

Literatuurstudie effectiviteit draadmarkeringen in hoogspanningslijnen

Effectiviteit van zes maatregelen om vogelaanvaringen te verminderen

Drs. H.A.M. Prinsen, Dr. R.E. van der Vliet



**WAARDEN
BURG**
Ecology

**we
consult
nature.**

Literatuurstudie effectiviteit draadmarkeringen in hoogspanningslijnen

Effectiviteit van zes maatregelen om vogelaanvaringen te verminderen

Drs. H.A.M. Prinsen, Dr. R.E. van der Vliet

Status uitgave: Eindrapport

Rapportnummer:	25-427
Projectnummer:	25-0673
Datum uitgave:	17 maart 2026
Foto omslag:	Waardenburg Ecology
Projectleider:	Drs. H.A.M. Prinsen
Tweede lezer:	Drs. C. Heunks
Opdrachtgever:	TenneT TSO BV t.a.v. J. Hakkens Postbus 718 6800 AS Arnhem Nederland
Referentie opdrachtgever:	Inkooporder 4500129418
Akkoord voor uitgave:	drs. C. Heunks
Datum akkoord:	17 maart 2026

Graag citeren als: Prinsen, H.A.M. & R.E. van der Vliet, 2026. Literatuurstudie effectiviteit draadmarkeringen in hoogspanningslijnen. Effectiviteit van zes maatregelen om vogelaanvaringen te verminderen. Rapport 25-427. Waardenburg Ecology, Culemborg.

Trefwoorden: hoogspanningslijnen, draadmarkeringen, aanvaringsslachtoffers, vogelaanvaringen, mitigerende maatregelen

Waardenburg Ecology is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Waardenburg Ecology. Opdrachtgever hierboven aangegeven vrijwaart Waardenburg Ecology voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

© Waardenburg Ecology / TenneT TSO BV

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden vervaelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, digitale kopie of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Waardenburg Ecology, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Waardenburg Ecology is een handelsnaam van Bureau Waardenburg BV. Lid van de branchevereniging Netwerk Groene Bureaus. Het kwaliteitsmanagementsysteem is gecertificeerd door EIK Certificering overeenkomstig ISO 9001:2015. Waardenburg Ecology hanteert als algemene voorwaarden de DNR 2011, tenzij schriftelijk anders wordt overeengekomen.

Waardenburg Ecology Varkensmarkt 9, 4101 CK Culemborg, 0345 512710
info@waardenburg.eco, www.waardenburg.eco



Voorwoord

Voor een onderbouwing van de vergunningaanvragen van toekomstige hoogspanningsverbindingen heeft de Nederlandse netbeheerder TenneT behoefte aan een overzicht van maatregelen waarmee het aantal aanvaringen van vogels met bovengrondse draden succesvol kan worden verminderd. In het algemeen worden hiervoor verschillende typen draadmarkeringen gebruikt. Deze markeringen maken de draden voor vogels beter zichtbaar en verminderen het aantal draadslachtoffers.

Onderzoeken naar de effectiviteit van draadmarkeringen worden wereldwijd uitgevoerd, maar de resultaten van die onderzoeken zijn niet altijd eenduidig en soms ook moeilijk te achterhalen. Een goed overzicht maakt het voor TenneT makkelijker om een effectief bewezen maatregel (voor een bepaalde vogelsoort of soortgroep) voor te schrijven als mitigerende maatregel voor de nieuwe verbindingen. TenneT heeft daarom Waardenburg Ecology verzocht dergelijke informatie op een rij te zetten in een literatuuronderzoek.

Vanuit Waardenburg Ecology is dit onderzoek uitgevoerd door Roland van der Vliet en Hein Prinsen, beiden al lange tijd betrokken bij ecologische onderzoeken rondom hoogspanningsverbindingen in Nederland. De kwaliteitscontrole van het rapport is uitgevoerd door Camiel Heunks.

Vanuit de TenneT is de opdracht begeleid door Jac Hakkens. Wij bedanken hem voor de prettige samenwerking.



Inhoud

Voorwoord	3
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Opbouw rapport	5
2 Aanpak literatuuronderzoek	7
2.1 Woord vooraf	7
2.2 Selectie van te beoordelen maatregelen	8
2.3 Literatuurstudie	8
3 Kunststof spiralen	11
4 RIBE vogelflappen	14
5 FireFly en andere dynamische BFDs	17
6 Hawk Eye	20
7 Gebruik van UV-verlichting	22
8 Discussie en conclusies	24
8.1 Is het waar dat alle typen draadmarkeringen goede werking hebben?	24
8.2 Waaraan voldoet een goede draadmarkering?	26
8.3 In hoeverre voldoen de onderzochte maatregelen aan de gestelde eisen?	26
8.4 Hoe nu verder in Nederlandse context?	27
8.5 Advies voor vervolgonderzoek	28
Literatuur	30



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

TenneT werkt momenteel aan een zestal MER-trajecten rondom grootschalige bovengrondse hoogspanningsverbindingen. Bij TenneT en de betrokken onderzoeksbureaus bestaat behoefte om de aanpak van effectbepaling en -beoordeling te standaardiseren, ook met het oog op de aanvraag van de Omgevingswet-vergunningen. Een van de aandachtspunten vormt de effectiviteit van draadmarkeringen als maatregel om vogelaanvaringen te verminderen en hoe dit mee te nemen in de Passende Beoordeling van het voorkeurstracé (VKA).

Draadmarkeringen hebben ten doel om het aantal draadslachtoffers onder vogels te verminderen door de zichtbaarheid van de draden voor passerende vogels te vergroten. Draadmarkeringen worden in de regel aangebracht in de bliksemraden van een hoogspanningsverbinding, omdat juist deze relatief dunne draden boven de dikkere stroomkabels (fasedraden) het slechtst zichtbaar zijn en de meeste vogelslachtoffers vergen.

In 2011 heeft Waardenburg Ecology een literatuurreview en richtlijnen opgesteld over mogelijkheden om vogelslachtoffers bij bovengrondse hoogspanningsverbindingen te verminderen (Prinsen *et al.* 2011, 2012). Sindsdien zijn verschillende nieuwe typen draadmarkeringen en andere mitigerende maatregelen ontwikkeld en getest. Ook TenneT is op zoek naar nieuwe typen draadmarkeringen en start binnenkort met een test met de zogenoemde Hawk Eye UV-reflectoren uit de Verenigde Staten. Voor het succesvol verkrijgen van een Omgevingswet-vergunning is het voor TenneT belangrijk dat de werkzaamheid van dit type maatregelen bewezen is. Onderzoeken naar effectiviteit worden wereldwijd uitgevoerd, maar de resultaten van die onderzoeken zijn niet altijd eenduidig en soms ook moeilijk te achterhalen. Een goed overzicht maakt het voor TenneT makkelijker om een effectief bewezen maatregel (voor een bepaalde vogelsoort of soortgroep) voor te schrijven als mitigerende maatregel voor de nieuwe verbindingen. TenneT heeft daarom Waardenburg Ecology gevraagd om dergelijke informatie op een rij te zetten in voorliggend literatuuronderzoek.

1.2 Opbouw rapport

In dit rapport wordt naar draadmarkeringen gerefereerd met de internationaal gebruikelijke term 'Bird Flight Diverters' (hierna: BFDs). Dit rapport geeft een samenvatting van de effectiviteit van verschillende soorten BFDs. Het is gebaseerd op de resultaten van gepubliceerde onderzoeken over dit onderwerp. BFDs werken alleen op het verminderen van draadslachtoffers, niet op het voorkomen van vogelslachtoffers door elektrocutie. Maatregelen om elektrocutie te voorkomen worden in voorliggend rapport niet besproken.



Dit rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt beschreven welke bronnen zijn gebruikt en hoe tot een afbakening van studies is gekomen die in voorliggend rapport zijn gebruikt om de effectiviteit te beschrijven van vijf verschillende typen BFDs en de maatregel UV-verlichting. Hoofdstukken 3 t/m 7 behandelen de werkzaamheid van deze vijf typen BFDs en UV-verlichting. In ieder hoofdstuk wordt kort beschreven hoe de maatregel eruit ziet en wordt toegepast en wordt veldonderzoek naar hun werkzaamheid samengevat. In Hoofdstuk 8 wordt nader ingegaan op de (on)mogelijkheid om de werking van de verschillende maatregelen met elkaar te vergelijken. Voor zover mogelijk wordt per vogelsoort(groep) beschreven van welke maatregel de grootste werking wordt verwacht. Daarnaast wordt een voorstel gedaan voor een getrechterde toepassing van de vijf soorten BFDs en UV-verlichting.



2 Aanpak literatuuronderzoek

2.1 Woord vooraf

In de afgelopen twee decennia zijn meerdere overzichtsstudies gepubliceerd waarin de effectiviteit van draadmarkeringen (hierna: Bird Flight Diverters', oftewel BFDs) is onderzocht en verschillende typen BFDs met elkaar zijn vergeleken. In het algemeen geldt dat vrijwel ieder type BFD het aantal draadslachtoffers vermindert. In een meta-analyse van 21 studies naar de werkzaamheid van BFDs bevestigen Barrientos *et al.* (2011) deze algehele effectiviteit van BFDs (afname van vogelaanvaringen met 55-94%, gemiddeld 78%). In een latere studie, met meer recente onderzoeken en nieuwere typen BFDs, concluderen ook Bernardino *et al.* (2019) dat het markeren van bovengrondse hoogspanningslijnen het aantal draadslachtoffers significant halveert (50,4%; 95%-betrouwbaarheidsinterval: 40,4 - 58,8%).

Beide overzichten benadrukken de grote variatie in uitkomsten tussen de veldstudies die in hun onderzoek zijn meegenomen (van 90,5% effectiviteit tot enkele veldstudies met "negatieve" resultaten). Dit kan worden verklaard door de grote diversiteit aan typen hoogspanningslijnen en typen BFDs in de opgesomde veldstudies, evenals de rol van omringende topografie, habitattypen en de aanwezige vogelsoorten. Deze rol is vaak niet goed in beeld gebracht. Belangrijker is dat beide overzichtsstudies concluderen dat veel veldstudies een beperkte steekproefomvang hebben en/of een experimenteel ontwerp van lage kwaliteit. Tenslotte verschillen veldstudies sterk in de manier waarop en de mate waarin is gecorrigeerd voor onder andere vindkans (detecteerbaarheid van slachtoffers), verdwijnsnelheid (door aaseters) en het aanbod vliegbewegingen over de hoogspanningslijnen. Dit alles bemoeilijkt het onderling vergelijken van de effectiviteit van verschillende typen BFDs.

Ook andere recente overzichtsstudies en pogingen om verschillende typen BFDs met elkaar te vergelijken (o.a. Liesenjohn *et al.* 2019, RGI 2024) lopen tegen bovenstaande tekortkomingen aan. Wij hebben er daarom voor gekozen om de exercities in voornoemde en andere overzichtsstudies niet te herhalen, maar de belangrijkste en best bruikbare bevindingen hier te rapporteren. Dit is gedaan op een systematische manier, zodat de toekomstige keuze voor toepassing van de onderzochte typen BFDs (en UV-verlichting) zoveel als mogelijk kan worden getrechterd volgens hun werking voor de relevante vogelsoort(groep) en de context waarin ze worden toegepast (bijvoorbeeld beschermingsregime, dag- of nachttactieve vogelsoorten).



2.2 Selectie van te beoordelen maatregelen

In samenspraak met TenneT is voorliggend literatuuronderzoek beperkt tot een selectie van zes maatregelen die in Nederland redelijkerwijs technisch goed zijn toe te passen. Het betreft vijf typen draadmarkeringen (BFDs):

1. Kleine kunststof spiralen (zogenoemde 'varkenskrullen')
2. Grotere kunststof spiralen (zogenoemde 'Swan Flight Diverters')
3. RIBE vogelflappen
4. FireFly roterende schijven
5. Hawk Eye reflectoren (en daarop lijkende typen)

Deze vijf typen BFDs worden alle gekenmerkt door een markering die in de bliksemdraad wordt gehangen. Er bestaan nog tal van andere typen BFDs die in het verleden in het buitenland zijn toegepast, zoals ballen en andere typen 'flappers'. Echter, de werkzaamheid hiervan is vaak niet of nauwelijks goed onderzocht of het betreft oudere typen BFDs die niet langer als vogelmarkering verkrijgbaar zijn. Voor meer details over technische specificaties en kosten van de genoemde BFDs, verwijzen wij naar McGowan (2024).

Een zesde maatregel die in dit rapport wordt beschreven betreft:

6. Toepassing van UV-verlichting langs de bliksemdraden.

Hierbij hangt geen voorwerp in de bliksemdraden, maar worden deze draden aangelicht met UV-lampen.

Vooraf heeft TenneT verzocht om ook over de werking van portaalmasten te rapporteren. Dit zijn hoogspanningsmasten van relatief lage hoogte waarbij alle aanwezige draden in (vrijwel) hetzelfde horizontale vlak hangen. Hiermee is de verbinding voor vogels naar verwachting beter zichtbaar. Bovendien kunnen vogels hier makkelijker en veiliger overheen vliegen, omdat de vogels maar één pakket draden op lage hoogte hoeven te passeren. Dergelijke portaalmasten staan in Nederland bijvoorbeeld bij Muiden en Heerenveen. Wij hebben in ons literatuuronderzoek geen informatie gevonden over de effectiviteit van portaalmasten in het verminderen van aantal draadslachtoffers. In dit rapport wordt de werking van portaalmasten daarom niet behandeld.

2.3 Literatuurstudie

2.3.1 Initiële selectie van te beschouwen studies

Bijna vijftien jaar geleden zijn twee omvangrijke overzichtsstudies over de werking van BFDs gepubliceerd door Barrientos *et al.* (2011) en Prinsen *et al.* (2012). Voor voorliggend literatuuronderzoek is daarom allereerst gezocht naar nieuwe studies nadien. Veel van deze nieuwe informatie is samengevat in een aantal recente buitenlandse overzichten, te weten: APLIC (2012), Bernardino *et al.* (2018), Liesenjohann *et al.* (2019), NABU & RPS (2021), Martin Martin *et al.* (2022), Bateman *et al.* (2023), RGI (2024) en Birdlife International (2024). De overzichtsstudie van RGI (2024) is bijvoorbeeld gestoeld op de resultaten van 50 veldstudies, het merendeel na 2011. Gezien de toename van beschikbaarheid van publicaties na 2011 is ervoor gekozen om alleen die veldstudies nader te beschouwen



die in voornoemde overzichten na 2011 zijn opgenomen. Gezamenlijk worden zij geacht een goed overzicht van de studies naar BFDs te geven.

2.3.2 Nadere selectie vanwege onderzoeksopzet van studies

Na 2011 is veel onderzoek verricht naar de effectiviteit van BFDs. Het is daardoor mogelijk te filteren op de kwaliteit van de onderzoeksopzet van de veldstudies. Indien beschikbaar zijn per BFD zoveel als mogelijk veldstudies van de hoogste kwaliteit geselecteerd. Onder een hoge kwaliteit van onderzoeksopzet verstaan wij veldstudies die een zogenoemde BACI-opzet kennen én in internationale *peer-reviewed* tijdschriften zijn verschenen. Dit wordt hieronder toegelicht. Niet voor alle BFDs waren dergelijke kwalitatief hoogwaardige veldstudies voorhanden. Als dergelijke veldstudies niet beschikbaar waren, zijn andere studies gebruikt die in hierboven genoemde overzichtsstudies als voldoende goed uitgevoerd stonden aangeschreven. Het is echter mogelijk dat conclusies dan minder sterk kunnen worden geformuleerd.

BACI-studies

BACI staat voor Before, After, Control & Impact. Een studie met BACI-ontwerp is een krachtig onderzoeksontwerp om effecten te meten door data te verzamelen vóór een ingreep (Before) en na de ingreep (After), op zowel de 'impact'-locatie als een vergelijkbare 'controle'-locatie. Zo kunnen specifieke veranderingen door de ingreep (in dit geval het aanbrengen van BFDs) worden geïsoleerd van overige invloeden, zoals variatie in het aanbod vogels tussen verschillende jaren of verschillen in predatiesnelheid. Een studie met BACI-ontwerp heeft meer statistische zeggingskracht dan een eenvoudiger ontwerp, zoals alleen Control versus Impact (CI) of alleen Before versus After (BA). Er wordt namelijk rekening gehouden met natuurlijke fluctuaties en andere factoren die het resultaat kunnen beïnvloeden.

Bij nauwkeurige lezing van dergelijke studies blijkt regelmatig dat op het onderzoeksontwerp desondanks wat valt af te dingen. Zo is soms niet gecorrigeerd voor vindkans en predatie en wordt geen informatie gegeven over eventuele verschillen in aanbod vogels tussen de gemarkeerde en niet-gemarkeerde lijnsegmenten. Dit laatste is een beperking van bijna alle BA- en CI-studies die duidelijke conclusies over de werking van BFDs bemoeilijkt.

Peer-reviewed studies

Het belang van *peer review* (collegiale toetsing) is dat vóór publicatie van een onderzoek een controle op de kwaliteit is uitgevoerd door experts (*peers*) uit hetzelfde vakgebied. Zij controleren onafhankelijk het wetenschappelijke werk. Wanneer het onderzoek is gepubliceerd in een peer-reviewed internationaal tijdschrift betekent dit dat deze controle heeft plaatsgevonden door internationale experts wat het vertrouwen in de deskundigheid en kwaliteit van het onderzoek extra bevordert. Controle vindt plaats op validiteit, kwaliteit, originaliteit en betrouwbaarheid van het werk. Peer review is dus een cruciale filter voor wetenschappelijke publicaties en borgt de kwaliteit en integriteit van onderzoek. Grijze literatuur (zoals onderzoeksrapporten in opdracht van derden) heeft dit rigoureuze proces



niet ondergaan, zodat de lezer en/of gebruiker van het rapport niet zonder meer kan vertrouwen op de kwaliteit.

De overzichtsstudies van Liesenjohann *et al.* (2019) en RGI (2024) hebben deze criteria nadrukkelijk betrokken in hun analyse. Beide overzichtsstudies vormen daarom de basis voor de verdere uitwerking in voorliggend rapport.

2.3.3 **Verdere selectie via relevante vogelsoorten**

Liesenjohann *et al.* (2019) geven een overzicht van wereldwijde veldstudies naar de werking van BFDs. Verschillende veldstudies vonden echter plaats in landen met ecosystemen en/of soorten die niet in Nederland voorkomen. Belangrijke voorbeelden hiervan zijn enkele studies in Zuid-Afrika naar de soortgroepen trappen en kraanvogels (o.a. Shaw *et al.* 2021) en in Colombia (De La Zerda & Roselli 2002). Resultaten voor dergelijke ecosystemen of soorten worden in voorliggend rapport niet nader beschouwd, tenzij het soorten betreft waarvan in Nederland een vergelijkbare soort voorkomt, zoals de Zuid-Afrikaanse paradijskraanvogel die in gedrag vermoedelijk overeenkomsten vertoont met de in Nederland aanwezige kraanvogel. Resultaten uit veldstudies in Noord-Amerika zijn wel vaker representatief voor de situatie in Nederland. De relevante soorten zijn immers vaak dezelfde of vertonen qua gedrag en ecologie sterke overeenkomsten met hun Europese tegenhangers, zoals verschillende soorten eenden en ganzen.

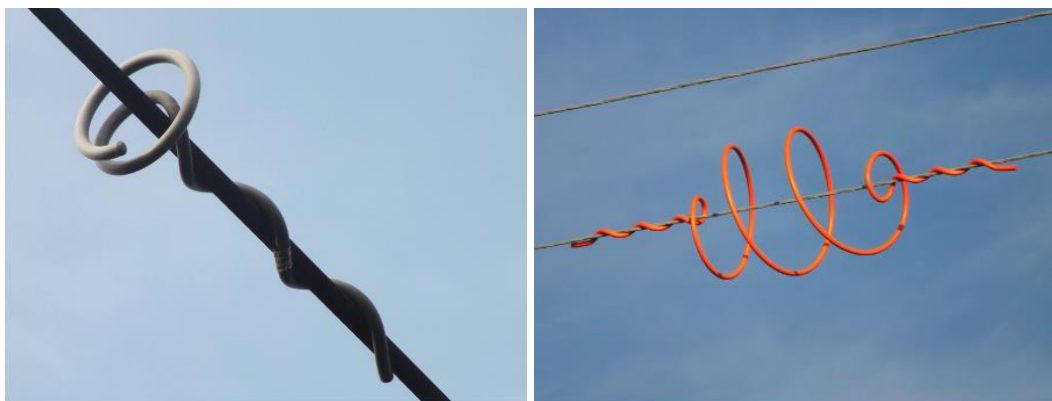
2.3.4 **Uitwerking**

Op basis van de geselecteerde studies is in de volgende hoofdstukken van dit rapport een overzicht samengesteld over wat bekend is over de effectiviteit van de vijf geselecteerde typen BFDs en UV-verlichting in het verminderen van het aantal draadslachtoffers onder vogels. Hierbij is zoveel als mogelijk onderscheid gemaakt naar soort(groep)en. Rekening houdend met de locatie en de habitat waar de onderzoeken plaatsvonden en de onderzochte vogelsoorten, wordt in Hoofdstuk 8 besproken in hoeverre de bevindingen in een Nederlandse context zijn te gebruiken. In dat slothoofdstuk wordt tenslotte een beslisboom voorgesteld om onderbouwd voor verschillende situaties in Nederland tot een selectie van het type maatregel te komen, omdat niet iedere locatie de meest kostbare en/of technisch uitdagende methode vereist.

3 Kunststof spiralen

3.1 Algemene beschrijving

Kunststof spiralen zijn wereldwijd de meest gebruikte BFDs (Figuur 3.1). Dit type BFD wordt om de (bliksem)draad gedraaid en bestaat in een groot aantal kleuren en formaten (diameter van de windingen). Groot voordeel is dat kunststof spiralen statisch zijn zonder bewegende onderdelen, zodat er weinig risico is op defecten en vervanging dus zelden nodig is. Kleine spiralen (verder varkenskrullen genoemd) worden in Nederland al vele decennia toegepast. Hun effectiviteit is in Nederland bijvoorbeeld al eind 70'er jaren van de vorige eeuw onderzocht door Koops (1979) en Koops & De Jong (1982). Grotere spiralen, met een diameter van de grootste winding van >20 cm diameter, worden in de literatuur Swan Flight Diverters (kortweg: SFDs) genoemd. Zij zijn bijvoorbeeld in Engeland gebruikt om aanvaringen van zwanen te verminderen (Frost 2008). De SFD is dus aanmerkelijk groter (en dus beter zichtbaar op grotere afstand) dan de 'standaard' varkenskrul. De SFD is vooral ontwikkeld om de zichtbaarheid te vergroten ten opzichte van reguliere varkenskrullen, zodat ook grotere en minder wendbare vogels draden eerder kunnen waarnemen. Grotere krullen zijn echter zwaarder en kunnen tot meer belasting van de draden leiden, vooral bij ijsafzetting en gelijktijdig harde wind. Er moet dus een afweging worden gemaakt tussen het aantal krullen en de onderlinge afstand binnen een lijnsegment en de omvang van de krullen die worden gebruikt.



Figuur 3.1 Kunststof spiralen bestaan in een groot aantal kleuren en formaten. Links de zogenoemde varkenskrul, meestal met een grootste diameter van <15 cm. Rechts een zogenoemde Swan Flight Diverter, meestal met een grootste diameter >20 cm. (bron: NABU & RPS 2021).



3.2 Studies

Er is recent weinig onderzoek verricht naar de effectiviteit van de reguliere varkenskrullen: de meeste onderzoeken in deze eeuw naar de werking van spiralen richten zich op SFDs. Waar de werking van beide typen met elkaar is vergeleken, resulteerden de grotere spiralen vaak in iets sterkere reductie van draadslachtoffers, maar dit verschil was niet statistisch significant (Koops & De Jong 1982, Barrientos *et al.* 2012).

De effectiviteit van kunststof spiralen varieert afhankelijk van de aanwezige soort. Veel van de hier geselecteerde studies tonen een statistisch significante reductie in aantal draadslachtoffers van ongeveer 60-80% (Tabel 3.1). Drie studies vonden zelfs een statistisch significante reductie van meer dan 90% na toepassing van SFDs, terwijl de uitvoerige studie van Barrientos *et al.* (2012) slechts 10% significante reductie vond (zowel voor varkenskrullen als SFDs). In vrijwel alle studies kon geen statistisch relevant onderscheid worden gemaakt naar effectiviteit van de kunststof spiralen voor individuele soorten of soortgroepen vanwege het beperkt aantal slachtoffers per soort(groep). De behaalde reductie (zie Tabel 3.1) is dus gebaseerd op alle gevonden draadslachtoffers zonder onderscheid naar soort(groep).

Veel van de studies met hoge reductiepercentages waren gericht op het verminderen van slachtoffers onder vogelsoorten die vooral overdag de hoogspanningsverbinding passeerden (broedende kraanvogels, knobbelzwaan, broedende steltlopers, duiven, etc.). Met name voor vogelsoorten die vaak in de schemering vliegen of 's nachts in het donker is het onwaarschijnlijk dat dit type draadmarkering tot belangrijke reductie van aanvaringen leidt (zie ook de opmerkingen in de hoofdstukken over RIBE vogelflappen en FireFly markeringen). Alleen de studie van Kalz *et al.* (2015) vond een opmerkelijke afname in het aantal slachtoffers onder 's nachts trekkende lijsters in hun studiegebied in Duitsland na toepassing van zwart-witte varkenskrullen. Hoewel deze studie vaak wordt geciteerd als een BACI-studie, was het controledeel slechts 100 m lang (tegen 2,4 km lengte van gemarkeerde lijnsegmenten). Het is daarom niet uitgesloten dat het grote verschil in aantal draadslachtoffers onder 's nachts trekkende lijsters voor en na plaatsing van de varkenskrullen te wijten is aan verschillen in het aanbod vogels en/of verschillen in (weers)omstandigheden tussen beide onderzoeksjaren.



Tabel 3.1 *Selectie van studies over werking van A) kleine kunststof spiralen ('varkenskrullen') en B) grote kunststof spiralen ('Swan Flight Divers') om vogelaanvaringen te voorkomen. Selectie gebaseerd op kwaliteit van experimentele opzet (BACI versus BA of CI), wel of niet peer-reviewed (PR of GRIJS) en/of relevantie van betrokken vogelsoorten in Nederlandse context (zie Hoofdstuk 2 voor selectiecriteria). De categorie 'alle soorten' betekent hier dat in de berekening van de reductie alle gevonden vogelslachtoffers bij elkaar zijn genomen en statistisch geen onderscheid naar soort(groep)en mogelijk was. Statistisch significante reductie van vogelaanvaringen is vetgedrukt, niet-significante reductie is cursief weergegeven (ook als de studie hierover geen informatie geeft). [...] % gegeven door RGI 2024 zonder toelichting hoe dit door hen berekend is.*

A. Varkenskrullen

Auteurs	Type onderzoek	Land	Vogelsoorten	Reductie %
Barrientos <i>et al.</i> 2012	BACI / PR	Spanje	alle soorten	10
Kalz <i>et al.</i> 2015	BA / PR	Duitsland	vooral zangvogels	81
Brown & Drewien 1995	CI / PR	USA	alle grote soorten	61
Crowder 2000	BA / GRIJS	USA	wilde eend	70 [73]
Koops & De Jong 1982	BA / GRIJS	Nederland	alle soorten	54-87

B. Swan Flight Divers (SFDs)

Auteurs	Type onderzoek	Land	Vogelsoorten	Reductie %
Shaw <i>et al.</i> 2021	BACI / PR	Zuid-Afrika	blauwe kraanvogel	92
			alle soorten	92 [51]
Galis & Sevcik 2019	BACI / PR	Slowakije	alle soorten	91 [96]
Barrientos <i>et al.</i> 2012	BACI / PR	Spanje	alle soorten	10
Janss & Ferrer 1998	BACI / PR	Spanje	alle soorten	81
			kraanvogel	88
Alonso <i>et al.</i> 1994	BACI / PR	Spanje	houtduif	79
			alle soorten	60
Ferrer 2012	BACI / GRIJS	Spanje	alle soorten	81
Ferrer <i>et al.</i> 2020	CI / PR	Spanje	alle soorten	40-44
Frost 2008	BA / PR	UK	knobbelswaan	95
Koops & De Jong 1982	BA / GRIJS	Nederland	alle soorten	65 [74]

4 RIBE vogelflappen

4.1 Algemene beschrijving

Dit type BFD bestaat uit ongeveer 50 cm lange kunststof strips, afwisselend zwart en wit, die in de wind kunnen bewegen (Figuur 4.1). Deze BFD wordt geproduceerd door Richard Bergner Holding GmbH & Co (RIBE) uit Duitsland en wordt in de literatuur daarom RIBE Zebra vogelmarkeringen genoemd (hier verder: RIBE vogelflappen). De witte lamellen kunnen ook uit fotoluminescerend materiaal bestaan, waardoor ze in de schemering en donker 'nagloeien' en nog lang zichtbaar zijn. Dit is de grootste (1.500 cm²) en zwaarste (1.2 - 1.5 kg) beschikbare BFD (met uitzondering van ballen die worden gebruikt om draden zichtbaar te maken voor de luchtvaart, maar deze worden niet vaak als BFD toegepast). Dit heeft als nadeel dat per lijnsegment een beperkt aantal RIBE vogelflappen kan worden opgehangen, vaak om de 20 m of meer afstand, wat de werking mogelijk inperkt. Een ander nadeel is dat de bewegende onderdelen kunnen slijten of om de draad vastdraaien bij harde wind, maar dit laatste zou door de fabrikant inmiddels verholpen zijn.



Figuur 4.1

De RIBE 'vogelflappen' bestaan uit zwarte en witte kunststof lamellen van 50 cm lengte die in de wind bewegen. De witte lamellen zijn ook verkrijgbaar als 'glow in the dark' (bron: NABU & RPS 2021).



4.2 Studies

De RIBE vogelflappen worden vooral in Duitsland als BFD toegepast en in dit land zijn verschillende veldstudies uitgevoerd naar de werkzaamheid van deze BFD. Een kwalitatief hoogwaardige studie is uitgevoerd door Jödicke *et al.* (2018) en Jödicke (2019). Zij vonden na een tweejarige BACI-studie onder bijna 4,5 km lengte hoogspanningslijn een significante reductie in het aantal draadslachtoffers onder ganzen en eenden van 80-90%, terwijl ook het aantal slachtoffers onder kraaiachtigen en duiven sterk afnam (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Selectie van studies over werking van RIBE vogelflappen om vogelaanvaringen te voorkomen. Selectie gebaseerd op kwaliteit van experimentele opzet (BACI versus BA of CI), wel of niet peer-reviewed (PR of GRIJS) en/of relevantie van betrokken vogelsoorten in Nederlandse context (zie Hoofdstuk 2 voor selectiecriteria). De categorie 'alle soorten' betekent hier dat in de berekening van de reductie alle gevonden vogelslachtoffers bij elkaar zijn genomen en statistisch geen onderscheid naar soort(groep)en mogelijk was. Statistisch significante reductie van vogelaanvaringen is vetgedrukt, niet-significante reductie is cursief weergegeven (ook als de studie hierover geen informatie geeft). *Data overgenomen uit Liesenjohann *et al.* 2019). [...] herberekend % door RGI 2024.

Auteurs	Type onderzoek	Land	Vogelsoorten	Reductie %
Jödicke <i>et al.</i> 2018	BACI / PR	Duitsland	gauwe gans	89
			brandgans	82
			wilde eend	79
			eenden	81
			kraaiachtigen	89
			houtduif	88
Hartman <i>et al.</i> 2010	BACI / GRIJS	Nederland	alle soorten	40-54
			eenden	71-86 [91]
			meerkoet	0
			kievit	48
Galis & Sevcik 2019	BA / PR	Slowakije	alle soorten (vooral knobbelswaan)	94 [99]
Bernshausen <i>et al.</i> 2014*	BA / PR	Duitsland	houtduif	37
Sudmann 2000	CI / GRIJS	Duitsland	kolgans	93
Kalz & Knerr 2017*	BA / GRIJS	Duitsland	vooral zangvogels	72

Eerder lieten veldstudies in Duitsland ook al een goede werking zien voor o.a. de kolgans (Sudmann 2000) en in mindere mate voor de houtduif (Bernshausen *et al.* 2014), maar deze veldstudies hebben statistisch een minder sterk ontwerp. In Liesenjohann *et al.*



(2019) wordt tenslotte ook een Duitse studie genoemd van Kalz & Knerr die in 2017 rapporteerden over een vergelijkbaar goede werking van de RIBE vogelflap en varkenskrullen (beiden omgerekend 72% reductie voor vooral zangvogels). Zoals in §3.2 is opgemerkt moeten de resultaten van dit specifieke onderzoek echter voorzichtig worden geïnterpreteerd.

In een uitgebreide veldstudie in Slowakije onderzochten Galis & Sevcik (2019) in een 4,5 jaar durende 'Before & After' experiment bij 77 km aan hoogspanningsverbindingen de werking van drie typen BFDs (Swan Flight Diverters, RIBE vogelflappen en FireFly markeringen). Zij concludeerden dat vogels het hoogste uitwijkgedrag lieten zien bij het passeren van lijnen met RIBE vogelflappen. Dit resulteerde in een slachtofferreductie van 90%¹. In Nederland vonden Hartman *et al.* (2010) ook een goed resultaat voor met name eenden, met een statistisch significante reductie van 77-84% voor de smient². Deze soort was in hun studiegebied vooral 's nachts actief, wat de theoretische werking van grote, contrastrijke en bewegende BFDs in de schemering en donker lijkt te bevestigen. Echter, voor andere algemene 's nachts actieve vogelsoorten in hun gebied (de meerkoet en de kievit) werd geen of weinig werking aangetoond. Dit was mogelijk een gevolg van soortspecifiek foerageer- en vlieggedrag, waardoor deze twee soorten misschien meer risico hebben om met de lager hangende en ongemarkeerde fasedraden te botsen.

¹ RGI (2024) heeft op basis van de data een reductiepercentage van 98,8% berekend, maar geeft verder geen details.

² RGI (2024) herberekende de resultaten van Hartman *et al.* (2010) met een BACI-analyse en geeft een reductie van 88% voor smient, 91% voor eenden en 42% voor alle soorten gezamenlijk, maar geeft geen details over de rekenmethode.

5 FireFly en andere dynamische BFDs

5.1 Algemene beschrijving

Naast de veelgebruikte kunststof spiralen, beschreven in Hoofdstuk 3, worden ook vaak BFDs gebruikt die aan de bliksemdraad worden opgehangen en bestaan uit een ronddraaiende plaat of schijf met reflector(en). Een bekend model is de zogenoemde FireFly (Figuur 5.1). Er zijn echter allerlei varianten op dit ontwerp, die verschillen in kleur, vorm en grootte, aanwezigheid van reflecterende oppervlakken en de manier waarop ze kunnen ronddraaien (McGowan 2024). De FireFly combineert het voordeel van bewegende delen (zoals in de RIBE vogelflap) met fotoluminerend en/of reflecterend materiaal zodat de zichtbaarheid 's nachts of bij slechte weersomstandigheden extra groot is. Vanwege de verschillende bewegende onderdelen, is de FireFly van de vijf in dit rapport genoemde typen BFDs het meest gevoelig voor defecten. Dashnyam *et al.* (2016) rapporteren bijvoorbeeld dat 20% van een vergelijkbaar type BFD (ronddraaiende schijven met reflector) na negen maanden niet meer functioneerde, terwijl Murphy *et al.* (2009) vermelden dat 1/3^e van de aangebrachte FireFly BFDs na het eerste jaar onderzoek kapot was.



Figuur 5.1

De FireFly bestaat uit een ronddraaiend kunststof plaatje (9 x 15 cm) met reflecterende en/of fotoluminerende strips die met een klem aan de bliksemdraad wordt bevestigd en in de wind ronddraait (bron: NABU & RPS 2021).



5.2 Studies

Er is maar één gepubliceerde veldstudie die met een BACI-opzet de werking van dit type BFD heeft onderzocht (Shaw *et al.* 2021). Deze auteurs vonden in Zuid-Afrika een significante sterftereductie van 92% voor de blauwe kraanvogel, maar voor verschillende soorten trappen werd geen effect vastgesteld. Andere veldstudies waren minder gedegen van opzet en beschrijven een vergelijking van het aantal draadslachtoffers vóór en ná het aanbrengen van FireFly(achtige) markeringen (BA in Tabel 5.1) of een vergelijking van gemarkeerde met ongemarkeerde lijnsegmenten (CI in Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Selectie van studies over werking van de FireFly (auteurs met ¹) of vergelijkbare typen ronddraaiende BFDs (auteurs met ²) om vogelaanvaringen te voorkomen. Selectie gebaseerd op kwaliteit van experimentele opzet (BACI versus BA of CI), wel of niet peer-reviewed (PR of GRIJS) en/of relevantie van betrokken vogelsoorten in Nederlandse context (zie Hoofdstuk 2 voor selectiecriteria). De categorie 'alle soorten' betekent hier dat in de berekening van de reductie alle gevonden vogelslachtoffers bij elkaar zijn genomen en statistisch geen onderscheid naar soort(groep)en mogelijk was. Statistisch significante reductie van vogelaanvaringen is vetgedrukt, niet-significante reductie is cursief weergegeven (ook als de studie hierover geen informatie geeft). [...] herberekend % door RGI 2024 en/of Liesenjohann *et al.* 2019.

Auteurs	Type onderzoek	Land	Vogelsoorten	Reductie %
Shaw <i>et al.</i> 2021 ²	BACI / PR	Zuid-Afrika	blauwe kraanvogel	92
Galis & Sevcik 2019 ¹	BA / PR	Slovakije	alle soorten	94 [99]
Ferrer <i>et al.</i> 2020 ²	CI / PR	Spanje	alle soorten	70
Murphy <i>et al.</i> 2016 ¹	BA / PR	USA	Canadese kraanvogel	42
Brown & Drewien 1995 ²	CI / PR	USA	alle soorten	63
Yee 2008 ¹	CI / GRIJS	USA	alle soorten	60 [76]

Galis & Sevcik (2019) vonden een sterke statistisch significante sterftereductie van 94%³ na het aanbrengen van FireFly BFDs aan distributielijnen van 22kV en 110kV. Dit was dezelfde reductie die behaald werd met RIBE vogelflappen, en marginaal groter dan de reductie van 91% behaald met Swan Flight Diverter in hetzelfde studiegebied. Lagere reductiepercentages zijn gevonden in veldstudies in Spanje en USA. Ferrer *et al.* (2020) vonden een statistisch significante reductie van 70% voor alle soorten gecombineerd met FireFly-achtige markeringen die aanmerkelijk hoger was dan de 40-44% voor gele en oranje kunststof spiralen (Swan Flight Diverter) in dezelfde lijnen. Dit verschil was consistent bij de drie onderzochte 400 kV hoogspanningsverbindingen (totaal 54 km lengte) met verschillende habitats en vogelgemeenschappen. Dit komt overeen met de conclusie van Bernardino *et al.* (2019) die in een meta-analyse een (niet significante) trend vonden dat 'flappers' effectiever zijn dan kunststof spiralen. Helaas laten voornoemde studies geen

³ RGI (2024) heeft op basis van de data een reductiepercentage van 98,8% berekend, maar geeft verder geen details.



verschillen zien op soortgroepniveau of onderscheid tussen dag- en nachttactieve vogelsoorten. Murphy *et al.* (2016) laten echter zien dat het aanbrengen van FireFly markeringen, ook in combinatie met varkenskrullen, niet resulteerde in een belangrijke sterftereductie voor Canadese kraanvogels die vooral in de schemering en in het donker vlogen. In hun studiegebied in Nebraska, USA, passeerden dagelijks duizenden kraanvogels in de schemering en in het donker een lage distributielijn op weg naar de slaapplaats, met honderden draadslachtoffers per seizoen als gevolg, ondanks een zeer hoge dichtheid aan draadmarkeringen (één FireFly of één varkenskrul per iedere 3 m). Ook Yee (2008) vond een relatief beperkte, maar wel statistisch significante reductie van 60%⁴ (alle soorten, waaronder ook Canadese kraanvogels). Dit is een voorbeeld van een studie waarin niet is gecorrigeerd voor vindkans en predatie en geen informatie wordt gegeven over eventuele verschillen in aanbod vogels tussen de gemarkeerde en niet-gemarkeerde lijnsegmenten. Dit laatste is een euvel dat bijna alle BA- en CI-studies eigen is en duidelijke conclusies over de werking van draadmarkeringen bemoeilijkt (zie ook Hoofdstuk 8).

⁴ RGI (2024) heeft op basis van de data een reductiepercentage van 76% berekend en gebruikte daarvoor een BACI-analyse maar geeft verder geen details, terwijl het oorspronkelijke artikel de resultaten als Before en After presenteert.

6 Hawk Eye

6.1 Algemene beschrijving

Hawk Eye is een niet bewegende BFD die om de draad heen wordt geklikt. Het heeft geen apart bewegende onderdelen (Figuur 6.1). De Hawk Eye bestaat uit verschillende reflecterende/luminiserende strips, zodat de BFD ook 's nachts of bij slechte weersomstandigheden goed zichtbaar is. Vanwege voornoemde eigenschappen is (de kans op) slijtage minder groot dan bij RIBE vogelflappen of FireFly(achtige) BFDs. Eventuele vervanging is ook gemakkelijker dan bij kunststof spiralen.



Figuur 6.1 Hawk Eye BFD bestaat uit twee fluorescerende/reflecterende strips (geel) en een 'glow in the dark' strip die de gehele schemer- en donkerperiode zichtbaar is. De A-vorm zorgt ervoor dat de BFD vanuit alle hoeken goed zichtbaar is. Er zijn verschillende maten verkrijgbaar voor verschillende draaddiameters, van 5 mm tot 38 mm diameter (bron: www.powerlinesentry.com).

6.2 Studies

Er zijn ons geen publicaties bekend waarin de werking van dit relatief nieuwe type BFD is onderzocht. Een onlinepresentatie van een lopende BACI-studie in Zuid-Afrika⁵ vermeldt 100% reductie van het aantal slachtoffers van de Ludwigs trap na het aanbrengen van Hawk Eye BFDs. Het aantal slachtoffers nam af van gemiddeld 0,57 exemplaren/km/jaar

⁵ Het betreft een presentatie over lopend onderzoek naar effecten van hoogspanningslijnen op de soortgroep trappen in Zuid-Afrika door Matt Pretorius van de Endangered Wildlife Trust (EWT) tijdens de African Conference for Linear Infrastructure and Ecology (ACLIE): <https://www.youtube.com/live/yPDslh2Dm90>



in de acht jaar voor het aanbrengen van markeringen naar nul tijdens de eerste twee jaar na aanbrengen van markeringen. Het betreft echter voorlopige studieresultaten met slechts acht veldbezoeken in twee jaar na het aanbrengen. Hetzelfde (voorlopige) resultaat werd overigens behaald met OWL FireFly-achtige BFDs (ronddraaiende BFDs die 's nachts van boven worden aangelicht). Op herhaalde verzoeken om meer recente informatie via email aan de onderzoekers van de Endangered Wildlife Trust is geen reactie ontvangen.

Een andere veldstudie met Hawk Eye BFDs betreft een Before & After veldstudie in Brazilië, waar twee distributielijnen aan de kust veel slachtoffers maken onder sterns (Dougalls stern en visdief). De eerste uitkomsten van deze veldstudie (Revorêdo 2024) wijzen op een significante sterftereductie van 92%, maar de studieopzet (BA, twee verschillende dichtheden van aantal markeringen per lijnsegment, tijdens de studie aanpassing van dichtheden, sterke correctie van aantal slachtoffers met correctiefactoren) bemoeilijkt een goede vergelijking met de periode zonder markeringen.

7 Gebruik van UV-verlichting

7.1 Algemene beschrijving

Uit de hiervoor beschreven veldstudies wordt duidelijk dat verschillende typen BFDs in veel gevallen niet (voldoende) effectief zijn om sterfte te verminderen voor vogelsoorten die vooral in het donker vliegen. Aangezien ongeveer de helft van alle vogelsoorten in staat is om ultraviolet licht te zien (Dwyer *et al.* 2019), is door EDM International een systeem ontwikkeld om hoogspanningslijnen aan te stralen met 'nabij ultraviolet licht' (UV-A, 320-400 nm). Dit zogenoemde Avian Collision Avoidance System (ACAS-systeem) zendt licht uit in golflengtes die, in tegenstelling tot bijvoorbeeld laser, voor de mens niet zichtbaar is en dus voor de mens niet leidt tot 'lichtvervuiling' in het landschap. Met ACAS kan vanuit bestaande masten de hele set draden worden beschenen met meerdere UV-A lampen, zodat deze voor 's nachts vliegende vogels beter zichtbaar worden. De lampen worden vanuit een door zonne-energie geladen batterij van stroom voorzien.



Figuur 7.1 Visualisatie van het Avian Collision Avoidance System (ACAS) in werking. Vanaf een bestaande mast (in dit geval van een distributielijn) wordt met UV-A lampen over de draden geschoven. In twee gepubliceerde onderzoeken was het bereik van de gebruikte lampen ongeveer 260 m afstand (bron: Baasch *et al.* 2022).



7.2 Studies

Tot nu toe zijn twee veldstudies gepubliceerd die sterftereductie door toepassing van ACAS in de USA hebben onderzocht.

De eerste veldstudie door Dwyer *et al.* (2019) vond plaats in voorjaar 2018 op exact hetzelfde lijnsegment van een 69 kV distributielijn in Nebraska, USA, waar Murphy *et al.* (2016) slechts een beperkt effect vonden van FireFly BFDs en kunststof spiralen in het terugbrengen van het aantal draadslachtoffers onder Canadese kraanvogels (zie §5.2). Het ACAS-systeem belichtte hier, op één lijnsegment van ongeveer 260 m over een rivier, niet alleen de bovenste bliksemdraad (in dit geval uitgerust met FireFly BFDs en SFDs) maar ook de daaronder hangende fasedraden. Met behulp van ACAS werd een statistisch significante sterftereductie behaald van 98% (49 aanvaringen op nachten dat de ACAS uit stond en één aanvaring op nachten dat de ACAS aan was). Gedragsobservaties met een warmtebeeldcamera lieten zien dat de kraanvogels op grotere afstand op de verlichte draden reageerden en alle draden beter wisten te ontwijken door er op grotere hoogte overheen te vliegen dan op nachten dat de verlichting uit stond.

Baasch *et al.* (2022) herhaalden in voorjaar 2021 voornoemde studie in hetzelfde gebied in Nebraska met een verbeterde versie van ACAS (minder stroomverbruik en meer focus van de lampen op de draden). Zij onderzochten de werking van deze tweede generatie ACAS bij twee 69 kV distributielijnen, telkens bij één lijnsegment over de rivier op 2 km uit elkaar. Zij vonden een statistisch significante sterftereductie van 88% (vooral kraanvogels, maar ook kleine aantallen Canadese ganzen) en, net als Dwyer *et al.* (2019), een significant positief effect op het vlieggedrag van de kraanvogels. Hoewel het gedrag veranderde, waren de lijnen waarschijnlijk 's nachts niet volledig zichtbaar, waardoor het risico op een nachtelijke aanvaring weliswaar verminderde, maar niet volledig geëlimineerd werd. De auteurs benoemen de invloed van het weer (wind en regen) en mogelijk de positie van een individu binnen een aanvliegende groep (achterin minder goed zichtbaar wat voorin gebeurt) als verklaringen dat ondanks de goed werkende verlichting nog steeds enkele kraanvogels omkwamen. Het onderzoek toonde tenslotte ook aan dat de beide ACAS-systemen elkaars werking versterkten, ondanks de grote onderlinge afstand. Dus de minste reductie werd gemeten op nachten dat beide systemen niet aan waren, terwijl altijd enige reductie werd behaald bij het lijnsegment zonder actief systeem als het andere systeem bij het andere lijnsegment op 2 km afstand wel aan stond.

De voornoemde studies zijn uitgevoerd bij lijnsegmenten die al 'volhingen' met BFDs. Het is mogelijk dat de UV-A verlichting deze lijnmarkeringen 's nachts beter zichtbaar maakte wat het effect van de verlichting van de draden versterkte. De auteurs roepen daarom op om onderzoek met ACAS te herhalen bij verbindingen met en zonder BFDs, zodat inzichtelijk wordt hoe de werking van ACAS wordt beïnvloed door (verschillen in de dichtheid van) BFDs.

Recent is in België en Frankrijk een veldstudie gestart naar de werking van ACAS in een Europese context. De resultaten van dit onderzoek worden in de loop van 2026 verwacht.



8 Discussie en conclusies

8.1 Is het waar dat alle typen draadmarkeringen goede werking hebben?

Voorgaande hoofdstukken maken duidelijk dat elk van de vijf gepresenteerde typen draadmarkeringen (verder BFDs genoemd) regelmatig een goede tot een zeer goede werking hebben om het aantal draadslachtoffers te reduceren. Dit kan onterecht de indruk wekken dat het niet veel uitmaakt welk type BFD wordt gebruikt. Voor ieder type BFD bestaan immers meerdere gepubliceerde veldstudies die een statistisch significante sterftereductie laten zien, vaak 70% of meer. Alleen voor kleine kunststof spiralen (zogenoemde varkenskrullen) zijn sinds 2000 weinig studies gepubliceerd die dit onderschrijven. Dit komt mogelijk doordat nieuwe onderzoeken meer geneigd zullen zijn zich te richten op validatie van nieuwe typen draadmarkeringen en/of andere maatregelen.

Allereerst merken we op dat een literatuuronderzoek op basis van publicaties in (wetenschappelijke) tijdschriften het risico heeft op een bevooroordeeld resultaat. Het zijn immers de studies met een (zeer) goed resultaat die sneller de weg naar publicatie vinden. Studies met weinig positieve of zelfs negatieve resultaten blijven zo onderbelicht. Daarnaast is het belangrijk op te merken dat veel van voornoemde studies onvoldoende gegevens hadden om op soort(groep)niveau uitspraak te doen over de werking van BFDs of bijvoorbeeld geen onderscheid maken tussen dag- en nachtactieve vogelsoorten. Het ligt echter voor de hand dat niet iedere BFD evengoed werkt bij minder goede zichtomstandigheden en ook niet voor iedere soort(groep) effectief is. Vogelsoorten verschillen bijvoorbeeld sterk in hun vlieggedrag (wel of niet in groepen, wel of niet in het donker), hun wendbaarheid en vliegsnelheid (wel of niet makkelijk uitwijken voor draden) en hun gezichtsveld (o.a. Martin & Shaw 2010). Een ogenschijnlijk goede generieke werking, zoals in verschillende veldstudies voor de verschillende typen BFDs en ook UV-verlichting wordt gerapporteerd op basis van het vergelijken van totale aantallen slachtoffers vóór en ná toepassen van de maatregel, is dus niet gemakkelijk te vertalen naar soort(groep)-specifieke werking.

In Tabel 8.1 is voor een aantal soort(groep)en de werking van vier soorten BFDs samengevat volgens vijf klassen (<20%, 20-40%, 40-60%, 60-80% en >80% reductie). Dit is gedaan op basis van de bevindingen gerapporteerd in Liesenjohn *et al.* (2019), aangevuld met de onderzoeksresultaten die in voorliggend rapport zijn opgenomen. Voor een groot aantal combinaties soort(groep) x BFD is uit de literatuur geen of onvoldoende informatie beschikbaar. Dit is door ons in Tabel 8.1 ingevuld met een deskundigenoordeel, waarbij rekening is gehouden met vlieggedrag van de betrokken soortgroep (dag- en/of nachtactief, wel of niet in groepen, wendbaarheid, zichtvermogen) en inschatting over onderlinge verschillen in werking van de vier BFDs (in enkele onderzoeken is bijvoorbeeld een betere werking aangetoond van FireFly ten opzichte van kunststof spiralen).



Tabel 8.1 *Overzicht van de theoretische werking (% reductie van draadslachtoffers) van vier typen BFDs voor verschillende soortgroepen volgens vijf klassen die elk 20% breed zijn. Gebaseerd op Liesenjohn et al. (2019), aangevuld met informatie uit voorgaande hoofdstukken en deskundigenoordeel (zie tekst). Bij de soortgroep is ook aangegeven of de soorten vooral dag- en/of nachtactief zijn en/of veel in de schemering vliegen (D/N/S).*

Soortgroep	Voorbeeldsoorten uit de literatuur	Varkens krul	Swan Flight Diverter	RIBE vogelflap	FireFly
Zwanen (D/S)	knobbelzwaan	60-80	>80	>80	>80
Ganzen (D/N/S)	grauwe gans, kol-gans, brandgans	60-80	60-80	>80	>80
Eenden (N/S)	wilde eend, smient, krakeend	40-60	40-60	>80	>80
Kraanvogels (D/S)	kraanvogel	60-80	60-80	60-80	60-80
Reigers (D/N/S)	blauwe reiger, kwak	60-80	60-80	>80	>80
Ooievaars (D)	ooievaar	60-80	>80	>80	>80
Aalscholvers (D/S)	aalscholver	60-80	>80	>80	>80
Steltlopers (D/N/S)	kievit	40-60	40-60	40-60	60-80
Meeuwen / Sterns (D/S)	kokmeeuw, visdief	60-80	>80	>80	>80
Duiven (D)	houtduif	60-80	>80	>80	>80
Rallen (N/S)	meerkoet, waterral	20-40	20-40	20-40	40-60
Roofvogels (D)	geen beschikbaar	>80	>80	>80	>80
Kraaien (D)	zwarte kraai	60-80	60-80	>80	>80
Zangvogels (N)	zanglijster	60-80	60-80	60-80	60-80
Zangvogels (D/S)	spreeuw	60-80	60-80	>80	>80

In bovenstaande tabel zijn de **Hawk Eye BFD** en **UV-verlichting** buiten beschouwing gelaten, omdat nog onvoldoende kennis bestaat over hun werking. Het is onze inschatting dat de Hawk Eye minimaal even effectief of effectiever is dan de FireFly in het reduceren van draadslachtoffers. De Hawk Eye heeft namelijk een iets groter oppervlak, meer intern contrast en een groter oppervlak aan fotoluminerende delen dan de FireFly, zodat het beter zichtbaar zal zijn. UV-verlichting is naar verwachting de meest effectieve maatregel voor vogelsoorten die vooral in de schemering en donker een hoog aanvaringsrisico hebben, zoals eenden, rallen en 's nachts trekkende zangvogels. De verlichting maakt de draden goed zichtbaar en voor deze soortgroepen is de verwachte reductie daarmee >80%. Onderzoek moet in de komende jaren uitwijzen of deze hoge verwachtingen over de werking van Hawk Eye en UV-verlichting juist zijn.



8.2 Waaraan voldoet een goede draadmarkering?

In §2.1 is al benoemd hoe lastig het is om de werking van verschillende typen BFDs met elkaar te vergelijken. Er zijn tal van overzichtsstudies die hierover niet tot eenduidige conclusies komen, veelal vanwege de grote variatie in de opzet en uitvoering van de onderliggende veldstudies, het aanwezige soortenspectrum, maar vooral ook vanwege de in tijd en ruimte beperkte onderzoeksopzet van de veldstudies die een gedegen statistische toetsing belemmert. Veel overzichtsstudies komen in de basis echter tot dezelfde conclusie: hoe meer BFDs worden aangebracht (meestal in de bliksemdraden) en hoe groter deze BFDs zijn, hoe beter het resultaat, terwijl ook contrast en bewegende onderdelen in de BFD van belang zijn. RGI (2024) vat dit het beste samen:

“[...] de volgende principes dragen eraan bij dat een BFD meer effectief en bruikbaar is. Terwijl iedere karakteristiek op zichzelf van belang is, is het de combinatie van alle karakteristieken die resulteert in de ‘optimale’ BFD:

- **Formaat:** Groter is beter, vooral veel oppervlak loodrecht op de belangrijkste vliegrichting;
- **Positionering:**
 - o BFDs dienen op zo kort mogelijke afstand van elkaar aan de draad te worden bevestigd, dit kan ook worden behaald door de markeringen verspringend aan te brengen op parallel lopende draden (bijvoorbeeld twee bliksemdraden in dezelfde verbinding);
- **Eigenschappen:**
 - o Hoog intern contrast voor betere zichtbaarheid onder alle weersomstandigheden en tegen alle landschappelijke achtergronden;
 - o Onderdelen die kunnen bewegen onder invloed van de wind, bijvoorbeeld ronddraaien of heen en weer schommelen, zodat reflecterende of contrastrijke onderdelen meer opvallen;
 - o Zichtbaar in de schemering of 's nachts door middel van o.a. fotoluminerende oppervlakken die nagloeien in het donker;
- **Kosten:** Tenslotte is natuurlijk belangrijk dat de maatregel betaalbaar is, inclusief de kosten van montage, en de levensduur (onder uiteenlopende weersomstandigheden).”

8.3 In hoeverre voldoen de onderzochte maatregelen aan de gestelde eisen?

Geen van de hier gepresenteerde BFDs voldoet aan alle hiervoor genoemde karakteristieken. BFDs met bewegende onderdelen hebben een groot risico op defecten, zoals in de respectievelijke hoofdstukken beschreven voor RIBE vogelflappen en FireFly(achtige) BFDs. Kunststof spiralen zijn in de schemering, maar zeker in het donker, slechter zichtbaar en dus (veel) minder effectief dan overdag. Daar staat tegenover dat kunststof spiralen waarschijnlijk goedkoper zijn dan de meeste andere BFDs, mogelijk minder last hebben van ijsvorming en relatief eenvoudig te installeren zijn. De Hawk Eye scoort mogelijk het beste op de hierboven genoemde karakteristieken (geen bewegende onderdelen, contrastrijk, reflecterende/fotoluminerende oppervlakken, makkelijk te monteren, betaalbaar en waarschijnlijk lange levensduur vanwege eenvoudige bouw met materialen die goed bestand zijn tegen uiteenlopende weersomstandigheden). Op dit moment zijn echter nog



geen gepubliceerde resultaten beschikbaar over de werking van de Hawk Eye. De bestaande anekdotische informatie over hoge effectiviteit is ook beperkt tot de soortgroepen trappen en sterns die in de Nederlandse context niet of minder van belang zijn.

Tenslotte zijn de eerste gepubliceerde onderzoeksresultaten over het voor vogels beter zichtbaar maken van hoogspanningslijnen in de schemering en in het donker met UV-verlichting zeer veelbelovend. Deze maatregel is echter logistiek uitdagend, zeker als het in hoogspanningsverbindingen moet worden aangebracht waarbij met de lampen vanuit de mast relatief lange lijnsegmenten moeten worden verlicht. Het installeren van deze systemen over grotere lengte van het hoogspanningstracé zal waarschijnlijk ook onpraktisch en kostbaar zijn, met name in gebieden waar botsingen zelden voorkomen (Baasch *et al.* 2022). Ook is het toepassen van deze maatregel over een langere periode in de tijd of over langere afstanden gevoelig voor defecten en hoge aanschaf- en onderhoudskosten in vergelijking met voornoemde typen BFDs.

8.4 Hoe nu verder in Nederlandse context?

De grote variatie in de opzet van de veldstudies, de studielocaties en daarmee samenhangend de onderzochte soorten, in combinatie met de wisselende uitkomsten van deze studies, bemoeilijkt niet alleen een onderlinge vergelijking van hun effectiviteit maar ook het voorschrijven welke maatregel voor welke soort(groep) het beste werkt.

Samengevat concluderen wij dat geen van de voornoemde maatregelen met zekerheid de beste oplossing biedt voor alle voorkomende situaties met hoogspanningsverbindingen in Nederland. Op basis van het in dit rapport gepresenteerde literatuuronderzoek en ons deskundigenoordeel, samengevat in Tabel 8.1, adviseren wij om per situatie (natuurbeleidsdoelen, aanwezig te beschermen vogelsoorten) volgens onderstaande beslisboom een keuze te maken voor welke maatregel het meest doelmatig is, rekening houdend met de effectiviteit in het reduceren van draadslachtoffers en kosten:

Situatie 1: Hoogspanningsverbindingen in gebieden ZONDER beleidsmatig strenge bescherming EN waar vooral draadslachtoffers onder vogelsoorten worden voorkomen die GEEN binding hebben met Natura 2000-gebieden of beschermde weidevogelgebieden; daarom vooral met het oog op soortenbescherming. Er worden minder hoge eisen gesteld aan de mitigerende maatregel.

- A. Algemene middelgrote of kleine vogelsoorten die voornamelijk OVERDAG vliegen en wendbaar zijn, zoals duiven, meeuwen, steltlopers, kraaiachtigen, zangvogels: **kleine kunststof krullen (varkenskrullen)**
- B. Algemene middelgrote of grote vogelsoorten die voornamelijk OVERDAG vliegen en minder wendbaar zijn en/of vaak in groepen vliegen, zoals zwanen, ganzen, reigers, aalscholver: **grote kunststof krullen (Swan Flight Diverters)**
- C. Algemene kleine, middelgrote of grote vogelsoorten die behalve OVERDAG ook in de SCHEMERING/DONKER vliegen vanwege aanwezigheid slaapplaats of broedkolonie,



zoals zwanen, ganzen, eenden, reigers, aalscholver, meeuwen, steltlopers OF in bekende concentratiegebieden voor vogels op seizoenstrek, inclusief zangvogels: **Hawk Eye of FireFly**

Situatie 2: Hoogspanningsverbindingen in gebieden MET beleidsmatig strenge bescherming EN/OF waar vooral draadslachtoffers onder vogelsoorten worden voorkomen die WEL binding hebben met Natura 2000-gebieden, beschermde weidevogelgebieden of anderszins beschermd door strenge beleidskaders (bijvoorbeeld Natuur Netwerk Nederland, provinciaal beleid); daarom vooral met het oog op gebiedsbescherming. Er worden (zeer) hoge eisen gesteld aan de mitigerende maatregel.

- A. Vogelsoorten die voornamelijk OVERDAG vliegen: **Hawk Eye of FireFly**
- B. Vogelsoorten die behalve OVERDAG ook in de SCHEMERING/DONKER vliegen vanwege aanwezigheid slaappleats of broedkolonie, zoals zwanen, ganzen, reigers, aalscholver, meeuwen, weidevogels: **Hawk Eye of FireFly in combinatie met kunststof krullen**
- C. Zeldzame (broed)vogelsoorten die in de SCHEMERING/DONKER vliegen, zoals kleine zwaan, purperreiger, lepelaar, kraanvogel, OF anderszins situatie die zeer hoge eisen ten aanzien van mitigerende maatregel stelt, zoals hoogspanningsverbinding binnen Natura 2000-gebied met vogelsoorten waarvoor een herstelopgave geldt of weidevogelgebied van hoog nationaal belang: **UV-verlichting**

Voor alle BFDs geldt tenslotte dat deze op zo kort mogelijke afstand en dus in zo groot mogelijk aantallen in de bliksemdraden worden geplaatst, daarbij verspringend opgehangen in beide bliksemdraden. De RIBE vogelflappen worden daarom niet aangeraden om zelfstandig als BFD te gebruiken, vanwege hun gewicht en omvang, waardoor per lijnsegment maar beperkt aantal kan worden opgehangen met te grote tussenafstanden als gevolg. RIBE vogelflappen (met luminiserende kunststof lamellen) kunnen wel in combinatie met kunststof krullen worden aangebracht, maar de meerwaarde ten opzichte van Hawk Eye en FireFly is mogelijk gering. TenneT heeft inmiddels ervaring opgedaan met FireFly en kan de inschatting maken of deze vanwege kwetsbare levensduur nog te verkiezen is boven Hawk Eye (waarvan de werking nog niet wetenschappelijk is aangetoond).

8.5 Advies voor vervolgonderzoek

De literatuurstudie laat zien dat de kennis over de mitigerende werking van verschillende typen draadmarkeringen en UV-verlichting veel kennisleemten kent. In onze optiek is het belangrijk dat toekomstige onderzoeken in Nederland naar de werking van (nieuwe) draadmarkeringen, UV-verlichting of andere mitigerende maatregelen een gedegen plan van aanpak hebben. De onderzoeken moeten voldoen aan een BACI opzet, waarbij eerst minimaal twee jaar een voldoende lang hoogspanningstracé wordt onderzocht zonder maatregelen. Direct daaropvolgend wordt dan ongeveer de helft van het tracé met draadmarkeringen of andere maatregelen toegerust, terwijl de andere helft ongemoeid blijft, en wordt de werking van de maatregel ook minimaal twee jaar onderzocht (controle en impact



deel). Het onderzoek beperkt zich binnen het tracé tot één type maatregel en de gehele lengte van het tracé bevindt zich binnen één landschapstype dat goed doorzocht kan worden (bijvoorbeeld grasland met beweiding, maar niet akkerland met opgaande gewassen). Zoveel als mogelijk heeft het gehele tracé een vergelijkbaar aanbod aan vliegbewegingen van de doelsoorten. Voorkomen moet worden dat bijvoorbeeld een deel van het tracé op een route met slaaptrek ligt of een belangrijke vliegroute vanuit een broedkolonie, terwijl andere delen veel minder vliegbewegingen hebben. Voor kleine en middelgrote vogelsoorten wordt minimaal twee keer per week onder het gehele tracé naar slachtoffers gezocht, voor grote vogelsoorten kan dit beperkt worden tot één keer per week. Tijdens het onderzoek worden bij voorkeur ieder seizoen experimenten uitgevoerd om informatie te verzamelen over hoe snel slachtoffers verdwijnen door aaseters (bijvoorbeeld onderzoek met cameravallen) en hoe goed de onderzoekers slachtoffers kunnen vinden. Het monitoringprotocol voor windturbines op land (Brenninkmeijer *et al.* 2021) biedt goede aanknooppunten om ook een gedegen slachtofferonderzoek onder hoogspanningslijnen op te zetten (zie ook Prinsen *et al.* 2012).

Wij bevelen aan om in Nederland te starten met onderzoek naar de werkzaamheid van Hawk Eye BFDs. Zoals blijkt uit §8.3 voldoet dit type draadmarkering aan veel eisen voor een effectieve draadmarkering, ook voor vogels die in het donker vliegen, maar is in Europa nog niets bekend over de werkzaamheid.

Afhankelijk van de uitkomsten van het onderzoek naar de werking van UV-verlichting door de TSOs in België en Frankrijk, die in de loop van 2026 beschikbaar komen, kan een dergelijk onderzoek ook in Nederland worden uitgevoerd (mogelijk andere doelsoorten en landschap). De onderzoeken in België en Frankrijk moeten echter eerst onderschrijven dat deze techniek ook in hoogspanningslijnen goed uitvoerbaar en betaalbaar is.



Literatuur

- Alonso, J.C., J.A. Alonso & R. Muñoz-Pulido, 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. *Biological Conservation* 67: 129-134.
- Avian Power Line Interaction Committee (APLIC), 2012. Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012. Edison Electric Institute and APLIC. Washington, D.C., Verenigde Staten.
- Baasch, D.M., A.M. Hegg, J.F. Dwyer, A.J. Caven, W.E. Taddicken, C.A. Worley, A.H. Medaries, C.G. Wagner, P.G. Dunbar & N.D. Mittman, 2022. Mitigating avian collisions with power lines through illumination with ultraviolet light. *Avian Conservation and Ecology* 17: 9.
- Barrientos, R., J.C. Alonso, C. Ponce & C. Palacín, 2011. Meta-analysis of the effectiveness of marked wire in reducing avian collisions with power lines. *Conservation Biology* 25: 893-903.
- Barrientos, R., C. Ponce, C. Palacín, C.A. Martín, B. Martín & J.C. Alonso, 2012. Wire marking results in a small but significant reduction in avian mortality at power lines: a BACI designed study. *Plos One* 7(3): e32569.
- Bateman, B.L., G. Moody, J. Fuller, L. Taylor, N. Seavy, J. Grand, J. Belak, G. George, C. Wilsey & S. Rose, 2023. Audubon's Birds and Transmission Report - Building the Grid Birds Need. National Audubon Society, New York.
- Bernardino, J., K. Bevanger, J. Barrientos, J.F. Dwyer, A.T. Marques, R.C. Martins, J.M. Shaw, J.P. Silva & F. Moreira, 2018. Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. *Biological Conservation* 222: 1-13.
- Bernshausen, F., J. Kreuziger, K. Richarz & S.R. Sudmann, 2014. Wirksamkeit von Vogelabweisern an Hochspannungsfreileitungen. Fallstudien und Implikationen zur Minimierung des Anflugrisikos. *Naturschutz Und Landschaftsplanung* 46: 107-115.
- Birdlife International, 2024. TransMit – the evidence-based toolkit for mitigating powerline-related avian mortality. Interactive tool available on website of BI.
- Brenninkmeijer, A., N. Bolt, H. Limpens, M. Boonman, P. Joop, H. Prinsen & M. Epe, 2021. Monitoringsprotocol Wind op Land 2021. Monitoringprotocol nieuwe windparken in Nederland (project NIEWOHL). Te downloaden van de website van BIJ12.nl.
- Brown, W.M. & R.C. Drewien, 1995. Evaluation of two power line markers to reduce crane and waterfowl collision mortality. *Wildlife Society Bulletin* 23: 217-227.
- Crowder, M.R., 2000. Assessment of devices designed to lower the incidence of avian power line strikes. MSc Thesis, Purdue University, East LaFayette, Indiana.
- Dashnyam, B., T. Purevsuren, S. Amarsaikhan, D. Bataa, B. Buuveibaatar & G. Dutson, 2016. Malfunction rates of bird flight diverters on powerlines in the Mongolian Gobi. *Mongolian Journal of Biological Sciences* 14: 13-20.
- De La Zerda, S. & L. Rosselli, 2002. Mitigating collision of birds against transmission lines in wetland areas in Columbia by marking the ground wire with bird flight diverters (BFD). Conf. proceedings Environmental Concerns in Rights-of-Way Management, pp 395-402.



- Ferrer, M., 2012. Birds and power lines: from conflict to solution. Endesa S.A and Fundación MIGRES, Sevilla, Spain.
- Ferrer, M., V. Morandini, R. Baumbush, R. Muriel, M.D. Lucas & C. Calabuig, 2020. Efficacy of different types of “bird flight diverter” in reducing bird mortality due to collision with transmission power lines. *Global Ecology and Conservation* 23: e01130.
- Frost, D., 2008. The use of ‘flight diverters’ reduces mute swan *Cygnus olor* collision with power lines at Abberton Reservoir, Essex, England. *Conservation Evidence* 5: 83-91.
- Galis, M. & M. Sevcik, 2019. Monitoring of effectiveness of bird flight diverters in preventing bird mortality from power line collisions in Slovakia. *Raptor Journal* 13: 45-59.
- Hartman, J.C., A. Gyimesi & H.A.M. Prinsen, 2010. Zijn vogelflappen effectief als draadmarkering in een hoogspanningslijn? Veldonderzoek naar draadslachtoffers en vliegbewegingen bij een gemarkeerde 150 kV verbinding. Rapport 10-082. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Janss, G.F.E. & M. Ferrer, 1998. Rate of bird collision with power lines: effects of conductor-marking and static wire-marking. *Journal of Field Ornithology* 69: 8-17.
- Jödicke, K., 2019. Was können Vogelschutzmarkierungen leisten? Erkenntnisse aus der Vogelschlagstudie Schleswig-Holstein. In: *Vogelschutz an Hochspannungsfreileitungen, Band zur Amprion-Tagung* ma 18.4.2018. Amprion GmbH, Dortmund, Duitsland.
- Jödicke, K., H. Lemke & M. Mercker, 2018. Evaluierung der Wirksamkeit von Vogelschutzmarkierungen an Erdseilen von Höchstspannungsfreileitungen in Schleswig-Holstein – Ermittlung von artspezifischen Kollisionsraten und Reduktionswerten. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 50: 286-294.
- Kalz, B. & R. Knerr, 2017. 380-kV-Leitung Vierraden-Krajnik 507/508. Sonderuntersuchung zur Wirksamkeit von Vogelschutzmarkierungen. Abschlussbericht: Untersuchung zur Zahl der Kollisionsopfer vor und nach Montage von zwei verschiedenen Vogelschutzmarkern (2012, 2013 und 2016). (Gecorrigeerde samenvatting).
- Kalz, B., R. Knerr, E. Brennenstuhl, U. Kraatz, T. Dürr & A. Stein, 2015. Wirksamkeit von Vogelschutzmarkierungen an einer 380-kV-Freileitung im Nationalpark Unteres Odertal. Minimierung des Anflugrisikos durch Montage von Vogelschutzmarkern. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47: 109-116.
- Koops, F.B.J., 1979. Een miljoen draadslachtoffers, wat kunnen we ertegen doen? *De Lepelaar* 63: 20-21.
- Koops, F.B.J. & J. de Jong, 1982. Vermindering van draadslachtoffers door markering van hoogspanningsleidingen in de omgeving van Heerenveen. *Elektrotechniek* 60: 641-646.
- Liesenjohann, M., J. Blew, S. Fronczek, M. Reichenbach & D. Bernotat, 2019. Artspezifische Wirksamkeiten von Vogelschutzmarkern an Freileitungen. Methodische Grundlagen zur Einstufung der Minderungswirkung durch Vogelschutzmarker – ein Fachkonventionsvorschlag. BfN-Skripten 537. Bundesamt für Naturschutz. Bonn, Duitsland.



- Martin, G. & J. Shaw, 2010. Bird collisions with power lines: Failing to see the way ahead? *Biological Conservation* 143: 2695-2702.
- Martin Martin, J., J.R. Garrido Lopez, H. Clavero Sousa & V. Barrios (eds.), 2022. Wildlife and power lines. Guidelines for preventing and mitigating wildlife mortality associated with electricity distribution networks. IUCN, Gland, Zwitserland.
- McGowan, B., 2024. Preventing Avian Collisions: Global best practice & buyers guide. Scientias Ireland Lt.
- Murphy, R.K., J.F. Dwyer, E.K. Mojica, M.M. McPherron & R.E. Harness, 2016. Reactions of Sandhill Cranes approaching a marked transmission power line. *Journal of Fish and Wildlife Management* 7: 480-489.
- Murphy R.K., S.M. McPherron, G.D. Wright & K.L. Serbousek, 2009. Effectiveness of avian collision averters in preventing migratory bird mortality from powerline strikes in the central Platte River, Nebraska, 2008–2009. Final Report. Nebraska Game and Parks Commission (NGPC) via US Fish and Wildlife Service Section 6 program.
- NABU & Raptor Protection of Slovakia, 2021. Electrocutions & collisions of birds in EU countries: the negative impact & best practices for mitigation. NABU, Duitsland.
- Prinsen, H.A.M., G.C. Boere, N. Pires & J.J. Smallie (Compilers), 2011. Review of the conflict between migratory birds and electricity power grids in the African-Eurasian region. CMS/AEWA. Bonn, Germany.
- Prinsen, H., J.J. Smallie, G.C. Boere & N. Pires (Compilers), 2012. Guidelines on how to avoid or mitigate impact of electricity power grids on migratory birds in the African-Eurasian region. AEWA Conservation Guidelines No. 14, CMS Technical Series No. 29, AEWA Technical Series No. 50, CMS Raptors MOU Technical Series No. 3. Bonn, Germany.
- Renewable Grid Initiative (RGI), 2024. Avian-power line collision: overview of risk factors & effectiveness of wire markers. Methodology report. Berlin, Germany.
- Revorêdo, R.A., 2024. Results on Aves do Mar project. Terns protection project Galinhos power line unit. Power point presentatie. Centro de Estudos e Monitoramento Ambiental (CEMAM).
- Shaw, J.M., T.A. Reid, B.K. Gibbons, M. Pretorius, A.R. Jenkins, R. Visagie, M.D. Michael & P.G. Ryan, 2021. A large-scale experiment demonstrates that line marking reduces power line collision mortality for large terrestrial birds, but not bustards, in the Karoo, South Africa. *Ornithological Applications* 123: 1-10.
- Sudmann, S.R., 2000. Das Anflugverhalten von überwinternden, arktischen Wildgänsen im Bereich von markierten und unmarkierten Hochspannungsfreileitungen am Niederrhein. Rapport Naturschutzzentrum im Kreis Kleve e. V.
- Yee, M.L., 2008. Testing the effectiveness of an avian flight diverter for reducing avian collisions with distribution power lines in the Sacramento Valley, California. California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2007-122.