidsbestand met een opnamemodus van 44,1 kHz. De open source, platformonafhankelijke audiosoftware Audacity (<https://www.audacityteam.org/>) werd gebruikt voor de handmatige analyse van het signaal en voor het genereren van de audiogrammen (ook wel sonogrammen genoemd).



Figuur 3 Apparatuur en opstelling voor de analyse van de elektromagnetische golven die door de Schumann-generator worden uitgezonden. a: elektronisch circuit. "Electret Mike" verwijst naar "electret microfoon". b: experimentele opstelling. 1: Schumann-generator. 2: Electret microfoon. 3: Elektronische componenten. 4: Olympus LS-10 recorder. 5: 12V-naar-3V spanningsomvormer. 6: Batterij. In de werkelijke experimentele opstelling werden alle componenten in b uit elkaar geplaatst en werden de opnames uitgevoerd uit de buurt van elektrische draden in de omgeving.

3. RESULTATEN

3.1. FARADAY-AFGESCHERMDE BIJENKORF IN DE ECHECAMERA

Uit de analyses in de echovrije kamer van het Zwitserse Federale Instituut voor Technologie bleek dat de dempingsfactoren van de Faraday-afgeschermde bijenkorf tussen 8,6 en 28,8 dB lagen, afhankelijk van de zijde van de bijenkorf die in aanmerking werd genomen (tabel 1).

Tabel

Tabel 1 Het gemeten elektromagnetische veld bij 900 MHz in de omgeving van de sonde en zonder aanwezigheid van de bijenkorf was $E_0 = 22 \text{ V/m}$

Configuratie	Positie	Veld (V/m)	Dempingsfactor [dB]
Eenvoudige bijenkorf	Voorkant	0,8	28,8
	Achterzijde	1,9	2
	Linkerkant van binnenuit gezien	8,2	8
	Rechterkant van binnenuit	4,6	13,6
Bijenkorf met twee honingkamers	Voorkant	2,0	20,7
	Achterkant	1,6	22,7
	Linkerkant van binnenuit gezien	5,8	1
	Rechterkant van binnenuit	3,55	15,8

Het omringende Schumann-resonantieveld (het natuurlijke veld van de aarde) is, zoals eerder vermeld, ongeveer $0,015 \text{ V/m}$ (15 mV/m). De elektrische veldsterktes binnen de met een Faraday-afscherming omgeven bijenkorf (na demping) worden weergegeven in tabel 2.

Tabel 2

Tabel 2 Elektrische velden binnen de met een Faraday-afscherming omgeven bijenkorf en procentuele vermindering van de overeenkomstige elektrische velden in vergelijking met de externe Schumann-resonantievelsterkte. Waarden worden weergegeven in decibel [dB] en millivolt per meter [mV/m].

Dempingsfactoren	8,6 [dB]	28,8 [dB]
	(in het slechtste geval)	(beste geval)
Elektrisch veld binnenin	5,6 [mV/m]	0,531 [mV/m]
Einside		
Percentage vermindering van het elektrische veld	≈ 62,7	≈ 96,5

3.2. INSTORTING VAN BIJENKOLONIES BIJ AFWEZIGHEID VAN EEN SCHUMANN-GENERATOR

Tijdens de eerste jaren (2013-2022) van het onderzoek naar het lot van honingbijenkolonies in bijenkasten met Faraday-afscherming, gedroegen de kolonies zich gedesorienteerd omdat de koningin geen eitjes meer kon leggen, waardoor er geen vrouwelijke werkbijen meer waren, vooral na de winter. Werkbijen konden geen nieuwe koninginnen grootbrengen met jonge eitjes en ze voeden met koninginnengelei: er werden geen nieuw gebouwde koninginnencellen meer waargenomen. Na de winter werd vastgesteld dat er geen nieuwe werkbijen uit de zeshoekige cellen in de bijenkorf kwamen. Er kwamen steeds meer darren (mannetjes) uit de zeshoekige cellen. Dit wees erop dat sommige werkbijen onbevuchte eitjes waren gaan leggen. Het resultaat was een algehele afname van de populatie.

Om de waargenomen populatieafname tegen te gaan, werd een gepaarde koningin van gerenommeerde leveranciers geïntroduceerd. Helaas hielp dit niet om levensvatbare honingbijenkolonies in stand te houden. Ook het introduceren van koninginnencellen of maagdelijke koninginnen uit een andere bijenkorf hielp niet. De kolonies werden altijd voorzien van voldoende voedsel, ruimte en bescherming tegen ongedierte en ziekten om hun veerkracht te waarborgen en hen in staat te stellen een nieuwe koningin groot te brengen. Helaas waren al deze maatregelen en procedures eveneens zonder succes.

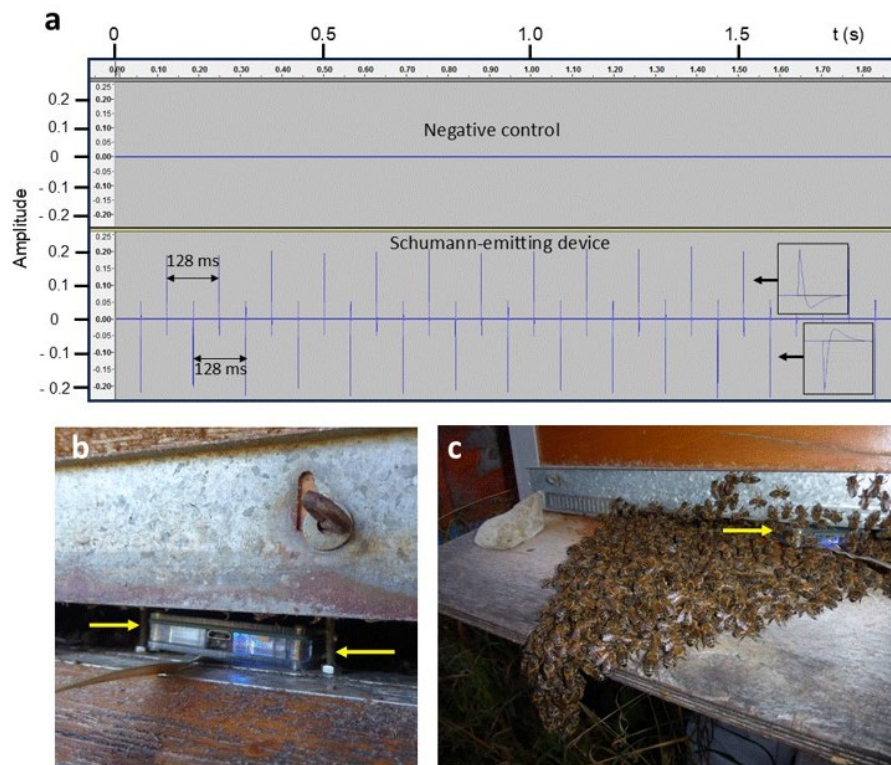
De kolonies konden in een met een Faraday-afscherming omgeven bijenkorf op lange termijn niet overleven, stabiel blijven en productief zijn.

Uiteindelijk bleek dat de aanwezigheid van een Schumann-generator absoluut cruciaal was voor het welzijn van de honingbijenkolonies op lange termijn. Twee honingbijenkolonies uit "gewone" bijenkasten werden medio april 2022 overgebracht naar de Faraday-afgeschermden bijenkasten en tegelijkertijd werden de Schumann-generatoren in deze Faraday-afgeschermden bijenkasten geplaatst. Hierdoor konden de kolonies tot medio juni 2024 overleven, waarna de honingbijen weer in "gewone" bijenkasten werden geplaatst, aangezien het onderhoud van dergelijke Schumann-generatoren constante controle vereist en geen vakanties van langer dan een week toestaat (om nog maar te zwijgen van het feit dat het ook tijdrovend is).

3.3. ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN UITGESTRAALD DOOR DE SCHUMANN-GENERATOR

De Schumann-generator die in dit onderzoek werd gebruikt, zendt elke 128 milliseconden (ms) elektromagnetische pulsen uit. Dit signaal wordt dus uitgezonden met een frequentie van 7,8125 Hz, dicht bij 7,83 Hz. Daarom kon de Schumann-generator met een gerust hart worden geplaatst in de twee met een Faraday-afscherming omgeven bijenkasten die in dit onderzoek werden gebruikt (figuur 4). De experimenten met een Schumann-generator in de twee met een Faraday-afscherming omgeven bijenkasten gingen begin voorjaar 2022 van start.

Figuur 4



Figuur 4 Karakterisering en gebruik van de Schumann-generator. a: Audiogram van de EMV's die door de Schumann-generator worden uitgezonden. Het audiogram is genormaliseerd (-0,2 tot 0,2). De negatieve controle werd uitgevoerd met de Schumann-generator in de stand OFF (bovenste paneel), terwijl het onderste paneel het sonogram met de stand ON toont (onderste paneel). De tijd (t) wordt weergegeven in seconden (s). Vergroting van de golven in de panelen aan de rechterkant. b: Schumann-generator bij de ingang van de met een Faraday-afscherming omgeven bijenkorf. Merk op dat de ingang bestaat uit verticale metalen staven (pijlen) die 6 cm van elkaar verwijderd zijn. c: zorgvuldige plaatsing van de Schumann-generator (pijl) in een zeer dichtbevolkte bijenkolonie.

4. BESPREKING

4.1. MAGNETORECEPTIE VAN HONINGBIJEN

De honingbij (*A. mellifera*) was een van de eerste diersoorten waarvan het bestaan van een magnetisch zintuig werd voorgesteld door Lindauer en Martin (1968). Baanbrekend onderzoek toonde aan dat honingbijen geomagnetische velden kunnen detecteren met behulp van magnetietdeeltjes in hun lichaam als onderdeel van hun zintuiglijke systeem (Hsu, 2007; Kirschvink, 1981; Lambinet et al. (2017), Lambinet, et al. (2017). Er is gesuggereerd dat de magnetoreceptie van honingbijen verband houdt met cryptochroomproteïnen, die gevoelig zijn voor magnetische velden en kunnen worden beïnvloed door afscherming of blootstelling aan EMV Fleischmann et al. (2020). De belangrijkste vraag is of elektrosmog van radiofrequenties (RF) uit de moderne beschaving het kompasvermogen van honingbijen verstoort en hun conditie beïnvloed Váľková en Vácha (2012). Er zijn twee belangrijke hypothesen die verklaren hoe Hymenoptera het aardmagnetisch veld (GMF) detecteren: de ferromagnetische hypothese Shaw et al. (2018) en de biochemische hypothese Hore en Mouritsen (2016).

4.2. DE SCHUMANN-RESONANTIE

De Schumann-resonantie is een natuurlijk elektromagnetisch fenomeen in de atmosfeer van de aarde, dat zich voordoet tussen het aardoppervlak en de ionosfeer. Het bestaat

uit staande elektromagnetische golven in het extreem lage frequentiebereik (ELF) en werd in 1952 wiskundig voorspeld door Winfried Otto [Schumann \(1952\)](#). Deze resonanties zijn van cruciaal belang voor het bestuderen van de atmosferische fysica en het elektromagnetische milieu van de aarde, met implicaties voor zowel het elektromagnetische milieu als mogelijke biologische effecten. De Schumann-resonantie, het natuurlijke elektromagnetische veld van de aarde, oscilleert voornamelijk op 7,83 Hz. Extra harmonischen treden op bij hogere frequenties, zoals 14,3 Hz, 20,8 Hz en hoger.

De natuurlijke elektromagnetische omgeving van de aarde, waaronder de Schumann-resonantie, beïnvloedt biologische processen bij verschillende soorten. Pionierswerk werd verricht op mensen en groene vinken ([Wever, 1970](#)). Door dieren in een kooi van Faraday te plaatsen, worden ze geïsoleerd van natuurlijke elektromagnetische velden, waaronder de primaire Schumann-resonantie van ongeveer 7,83 Hz. Aangezien dieren zich hebben ontwikkeld in de elektromagnetische omgeving van de aarde, kan een dergelijke isolatie leiden tot fysiologische en gedragsmatige effecten. Hoewel direct onderzoek naar insecten in kooien van Faraday beperkt is, wijst onderzoek naar andere dieren erop dat isolatie van natuurlijke EMV's gedrags- en fysiologische veranderingen kan veroorzaken. Natuurlijke elektromagnetische velden, zoals de primaire Schumann-resonantie en de harmonischen daarvan, lijken inderdaad te functioneren als omgevingssignalen die de biologische ritmes en ontwikkeling van verschillende organismen beïnvloeden ([Rouleau en Dotta, 2014](#)).

4.3. RELEVANTIE VAN DE EXPERIMENTELE OPZET

Met een effectieve dempingsfactor tussen 8,6 dB en 28,8 dB zou het Schumann-resonantieveld binnen de met een Faraday-afscherming omgeven bijenkorf aanzienlijk worden verminderd. De veldsterkte binnen de bijenkorf varieerde van ~5,6 mV/m (in het slechtste geval, alleen aan één kant) tot ~0,531 mV/m (in het beste geval), afhankelijk van de exacte demping. De demping van de elektromagnetische velden ligt tussen 62,7% en 96,5%, wat een matige tot hoge afschermingseffectiviteit biedt voor het natuurlijke Schumann-resonantieveld. Daarom zorgt de experimentele opstelling, bestaande uit aluminium wanden en larikshout, voor een aanzienlijke vermindering van het externe elektromagnetische veld, waardoor het een goede afscherming vormt tegen de Schumann-resonantie.

4.4. VERMOEDELIJKE ROL VAN DE SCHUMANN-RESONANTIE OP DE KONIGINBIJ

De bijenkoningin, als centrale voortplantingsfiguur van een bijenkolonie, kan in een kooi van Faraday effecten ondervinden door het ontbreken van een verwante geomagnetische input. Hoewel bijenkoninginnen de bijenkorf doorgaans niet verlaten om voedsel te zoeken of te navigeren, kunnen hun gedrag en fysiologische processen toch worden beïnvloed door de afwezigheid van geomagnetische velden. De mogelijke effecten op bijenkoninginnen kunnen de volgende zijn:

- 1) Honingbijen, inclusief de koningin, beschikken over magnetoreceptie, het vermogen om de aardse magnetische velden te detecteren. Als de koningin deze magnetische input gebruikt voor oriëntatie binnen de bijenkorf of tijdens de zeldzame gevallen van zwermen, kan het plaatsen van haar in een kooi van Faraday dit natuurlijke zintuig verstoren, wat stress of desoriëntatie kan veroorzaken.
- 2) Stress door geomagnetische isolatie kan de productie van feromonen door de koningin beïnvloeden. Feromonen zijn chemische signalen die cruciaal zijn voor de samenhang van de werksters en de organisatie van de bijenkorf, en voor de regulering van de voortplanting en het gedrag van de werksters. Elke verandering in het feromonegehalte of de samenstelling ervan kan de kolonie destabiliseren ;

- 3) Het leggedrag van de koningin kan worden beïnvloed door stress of desoriëntatie binnen de kooi van Faraday. Verstoringen kunnen leiden tot een verminderde leggraad en een lagere levensvatbaarheid van de eitjes als gevolg van stressgerelateerde fysiologische veranderingen.
- 4) Wetenschappelijk onderzoek suggereert dat aardmagnetische velden invloed kunnen hebben op cellulaire processen bij bijen, waaronder de activiteit van ionenkanalen en metabolische functies. Een gebrek aan aardmagnetische input zou in theorie van invloed kunnen zijn op het metabolisme, het energieniveau of de algehele gezondheid van de koningin, wat zou kunnen leiden tot een verminderde voortplantingsefficiëntie.
- 5) De afwezigheid van geomagnetische velden kan ook het gedrag van werkbijen ten opzichte van de koningin beïnvloeden, door de efficiëntie van het voeden en verzorgen van de koningin te verminderen of door de herkenning van haar feromonen te verstoren, wat kan leiden tot instabiliteit in de hiërarchie van de bijenkorf.

Het gebruik van kooien van Faraday voor gecontroleerde experimenten met bijenkoninginnen kan waardevolle inzichten opleveren in de rol van aardmagnetische velden bij het zwermen en paringsgedrag, de mogelijke stresseffecten op de gezondheid van koninginnen en de productie van feromonen, en de langetermijneffecten op de stabiliteit en voortplanting van bijenkolonies.

Hoewel de bijenkoningin minder direct afhankelijk is van navigatie dan de werksters die voedsel zoeken, wordt verondersteld dat de afwezigheid van aardmagnetische velden in een kooi van Faraday een domino-effect kan hebben op haar gezondheid, gedrag en voortplantingsvermogen. Indirect kunnen deze effecten de hele kolonie destabiliseren, aangezien het welzijn van de koningin absoluut essentieel is voor het functioneren en voortbestaan van de bijenkorf. Voor een uitgebreid overzicht van de effecten van elektromagnetische golven op honingbijen, en met name de bijenkoningin, zie [Levitt et al. \(2022\)](#).

Er is absoluut meer wetenschappelijk onderzoek onder gecontroleerde omstandigheden nodig om de fysiologische en reproductieve reacties van de koningin op geomagnetische afscherming of verstoring te onderzoeken. Deze gerichte experimenten met koninginnen in kooien van Faraday zijn een gebied dat klaar is voor verkenning. De resultaten zouden ons inzicht in de bredere implicaties van geomagnetische en elektromagnetische verstoringen voor bijenpopulaties en ecosystemen kunnen verdiepen.

4.5. PERSPECTIEVEN

Apparaten zoals signaalgeneratoren of elektromagnetische golfoscillatoren kunnen een stabiel elektromagnetisch veld van 7,83 Hz produceren binnen de kooi van Faraday. Deze apparaten kunnen de natuurlijke frequentie van de Schumann-resonantie van de aarde nabootsen, waardoor dieren in de kooi een vergelijkbare elektromagnetische omgeving ervaren. Deze apparaten, die elektromagnetische pulsen kunnen moduleren op frequenties die zijn afgestemd op de Schumann-resonantie, kunnen dus een biologisch relevant alternatief bieden. Men moet echter voorzichtig zijn, aangezien dergelijke kunstmatige generatoren de Schumann-resonantie qua frequentie, intensiteit en golfpatronen nauwkeurig moeten nabootsen om effectief te zijn. Afwijkingen kunnen namelijk leiden tot suboptimale of onbedoelde effecten ([Patsnap, 2024](#)).

Hoewel deze studies en technologieën wijzen op de mogelijkheid om Schumann-resonantiefrequenties kunstmatig te genereren, zou de implementatie van dergelijke systemen in een kooi van Faraday om de effecten ervan op honingbijen te bestuderen, een zorgvuldige afweging van verschillende factoren vereisen, zoals signaaltrouw (om ervoor te zorgen dat de gegenereerde frequenties qua frequentie, amplitude en golfvormkenmerken nauwkeurig overeenkomen met de natuurlijke Schumann-resonantie), milieucontrole (om een consistente en uniforme blootstelling aan elektromagnetische straling binnen de kooi van Faraday te handhaven) en biologische monitoring (voor de continue beoordeling van de

fysiologische en gedragsreacties van honingbijen op de gesimuleerde frequenties). Daarom moet bij het kunstmatig nabootsen van de Schumann-resonantie mogelijk ook rekening worden gehouden met harmonischen (14,3 Hz (2e harmonische), 20,8 Hz (3e harmonische), 27,3 Hz (4e harmonische) en 33,8 Hz (5e harmonische)) om de natuurlijke elektromagnetische omgeving volledig te repliceren.

5. CONCLUSIE

Tot op heden zijn er maar weinig studies die expliciet documenteren wat er met insecten gebeurt in een Faraday-kooi. Het meeste beschikbare onderzoek richt zich op bredere aspecten van blootstelling aan elektromagnetische velden (EMV) of isolatie en de effecten daarvan op verschillende organismen, waaronder zoogdieren, vogels en planten (Bandara en Carpenter, 2018; Cucurachi et al., 2013). Afschermingsmethoden en -producten tegen door de mens veroorzaakte elektromagnetische velden zijn elders uitvoerig beschreven (Panagopoulos en Chrousos, 2019). Hoewel er weinig direct wetenschappelijk onderzoek is gedaan naar de effecten van het plaatsen van insecten in een kooi van Faraday zonder blootstelling aan de Schumann-resonantie, wijst bestaand onderzoek naar de interactie tussen EMV en insecten en andere organismen erop dat een dergelijke isolatie mogelijk van invloed is op hun gedrag, met name door het voortplantingsvermogen van de koningin te remmen.

Natuurlijke en door de mens veroorzaakte EMV's met verschillende frequenties en intensiteiten hebben een bewezen invloed op alle onderzochte diersoorten, vaak met aanzienlijke gevolgen voor de gezondheid en het voortbestaan van wilde dieren. Veel organismen zijn voor hun vitale activiteiten afhankelijk van natuurlijke geomagnetische informatie, maar hun gevoelige magnetoreceptie maakt hen zeer kwetsbaar voor antropogene EMV's, wat mogelijk bijdraagt aan de achteruitgang en het uitsterven van soorten. Naarmate de blootstelling aan EMV's toeneemt, is het van cruciaal belang om EMV's als een nieuwe stressfactor te erkennen. Er is verder onderzoek nodig om factoren te onderzoeken die van invloed zijn op de fysiologie van honingbijen (en andere insecten en dieren), zoals elektromagnetische straling. Het gecombineerde effect van meerdere stressfactoren, die in ruimte en tijd op elkaar inwerken, speelt waarschijnlijk een centrale rol in de wereldwijde achteruitgang van de gezondheid van honingbijen. Honingbijen worden in toenemende mate blootgesteld aan kunstmatige, laagfrequente EMV's die resoneren met hun lichaam, zoals die van 3G-, 4G- en 5G-telecommunicatieantennes, die hun magnetische navigatie verstoren en magnetoreceptiestoornissen veroorzaken. Dit kan leiden tot desoriëntatie, verminderde terugkeerpercentages van foerageerders en het verdwijnen van kolonies. Blootstelling aan EMV kan ook hun fysiologie en gedrag beïnvloeden, waardoor hun leervermogen, vliegvermogen, foerageergedrag, voedingsopname en bestuivingsefficiëntie worden aangetast. Als gevolg daarvan kunnen honingbijen gebieden met hoge EMV vermijden, waardoor de bestuiving nog verder in gevaar komt.

Om de effecten van EMV op wilde dieren en met name op honingbijen te begrijpen, moeten de cumulatieve effecten, de compensatiemechanismen van soorten en de vraag of de voortdurende aanpassing aan een nieuwe homeostase zal verslechteren tot het punt waarop er geen terugkeer meer mogelijk is (onomkeerbare ineenstorting), worden beoordeeld.

BIJLAGE A

Het originele rapport van het Zwitserse Federale Instituut voor Technologie over de metingen van de dempingsfactor van de Faraday-afgeschermd bijenkorf kan op verzoek worden verkregen bij de auteur.

AUTEURSBijdragen

De eerste auteur is doctor in de biologie, docent, onafhankelijk onderzoeker, bijenteeltadviseur in het kanton Vaud (Zwitserland) en was van 2010 tot medio 2024 voorzitter van de non-profitorganisatie Alerte Romande aux Rayonnements

Artificiels (A.R.R.A., voorheen A.R.A; www.alerte.ch) en lid van de wetenschappelijke adviesraad van de non-profitorganisatie FreeTheBees (www.freethebees.ch). De tweede auteur is universitair hoofddocent, gepensioneerd van het Karolinska Instituut (in november 2017, nog steeds actief), afdeling Neurowetenschappen, hoofd van de afdeling Experimentele Dermatologie, Stockholm, Zweden, en adjunct-hoogleraar, voorheen aan het Koninklijk Technologisch Instituut, Stockholm, Zweden.

BELANGENCONFLICT

Geen.

DANK

Dit werk is uitgevoerd onder de volledige verantwoordelijkheid van de twee auteurs. Daniel Favre is Bernard Anker zeer dankbaar voor zijn professionele vaardigheden bij de constructie van de Faraday-afgeschermden bijenkasten en Jean-Marie Schwab (elektrotechnisch ingenieur ETS) voor de à façon-constructie van de ELF-receptor.

REFERENTIES

- Bandara, P., & Carpenter, D. O. (2018). Planetary Electromagnetic Pollution: It is Time to Assess its Impact. *The Lancet Planetary Health*, 2 (12), e512-e514. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30221-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30221-3)
- Brown, M. J., Dicks, L. V., Paxton, R. J., Baldock, K. C., Barron, A. B., Chauzat, M. P., ... Stout, J. C. (2016). Een horizonverkenning van toekomstige bedreigingen en kansen voor bestuivers en bestuiving. *PeerJ*, 4,
- Celozzi, S., Araneo, R., Burghignoli, P., & Lovat, G. (2023). Elektromagnetische afscherming: Theorie en toepassingen. Wiley.
- Charrière, J. D., Imdorf, A., Kuhn, R., & Liebefeld-Posieux, A. (2004). Tolerantie voor bijen bij verschillende winterbehandelingen tegen Varroa.
- Cucurachi, S., Tamis, W. L., Vijver, M. G., Peijnenburg, W. J., Bolte, J. F., & de Snoo, G. R. (2013). Een overzicht van de ecologische effecten van radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMF). *Environment International*, 51, 116-140. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.10.009>
- Decourtye, A., Alaux, C., Le Conte, Y., & Henry, M. (2019). Naar de bescherming van bijen en bestuiving onder wereldwijde veranderingen: huidige en toekomstige perspectieven in een uitdagende toegepaste wetenschap. *Current Opinion in Insect Science*, 35, 123-
- Faraday, M. (1832). *Experimental Researches in Electricity - Volume 1*. Read Books Limited.
- Favre, D. (2011). Door mobiele telefoons veroorzaakt piping bij honingbijen. *Apidologie*, 42 (3), 270-279. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0016-x>
- Favre, D. (2017). Het verstoren van het gedrag van honingbijen met elektromagnetische golven: een 'l'-methodologie. *Journal of Behavior*, 2 (2), artikel 1010.
- Favre, D., & Johansson, O. (2020). Verstoort verhoogde elektromagnetische straling het gedrag van honingbijen? Waarnemingen tijdens oudejaarsavond 2019. *International Journal Of Research*, 8, 7-14. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v8.i11.2020.2151>
- Febinger, H. Y., George, A., Priestley, J., Toth, L. A., & Opp, M. R. (2014). Effecten van huisvestingsomstandigheden en kooiverandering op slaapkenmerken bij muizen. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 53 (1), 29-37.

- Fleischmann, P. N., Grob, R., & Rössler, W. (2020). Magnetoreceptie bij Hymenoptera: belang voor navigatie. *Animal Cognition*, 23 (6), 1051-
- Genersch, E. (2010). Honingbijpathologie: huidige bedreigingen voor honingbijen en bijenteelt. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87 (1), 87-97. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2573-8>
- Halabi, N., Achkar, R., & Haidar, G. A. (2013). The Effect of Cell Phone Radiations on the Life Cycle of Honeybees. *Eurocon* 2013, 529-536. <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2013.6625032>
- Hore, P. J., & Mouritsen, H. (2016). Het radicalenpaar-mechanisme van magnetoreceptie. *Annual Review of Biophysics*, 45, 299-344. <https://doi.org/10.1146/annurev-biophys-032116-094545>
- Hsu, C. Y., Ko, F. Y., Li, C. W., Fann, K., & Lue, J. T. (2007). Magnetoreceptiesysteem bij honingbijen (*Apis mellifera*). *PLOS ONE*, 2 (4), e395. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000395>
- Internationale Commissie voor Bescherming tegen Niet-Ioniserende Straling (ICNIRP). (2020). Richtlijnen voor het beperken van blootstelling aan elektromagnetische velden (100 kHz tot 300 GHz). *Gezondheid Fysica*, 118 (5), 483-524. <https://doi.org/10.1097/hp.0000000000001210>
- Kirschvink, J. L. (1981). De horizontale magnetische dans van de honingbij is verenigbaar met een ferromagnetische magnetoreceptor met één domein. *Biosystems*, 14 (2), 193-203. [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(81\)90068-x](https://doi.org/10.1016/0303-2647(81)90068-x)
- Lambinet, V., Hayden, M. E., Reid, C., & Gries, G. (2017). Honingbijen beschikken over een polariteitsgevoelige magnetoreceptor. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 203 (12), 1029-
- Lambinet, V., Hayden, M. E., Reigl, K., Gomis, S., & Gries, G. (2017). Linking Magnetite in the Abdomen of Honey Bees to a Magnetoreceptive Function. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284 (1851). <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2873>
- Levitt, B. B., Lai, H. C., & Manville, A. M. (2022). Effecten van niet-ioniserende elektromagnetische velden op flora en fauna, deel 2: hoe soorten interageren met natuurlijke en door de mens veroorzaakte EMV. *Reviews on Environmental Health*, 37 (3), 327-406. <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0050>
- Lindauer, M., & Martin, H. (1968). Die Schwereorientierung Der Bienen Unter Dem Einfluß Des Erdmagnetfeldes. *Zeitschrift Für Vergleichende Physiologie*, 60 (3), 219-243. <https://doi.org/10.1007/BF00298600>
- Migdał, P., Berbeć, E., Bieńkowski, P., Plotnik, M., Murawska, A., & Latarowski, K. (2022). Blootstelling aan magnetische velden verandert het gedragspatroon van honingbijen (*Apis mellifera* L.) onder laboratoriumomstandigheden. *Animals*, 12. <https://doi.org/10.3390/ani12070855>
- Molina-Montenegro, M., Acuña-Rodríguez, I., Ballesteros, G., Baldelomar, M., Torres-Díaz, C., Broitman, B., & Vázquez, D. (2023). Elektromagnetische velden verstoren de bestuiving van de -service door honingbijen. *Science Advances*, 9. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh1455>
- Morrison, J. (2014). Electronics' Noise Disorients Migratory Birds. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature.2014.15176>
- Morrison, R. (2016). Aarding en afscherming: circuits en interferentie. Wiley.
- Nickolaenko, A., & Hayakawa, M. (2014). Schumann Resonance for tyros: Essentials of Global Electromagnetic Resonance in the Earth-Ionosphere Cavity. Springer Japan. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54358-9_1

- Ohmura, N., Ogino, S., & Okano, Y. (2014). Optimized Shielding Pattern of RF Faraday Cage. 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Tokyo, 765-768.
- Panagopoulos, D. J. (2013). Elektromagnetische interactie tussen omgevingsvelden en levende systemen bepaalt gezondheid en welzijn. In *Elektromagnetische velden: principes, technische toepassingen en biofysische effecten* (1e druk, pp. 87-130). Nova Science Publishers.
- Panagopoulos, D. J., & Chrousos, G. P. (2019). Afschermingsmethoden en -producten tegen door de mens veroorzaakte elektromagnetische velden: bescherming versus risico. *Science of the Total Environment*, 667, 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.344>
- Patsnap, E. B. (2024). Schumann-resonantiegenerator: gebruikmaken van de -frequentie van de aarde. Patsnap Eureka.
- Ramo, S., Whinnery, J. R., & Van Duzer, T. (1994). *Velden en golven in communicatie-elektronica met e frequenties*. Wiley.
- Rouleau, N., & Dotta, B. T. (2014). Elektromagnetische velden als structuur-functie-zeitgebers in biologische systemen: omgevingsorkestraties van morfogenese en bewustzijn. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8,
- Schumann, W. O. (1952). Über Die Strahlungslosen Eigenschwingungen Einer Leitenden Kugel, Die Von Einer Luftschicht Und Einer Ionosphärenhülle Umgeben Ist. *Zeitschrift Für Naturforschung A*, 7 (2), 149-154.
- Sentman, D. D. (2017). Schumann-resonanties. In *Handboek atmosferische elektrodynamica, deel I* (pp. 267-295). Crc Press.
- Shaw, J. A., Boyd, A., House, M., Cowin, G., & Baer, B. (2018). Multi-Modal Imaging and Analysis in the Search for Iron-Based Magnetoreceptors in the Honeybee *Apis Mellifera*. *Royal Society Open Science*, 5 (9), 181163. <https://doi.org/10.1098/rsos.181163>
- Vanbergen, A. J., Potts, S. G., Vian, A., Malkemper, E. P., Young, J., & Tscheulin, T. (2019). Risico's voor bestuivers door antropogene elektromagnetische straling (EMR): bewijs en kennislacunes. *Science of the Total Environment*, 695, 133833. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133833>
- Vanengelsdorp, D., Evans, J. D., Saegerman, C., Mullin, C., Haubruge, E., Nguyen, B. K., ... Pettis, J. S. (2009). Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study. *PLOS ONE*, 4 (8), e6481. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006481>
- Válková, T., & Vácha, M. (2012). Hoe gebruiken honingbijen hun magnetisch kompas? Kunnen ze het noorden zien? *Bulletin of Entomological Research*, 102 (4), 461-
- Watson, K., & Stallins, J. A. (2016). Honingbijen en het verdwijnen van bijenkolonies: een pluralistische herkadering. *Geography Compass*, 10 (5), 222-236. <https://doi.org/10.1111/gec3.12266>
- Wever, R. (1970). De effecten van elektrische velden op circadiane ritmiek bij mannen. *Life Sciences and Space Research*, 8, 177-187.