



Onderzoek 'zwarte wiek' Eemshaven

Eindrapport van onderzoek naar effectiviteit van 'zwarte wiek' en aanvullend onderzoek 'ZWEMT'.

J.C. Kleyheeg-Hartman
S.K. Jeninga
E.F. Kappers
E. Klop



**WAARDEN
BURG**
Ecology



Altenburg & Wymenga
ECOLOGISCH ONDERZOEK

**we
consult
nature.**



Onderzoek 'zwarte wiek' Eemshaven

Eindrapport van onderzoek naar effectiviteit van 'zwarte wiek' en aanvullend onderzoek ZWEMT.

J.C. Kleyheeg-Hartman, S.K. Jeninga, E.F. Kappers, E. Klop

Status uitgave: definitief

Rapportnummer:	24-465
Projectnummer:	21-0191
Datum uitgave:	11 april 2025
Foto omslag:	RWE
Projectleiders:	J.C. Kleyheeg-Hartman (WE), S.K. Jeninga (WE), E. Klop (A&W) en E.F. Kappers (A&W)
Tweede lezer:	drs. H.A.M. Prinsen
Kwaliteitscontrole statistiek:	dr. R.S.A. van Bemmelen
Opdrachtgever:	Provincie Groningen A. Brenninkmeijer St. Jansstraat 4 9712 JN Groningen
Referentie opdrachtgever:	Opdrachtbrief no. 2021-088765
Akkoord voor uitgave:	drs. C. Heunks
Datum akkoord:	29 januari 2025

Graag citeren als: Kleyheeg-Hartman, J.C., S.K. Jeninga, E.F. Kappers & E. Klop, 2025. Onderzoek 'zwarte wiek' Eemshaven. Eindrapport van onderzoek naar effectiviteit van 'zwarte wiek' en aanvullend onderzoek ZWEMT. Rapport 24-465. Waardenburg Ecology, Culemborg & Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Veenwouden.

Trefwoorden: vogels, windenergie, slachtoffers, zwarte wieken, zichtbaarheid, mitigatie

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 en Altenburg & Wymenga bv/ Provincie Groningen

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 en Altenburg & Wymenga bv, 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
Altenburg & Wymenga, Suderwei 2 9269 TZ Feanwâlden, 0511 47 47 64, info@altwym.nl, <https://www.altwym.nl>



Voorwoord

Voorliggend rapport betreft het eindrapport van het driejarige 'zwarte wiek' onderzoek in Windpark Eemshaven. Het beschrijft de resultaten en conclusies van het onderzoek naar de effectiviteit van het zwart verven van één rotorblad ('wiek') van een windturbine om het aantal aanvaringsslachtoffers onder vogels te verminderen. In opdracht van provincie Groningen hebben Waardenburg Ecology en Altenburg & Wymenga sinds augustus 2021 drie jaar lang slachtofferonderzoek uitgevoerd onder windturbines met en zonder een zwartgeverfde wiek. Voorliggend rapport vergelijkt de resultaten van het tweede en derde jaar van het onderzoek, de effectmeting (na het verven), met het eerste jaar waarin een nulmonitoring plaatsvond (zonder geverfde wieken).

Dit rapport presenteert ook de resultaten van het aanvullende onderzoek Zwarte Wiek Expansie van Monitoring door Technologie (ZWEMT). In het ZWEMT onderzoek zijn verschillende technieken ingezet om de mogelijke effecten van een zwarte wiek nog beter in kaart te brengen, met name door te kijken naar vogelgedrag bij windturbines met en zonder zwarte wiek.

Vanuit Waardenburg Ecology is het derde jaar van het project uitgevoerd door:

Jonne Kleyheeg-Hartman	Projectleiding en rapportage
Lizanne Jeninga	Projectleiding en rapportage
Tom Raats	GIS-werkzaamheden
Patrick Snoeken	Veldwerk
Jelle Doef	Veldwerk
Lotte van Bortel	Veldwerk

Vanuit Altenburg & Wymenga is het derde jaar van het project uitgevoerd door:

Erik Klop	Projectleiding en rapportage
Elena Kappers	Projectleiding en rapportage
Wender Bil	Statistiek
Olga Stoker	Veldwerk
Martijn Terpstra	Veldwerk

Naast voornoemde personen hebben diverse andere medewerkers binnen Waardenburg Ecology en Altenburg & Wymenga bijgedragen aan het veldonderzoek. Wij bedanken eenieder die heeft bijgedragen aan het project voor hun inzet.

Vanuit de provincie Groningen is het project begeleid door Allix Brenninkmeijer. Vanuit RWE zijn Piet Harlaar en Arjen Schultinga betrokken bij het project. Vanuit TNO wordt het ZWEMT-project geleid door Joep Breuer. Wij bedanken hen voor de plezierige samenwerking.

Disclaimer

Veldonderzoek is altijd een momentopname. Waardenburg Ecology en Altenburg & Wymenga waarborgen dat het onderzoek is uitgevoerd door deskundige onderzoekers



volgens de gangbare standaardmethoden. De bureaus zijn niet aansprakelijk voor waarnemingen van soorten door derden en waarnemingen die na afronding van de studie bekend worden gemaakt.

De in voorliggende rapportage gepresenteerde resultaten van het zwarte wiek onderzoek kunnen op punten afwijken van de resultaten in de eerder gepubliceerde tussen-rapportages (over de nulmeting en het eerste jaar van de effectmeting). Na afloop van het onderzoek heeft namelijk nog een laatste algehele controle plaatsgevonden op de vondsten, de determinaties en de relevantie daarvan, alsook op het doorzoekbaar oppervlak en de correctie daarvoor. Dit kan gevolgen hebben voor de uiteindelijke dataset die is gebruikt in de analyses van dit rapport.



Samenvatting

Nadat op het Noorse eiland Smøla het zwart verven van één rotorblad (wiek) van een windturbine leidde tot een sterke reductie van het aantal aanvaringsslachtoffers onder vogels (waaronder zeearenden) (May *et al.* 2020), werd in Windpark Eemshaven in Nederland een vervolgstudie gestart. Deze locatie heeft een veel gevarieerdere soortensamenstelling en we weten dat in dit windpark relatief veel aanvaringsslachtoffers van vogels vallen. De studie bestond uit 14 windturbines in een BACI-opzet (Before-After-Control-Impact). Na één jaar nulmonitoring, waarbij alle zeven turbines van zowel de controle- als de impactgroep 'ongeverfde' rotorbladen hadden, kregen de impact turbines één zwart rotorblad. De impactmonitoring duurde vervolgens twee jaar, tot eind 2024. De resultaten van deze drie studiejaar zijn beschreven in dit rapport. De effectiviteit van een zwarte wiek voor het verminderen van het aantal aanvaringsslachtoffers onder vogels is geanalyseerd aan de hand van de resultaten van de drie jaar durende monitoring van aanvaringsslachtoffers, evenals de resultaten van de studie ZWEMT. Deze aanvullende studie had als doel om de effecten van een zwarte wiek op vogelgedrag beter in kaart te brengen, door gebruik te maken van *state-of-the-art* monitoringstechnieken, waaronder een Max® 3D vogelradar, camera's, sensoren (WT-Bird® systeem) en microfoons.

Deel 1: onderzoek 'zwarte wiek'

In drie jaar van monitoring van aanvaringsslachtoffers van vogels werden in totaal 436 slachtoffers gevonden, waarvan 196 onder controle turbines en 240 onder impact turbines. De soortgroepen die het vaakst als aanvaringsslachtoffers werden aangetroffen waren zangvogels en meeuwen, gevolgd door steltlopers. In tegenstelling tot de hoge reductie in sterfte die werd gevonden door May *et al.* (2020), vonden we **geen statistisch significant effect van de zwarte wiek op het aantal aanvaringsslachtoffers**. Dit resultaat geldt voor alle vogelsoorten samen, evenals voor alle afzonderlijk geteste soortgroepen. Alleen voor overdag actieve vogels en grote meeuwensoorten werd een zichtbaar, maar statistisch niet significant, positief effect van de zwarte wiek gevonden. Voor overdag actieve soorten werd dit effect waarschijnlijk deels beïnvloed door de aanwezigheid van een spreekwiel-slaapplaats onder een van de impactturbines die tijdens de nulmeting wel, maar tijdens de effectmeting niet aanwezig was. Voor grote meeuwen was de reductie in sterfte bij windturbines met een zwarte wiek alleen aanwezig in het tweede jaar van de effectmeting, terwijl het eerste jaar vergelijkbaar was met de nulmeting.

Een mogelijke verklaring voor de teleurstellende resultaten van deze studie is dat de enkele zwarte wiek mogelijk niet genoeg contrasteert met de (drukke) achtergrond in het Eemshavengebied. Het idee achter de enkele zwarte wiek was het verminderen van bewegingsonscherpte (*motion smear*) en daarmee de zichtbaarheid van de windturbine voor vogels te verbeteren. Bewegingsonscherpte treedt echter waarschijnlijk minder op bij moderne grote windturbines, vanwege de lagere rotatiesnelheid. Daarom is de huidige hypothese dat vooral contrast de zichtbaarheid van een windturbine voor vogels bepaalt. Vergeleken met de enkele zwarte wiek zijn er mogelijk effectievere patronen en/of kleuren om het contrast te vergroten (zowel intern als met de achtergrond). Als alternatief kan het grote positieve effect dat door May *et al.* (2020) is gevonden het gevolg zijn van de zeer



kleine steekproefomvang van de Noorse studie. Dit betekent dat één of twee extra aanvaringsslachtoffers onder een windturbine met een zwarte wiek tot een significant andere uitkomst geleid zouden kunnen hebben. In deze studie in de Eemshaven werden meer dan tien keer zoveel aanvaringsslachtoffers gevonden als in de studie op Smøla, wat de resultaten en conclusies robuuster maakt.

Dat de zwarte wiek in de Eemshaven niet heeft gewerkt, wil niet zeggen dat het beter zichtbaar maken van de rotorbladen in zijn algemeenheid geen goede mitigerende maatregel is om vogelsterfte in windparken te beperken. Op Smøla heeft de zwarte wiek namelijk wel goed gewerkt en in Zuid-Afrika worden positieve resultaten behaald met een rode bandering op één van de wieken. De resultaten laten wel zien dat specifiek de enkele zwarte wiek niet voor alle locaties de juiste manier is om vogelsterfte te beperken. Wij adviseren daarom om in vervolgonderzoek aandacht te besteden aan het achterliggende mechanisme. Hieronder worden een paar eerste ideeën geschetst. Om het beter zichtbaar maken van windturbines voor vogels succesvol toe te passen als mitigerende maatregel moeten we begrijpen welke patronen en/of kleuren onder welke omstandigheden effectief zijn voor welke soort(groep)en.

In een mogelijk vervolgonderzoek kan het monitoren van de koppositie van vogels (met name meeuwen) tijdens de vlucht veelbelovend zijn, omdat het zou kunnen testen of de turbines überhaupt zichtbaar zijn of juist in het 'blinde gebied' vallen voor de meeuwen. Het verbeteren van de zichtbaarheid van windturbines door kleuren en/of patronen toe te voegen, kan alleen helpen aanvaringen te voorkomen, als de turbines ook daadwerkelijk worden opgemerkt door de vogels. Daarnaast raden we aan om het vlieggedrag van verschillende vogelsoorten in de buurt van turbines met en zonder een zwarte wiek gedetailleerder te bestuderen, omdat kennis over verschillen in gedrag tussen soorten nog grotendeels ontbreekt. Dit kan waardevolle informatie opleveren over de effectiviteit van de zwarte wiek voor soort(groep)en die slechts in kleine aantallen werden gevonden tijdens de slachtoffermonitoring.

Ten slotte zou het zeer interessant zijn om een ander patroon en/of kleur te testen, met als primair doel het contrast te vergroten in plaats van bewegingsonscherpte te voorkomen. Voordat een dergelijke studie in de Eemshaven wordt gestart, adviseren wij om eerst consensus te bereiken over het meest geschikte patroon op basis van andere lopende veld- en theoretische studies en, indien mogelijk, een patroon te kiezen dat breed in de praktijk kan worden toegepast. Aangezien het wetenschappelijke onderzoeksveld met betrekking tot de zichtbaarheid van windturbines recent snel is uitgebreid, is er een duidelijke meerwaarde in het bij elkaar brengen van de resultaten van alle lopende studies naar de effecten van afwijkende kleuren en patronen. Dit kan worden gebruikt om een conceptueel kader te ontwikkelen om de zichtbaarheid van windturbines voor vogels te vergroten om het aantal aanvaringen te verminderen.

Deel 2: onderzoek 'ZWEMT'

Het ZWEMT-project liet geen verschillen zien in het vlieggedrag (vlieghoogte, vliegsnelheid en rechtlijnigheid van de vlucht) van vogels dicht bij windturbines met en zonder een zwarte wiek. Helaas registreerden de WT-Bird® systemen, die waren geïnstalleerd om



aanvaringen van vogels met de windturbines te meten, slechts twee aanvaringen. Door problemen in het installatieproces was de gevoeligheid van de sensoren beperkt. Dit betekende ook dat er niet genoeg gegevens werden verzameld om de effectiviteit van het WT-Bird® systeem te valideren in vergelijking met 'handmatige' slachtoffermonitoring. Vanwege het beperkte aantal aanvaringen dat door het systeem werd geregistreerd, konden de timing van aanvaringen en de omstandigheden waaronder deze plaatsvonden, niet worden bepaald in dit onderzoek.



English summary

Following the positive results of painting one blade black to reduce collision rates among birds (including White-tailed eagles) on the Norwegian island of Smøla (May *et al.* 2020), a follow-up study was started in windfarm Eemshaven in the Netherlands. This site has a much more varied species composition and collision rates among birds are known to be relatively high. The study consisted of 14 turbines in a BACI setup (Before-After-Control-Impact). After one year of *Before* monitoring, during which all turbines had white blades (*Control*), half the turbines received one black blade (*Impact*). The *After* monitoring lasted two years, until the end of 2024. The results of these three study years are described in this report. The effectiveness of a black blade for reducing collision victims is discussed, by looking at the results of the three years of collision victim monitoring, as well as the results of the study ZWEMT. This additional study aimed to better understand the effects of a black rotor blade on bird behavior, by deploying state-of-the-art monitoring techniques, including a Max® 3D bird radar, camera's, sensors (WT-Bird® system) and sound recorders.

Part 1: Black blade project

In three years of collision victim monitoring, a total of 436 collision victims were found, of which 196 under *Control* turbines and 240 under *Impact* wind turbines. The species groups that were most often found as collision victims were songbirds and gulls followed by waders. In contrast to the high reduction in collision victims found by May *et al.* (2020), we found **no statistically significant effect of the black blade on the number of collision victims**. This result applies to all bird species combined, as well as to all separately tested species groups. Only for diurnally active birds and large gull species a visible though not statistically significant positive effect of the black blade was found. For diurnally active species this effect was probably partly influenced by the presence of a starling roost underneath one of the impact turbines during the null monitoring, but not during the impact monitoring. For large gulls the reduction in mortality at wind turbines with a black blade was only present in the second year of the effect monitoring, whereas the first year was comparable to the null monitoring.

A possible explanation for the rather disappointing results of this study, is that the single black blade might not contrast enough with the (busy) background in the Eemshaven area. A single black blade was meant to reduce motion smear and thereby improve the visibility of the wind turbine for birds. However, motion smear is probably less relevant for modern large wind turbines, due to the lower rotation speed. Therefore, the current hypothesis is that mainly contrast determines the visibility of a wind turbine for birds. Compared to the single black blade, there might be more effective patterns and/or colors to enlarge contrast (both internally and with the background). Alternatively, the large positive effect found by May *et al.* (2020) could be due to the very small sample size of the Norwegian study. This means that one or two extra collision victims under a wind turbine with a black blade could have led to a significantly different outcome. In this study in the Eemshaven over ten times more collision victims were found compared to the study at Smøla, which makes its results and conclusions more robust.



The fact that the black blade did not work in the Eemshaven, does not mean that increasing the visibility of wind turbines for birds is an ineffective measure to reduce bird mortality in wind farms. After all, the black blade did work at Smøla and good results are achieved in South Africa with red banding on one of the rotor blades. The results of this study in the Eemshaven do show that the single black blade may not be the most appropriate measure for all locations to increase the visibility of wind turbines sufficiently to limit bird mortality. We therefore recommend that follow-up research should focus on the underlying mechanisms. Some preliminary ideas are given below. To successfully increase the visibility of wind turbines for birds as a mitigating measure, we need to understand which patterns and/or colors are effective for which species(groups) and under which circumstances.

In a possible follow-up study, monitoring the head position of birds (specifically gulls) in flight may be promising, as it could test whether they the wind turbines are actually visible depending on their head position in flight. Improving visibility of wind turbines by adding colors and/or patterns can only help prevent collision, if birds are able to see the wind turbines in their flight path. In addition, we recommend studying the flight behavior of different bird species in proximity to turbines with and without a black blade in more detail, as species differences in behavior are still poorly understood. This can yield valuable information about the effectiveness of the black blade for species (groups) that were only found in small numbers during the collision monitoring.

Finally, it would be highly interesting to test a different pattern and/or color, with the primary goal of increasing contrast rather than avoiding motion smear. Before such a study is started in the Eemshaven, we advise to first reach consensus on the most suitable pattern based on other ongoing field and theoretical studies and, if possible, to choose a pattern that can be applied widely in practice. As the scientific field of wind turbine visibility has greatly expanded, there is clear added value in reviewing the results of all ongoing studies on the effects of colored and patterned blades. This can be used to develop a conceptual framework to increase the visibility of wind turbines for birds to reduce the number of collisions.

Part 2: ZWEMT-project

The ZWEMT-project revealed **no differences in the flight behavior** (flight height, flight speed and straightness of the flight) **of birds close to wind turbines with and without a black blade**. Sadly, the WT-Bird® systems that were installed to measure collisions of birds with the wind turbines only registered two collisions. Due to issues in the installation process, the sensitivity of the sensors was limited. This also meant that not enough data was collected to validate the effectiveness of the WT-Bird® system compared to 'manual' collision victim searches. Due to the limited number of collisions registered by the system, the timing of collisions and the conditions under which they occurred could not be determined in this project.



Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	5
English summary	8
<u>DEEL 1 Onderzoek 'zwarte wiek'</u>	
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Doelstelling onderzoek	14
1.3 Onderzoekslocatie	14
1.4 Opzet onderzoek	14
1.5 Selectie windturbines zwarte wiek	15
1.6 Leeswijzer	15
2 Materiaal en methoden	17
2.1 Slachtofferonderzoek	17
2.2 Correctie niet doorzoekbaar oppervlak	19
2.3 Statistische toetsing effectiviteit zwarte wiek	22
3 Resultaten slachtofferonderzoek	24
3.1 Slachtoffers per soortgroep	24
3.2 Verdeling van slachtoffers (per soortgroep) over het jaar	26
3.3 Verschillen tussen ongeverfde turbines en turbines met een zwarte wiek	28
3.4 Verschillen tussen individuele windturbines	29
3.5 Verschillen tussen soortgroepen	30
3.6 Verschillen tussen dagactieve en nachtactieve soorten	32
4 Discussie	35
4.1 Effectiviteit van de zwarte wiek	35
4.2 Vergelijking met het onderzoek op Smøla	36
4.3 Factoren die het onderzoek hebben beïnvloed	37
4.4 De invloed van vlieggedrag	38
4.5 Contrast is belangrijker dan tegengaan van <i>motion smear</i>	39
4.6 Andere lopende onderzoeken	40
5 Conclusie en aanbevelingen	41
<u>DEEL 2 Onderzoek 'ZWEMT'</u>	
6 Inleiding ZWEMT onderzoek	43
6.1 Onderzoek met vogelradar	43
6.2 Aanvaringen meten met WT-Bird® systemen	51
7 Onderzoek vlieggedrag met vogelradar	52



7.1	Resultaten gevalideerde tracks	52
7.2	Resultaten detectiecapaciteit per windturbine	54
7.3	Resultaten analyse vlieggedrag	56
7.4	Soortherkenning met behulp van <i>machine learning</i> modellen	59
7.5	Conclusie	62
8	Resultaten WT-Bird®	63
8.1	Koppeling slachtofferonderzoek aan registraties WT-Bird® systemen	63
8.2	Conclusie	65
<u>DEEL 3 Literatuurlijst en bijlagen</u>		
Literatuur		67
Bijlage I	Doorzocht oppervlak per turbine per onderzoeksjaar	69
Bijlage II	Vondsten in nulmeting en eerste en tweede jaar effectmeting	90
Bijlage III	Overzicht aantal (gecorrigeerde) vondsten per soort	105
Bijlage IV	Resultaten tweede jaar effectmeting	108
Bijlage V	Detailresultaten statistische analyses	110
Bijlage VI	<i>Machine learning</i> model om clutter te classificeren	124
Bijlage VII	Eigenschappen van gevalideerde tracks per soort(groep)	127

DEEL 1

Onderzoek 'zwarte wiek'





1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Nederland werkt hard aan de transitie van fossiele brandstoffen naar duurzame energie. Onderdeel van deze transitie is de realisatie van grote aantallen windturbines op land en op zee. Naast het positieve doel van windturbines (de productie van duurzame energie), kunnen windturbines ook negatieve effecten op de omgeving hebben. Eén van deze negatieve effecten is de sterfte van vogels als gevolg van aanvaringen met de draaiende rotorbladen. In binnen- en buitenland wordt actief gezocht naar manieren om de sterfte van vogels bij windturbines zo veel mogelijk te beperken, tegen zo laag mogelijke kosten en/of met zo weinig mogelijk verlies aan energieproductie. Het reduceren van sterfte van vogels bij windturbines is echter niet eenvoudig. Een mogelijkheid is om de windturbines stil te zetten op momenten dat grote aantallen vogels of kwetsbare vogelsoorten een groot risico lopen om met de draaiende wieken in aanvaring te komen. De uitwerking van dergelijke stilstandsvoorzieningen, op zo'n manier dat het in de praktijk uitvoerbaar is en de exploitatie van de windturbines rendabel blijft, is echter een hele puzzel.

Een andere methode om te voorkomen dat vogels slachtoffer worden in windparken is door de zichtbaarheid van de draaiende rotorbladen ('wieken') te verhogen. Dit kan door iets te doen aan de bewegingsonscherpte en/of het contrast van de rotorbladen met de achtergrond. Bewegingsonscherpte ('*motion smear*') heeft te maken met de manier waarop vogels de bewegende wieken van een windturbine waarnemen. De theorie is dat als de wieken snel genoeg draaien de drie afzonderlijke wieken als het ware 'samenvloeien' tot een wazige schijf die door de vogels mogelijk wordt geïnterpreteerd als een veilig gebied om doorheen te vliegen. Uit laboratoriumexperimenten is gebleken dat het optreden van *motion smear* beperkt kan worden door één van de wieken een andere kleur te geven (Hodos 2003). Dit zorgt voor een onderbreking in het patroon waardoor het samenvloeien van de wieken tot één beeld minder snel optreedt. Een andere theorie is dat het contrast van de windturbine met de achtergrond van invloed is op de kans dat vogels de wieken zien. Door één wiek zwart te verven zijn de wieken mogelijk tegen een grotere range aan achtergronden en in een groter scala aan (weers)omstandigheden zichtbaar voor vogels.

May *et al.* (2020) hebben op het eiland Smøla in Noorwegen onderzocht of het zwart verven van één wiek van een windturbine een reductie van het aantal aanvaringsslachtoffers oplevert. De uitkomst van dit onderzoek was dat het zwart verven van één wiek een reductie van 70% van het aantal vogelslachtoffers tot gevolg had. Dit betrof alle vogelsoorten tezamen (exclusief het moerassneeuwhoen die vooral tegen de mast van de windturbines aanvliegt). De conclusie van dit onderzoek is later echter bekritiseerd, met name op de statistische onderbouwing (AWWI 2021). Het onderzoek is namelijk uitgevoerd onder een gering aantal windturbines en er zijn relatief weinig aanvaringsslachtoffers gevonden tijdens het langjarige onderzoek.



1.2 Doelstelling onderzoek

De positieve resultaten uit het onderzoek van May *et al.* (2020) hebben tot veel interesse geleid voor het toepassen van deze methode in windparken in Nederland en daarbuiten. Maar voordat deze techniek op grote schaal in Nederland ingezet kan worden moet eerst onderzocht worden hoe effectief een zwarte wiek in de Nederlandse situatie is. In Nederland komen (deels) andere vogelsoorten voor, is het landschap heel anders dan op Smøla en speelt bijvoorbeeld nachtelijke vogeltrek op rotorhoogte een belangrijke rol in de sterfte van vogels bij windturbines, terwijl daar op Smøla niet of nauwelijks sprake van is (pers. med. R. May, april 2020). Een dergelijk onderzoek in Nederland geeft daarom belangrijke inzichten in de effectiviteit van deze methode in ons landschap en voor de in ons land voorkomende soorten. Daarnaast geeft het inzicht in de praktische en financiële uitvoerbaarheid van de zwarte wiek als mitigerende maatregel. Het huidige onderzoek in de Eemshaven is bedoeld om bovenstaande vraagstukken te onderzoeken. Deze rapportage gaat uitsluitend in op de effectiviteit van de zwarte wiek in het reduceren van het aantal aanvaringsslachtoffers. De resultaten van de onderzoeken naar de overige aspecten, praktische en financiële uitvoerbaarheid, worden gepresenteerd in separate rapportages (Höfer 2023, van der Zee 2024).

1.3 Onderzoekslocatie

Het onderzoek naar de effectiviteit van zwarte wieken vindt plaats in Windpark Eemshaven. Dit windpark staat in het industrie- en havengebied Eemshaven, gesitueerd in het noorden van de provincie Groningen. Het gebied grenst in het noorden aan de Waddenzee en in het zuiden aan de Groningse polders. Windpark Eemshaven bestaat uit bijna honderd sterk verschillende windturbines die worden geëxploiteerd door verschillende partijen, waaronder RWE, Growind, Engie, Bakker Bierum, Maatschap Berghuis, Bos e.a. Om effecten van andere turbine eigenschappen in het onderzoek uit te kunnen sluiten vindt dit onderzoek naar de effectiviteit van een zwarte wiek uitsluitend plaats bij één type windturbine van RWE met een ashoogte van 98 meter en een rotordiameter van 82 meter.

1.4 Opzet onderzoek

In dit onderzoek wordt de effectiviteit van een zwarte wiek als maatregel om sterfte te reduceren onderzocht door middel van de zogenoemde BACI-aanpak (*Before–After–Control–Impact*). Een BACI opzet garandeert dat de effecten van de behandeling op een statistisch verantwoorde wijze gekwantificeerd kunnen worden. Daarbij is sprake van een factor tijd (de nulmeting *versus* de effectmeting) en een factor behandeling (de controle-turbines *versus* impact turbines). Eenvoudig gezegd wordt in het onderzoek gekeken naar het verschil in mortaliteit tussen de geverfde turbines en de controleturbines tijdens de effectmeting, en dit wordt vergeleken met datzelfde verschil tijdens de nulmeting.

De kern van het onderzoek bestaat uit slachtoffermonitoring bij een vooraf geselecteerde vaste set windturbines waarvan de helft van de windturbines in de loop van het onderzoek wordt voorzien van één zwarte wiek (*Impact*, selectie beschreven in paragraaf 1.5). Bij de start van het onderzoek had geen van de windturbines een zwarte wiek. Dit deel wordt de



nulmeting (*Before*) genoemd. De nulmeting heeft plaatsgevonden in 2021/2022 (Klop *et al.* 2022). Na het verven van de wieken in augustus/september 2022 startte de effectmeting (*After*) bij zowel de windturbines mét een zwarte wiek (*Impact*) als bij de windturbines zonder zwarte wiek (*Control*). Omdat in de nulmeting het verschil tussen de *Control* windturbines en de *Impact* windturbines is vastgesteld zonder de aanwezigheid van zwarte wieken, kan tijdens de effectmeting zuiver vastgesteld worden wat het effect van het zwart verven van de wieken is. De effectmeting duurde twee jaar en is in oktober 2024 afgerond.

Eerder zijn al tussenrapportages verschenen met de resultaten van de nulmeting (Klop *et al.* 2022) en het eerste jaar effectmeting (Klop *et al.* 2024). Deze eindrapportage bevat de resultaten van het tweede jaar effectmeting, alsook een samenvatting van de resultaten van de drie onderzoeksjaren tezamen (nulmeting en eerste en tweede jaar effectmeting). In de rapportage wordt ingegaan op de effectiviteit van de 'zwarte wiek', op basis van het slachtofferonderzoek als ook op basis van het aanvullende onderzoek Zwarte Wiek Expansie van Monitoring door Technologie (ZWEMT). In dit aanvullende onderzoek is getracht met verschillende technieken (radar, camera's, trillingssensoren en microfoons) de mogelijke effecten van een 'zwarte wiek' nog beter in kaart te brengen, met name door te kijken naar vogelgedrag bij de windturbines met en zonder 'zwarte wiek'.

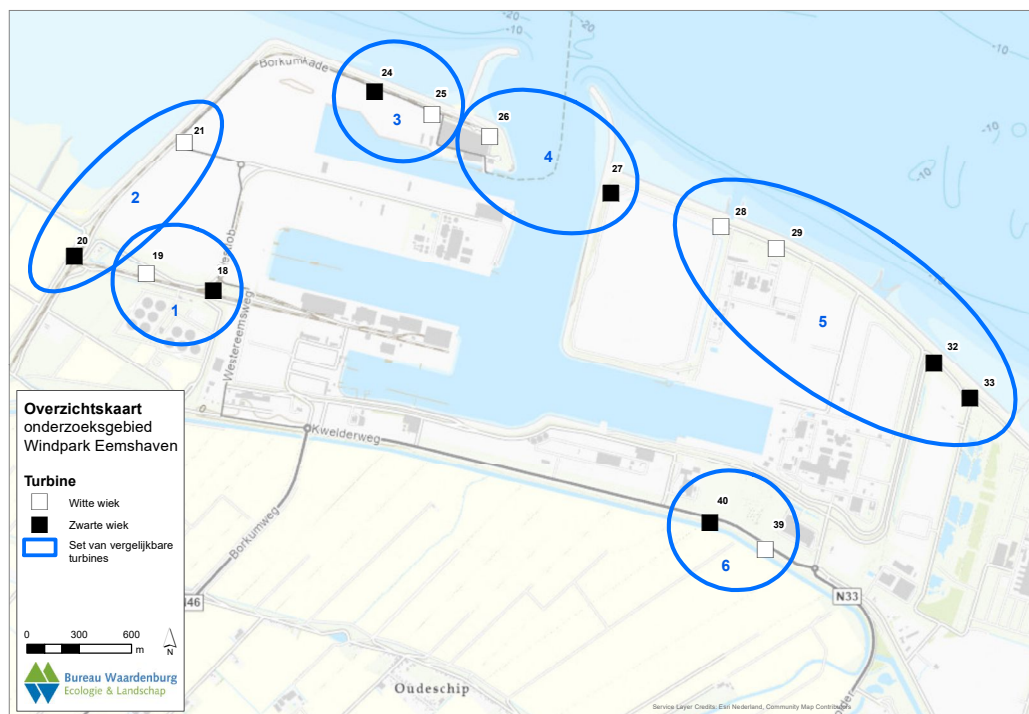
1.5 Selectie windturbines zwarte wiek

Voorafgaand aan het veldonderzoek zijn paren dan wel groepen windturbines geselecteerd waarvoor zo veel mogelijk dezelfde condities golden. In augustus/september 2022 heeft per paar/groep windturbines de helft een zwarte wiek gekregen. Door deze methode zijn verschillen tussen de controlegroep en de impactgroep die veroorzaakt worden door andere factoren dan de zwarte wiek zo klein mogelijk gehouden. Ook in een eerder onderzoek naar de effectiviteit van zwarte wieken is deze methode toegepast (May *et al.* 2020). Op basis van factoren als locatie, gemiddeld gevonden aantal slachtoffers per jaar tijdens de eerdere monitoring in Windpark Eemshaven (2009-2014; Klop & Brenninkmeijer 2014), doorzoekbaar oppervlak onder de windturbine en aanwezigheid van andere potentieel vogelsterfte veroorzakende factoren (zoals wegen en hoogspanningslijnen) in het gebied, is een selectie gemaakt van 14 windturbines (Figuur 1.1). In deze figuur is ook aangegeven welke windturbines een set vormen en van welke windturbines één wiek zwart is geverfd. Windturbines 28, 29, 32 en 33 vormen samen een set. Origineel waren windturbines 30 en 31 ook onderdeel van de selectie windturbines voor het onderzoek, maar door de nabijheid van de hoogspanningslijn was het praktisch niet mogelijk om deze windturbines van een zwarte wiek te voorzien. Diezelfde hoogspanningslijn is de reden voor de keuze dat windturbines 32 en 33 zijn uitgerust met een zwarte wiek en windturbines 28 en 29 niet. Daarnaast zijn windturbines 29 en 32 aan elkaar gekoppeld omdat bij die windturbines de hoogspanningslijn door het zoekgebied loopt en bij windturbines 28 en 33 niet.

1.6 Leeswijzer

Voorliggend rapport bestaat uit drie onderdelen. In deel 1 (hoofdstukken 1 tot en met 5) zijn de opzet en de resultaten van het 'zwarte wiek' onderzoek beschreven, inclusief een

discussie en conclusie op basis van deze resultaten. In deel 2 (hoofdstukken 6, 7 en 8) zijn de opzet en de resultaten van het aanvullende ZWEMT-project beschreven. Het laatste deel (3) bevat de referentielijst en alle bijlagen behorend bij zowel deel 1 als deel 2 van het rapport.



Figuur 1.1

Geselecteerde windturbines voor het zwarte wiek onderzoek. In zwart zijn de windturbines aangegeven welke in de effectmeting een zwarte wiek hebben. In wit zijn de controle windturbines aangegeven. Blauw omcirkeld zijn de windturbine sets. In set 5 zijn de turbines 28+33 en 29+32 aan elkaar gekoppeld.

2 Materiaal en methoden

2.1 Slachtofferonderzoek

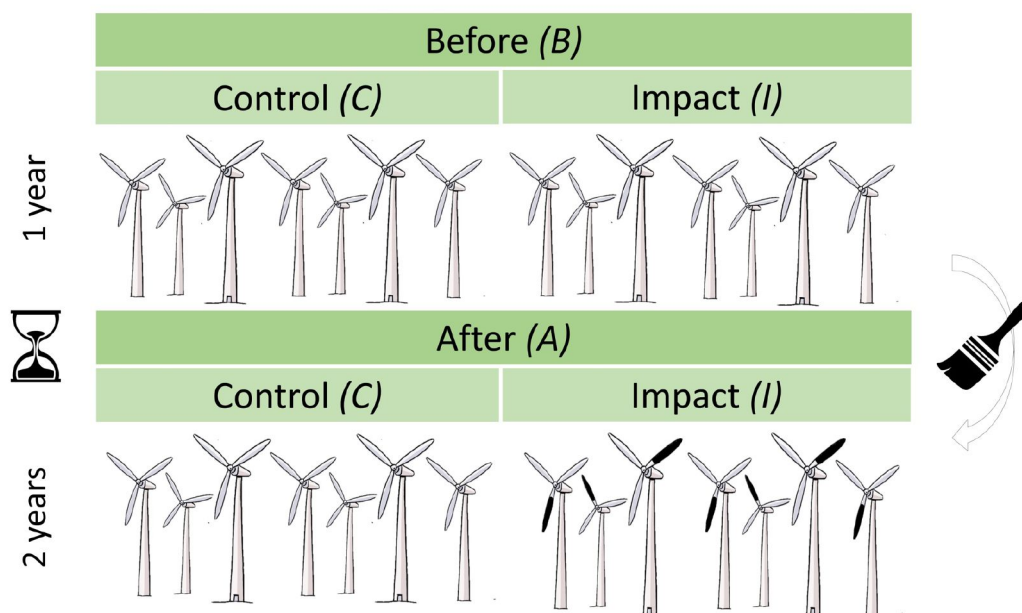
Het slachtofferonderzoek voor de **nulmeting** is gestart op 31 augustus 2021, waarna tot 2 augustus 2022 één keer per week onder alle 14 windturbines in het onderzoek is gezocht naar vogelslachtoffers. Vervolgens is gestart met het zwart verven van één van de wieken van de helft (zeven) van de onderzochte windturbines (Figuur 2.1). Na afronding van het verven is op 18 oktober 2022 de eerste zoekronde van de **effectmeting** uitgevoerd. De effectmeting duurde twee jaar waarin, net als tijdens de nulmeting, wekelijks naar vogelslachtoffers is gezocht onder alle 14 windturbines in het onderzoek (Figuur 2.2). De laatste zoekronde van dit jaar is uitgevoerd op 16 oktober 2024.

Bij het verven van de wieken is, net als op Smøla, de binnenste 30% van het blad niet gedaan. Naast de vergelijkbaarheid van de behandeling met die op Smøla zijn andere voordelen van deze aanpak een beperking van de kosten (minder verf nodig) en waarschijnlijk een minder snelle opwarming van het rotorblad (in vergelijking met een volledig zwart blad). In afwijking van de aanpak op Smøla zijn in dit onderzoek ook de bewegende delen van het rotorblad niet zwart geverfd. Dit betreft de tip en een hele smalle strook parallel aan het rotorblad (Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Windturbine met zwarte wiek (foto: RWE). Het eerste deel van de wiek dicht bij de gondel (ca. 30%) en de bewegende delen (punt) van de wiek zijn niet geverfd.

In totaal zijn in het gehele onderzoek 145 zoekrondes uitgevoerd, waarvan 48 tijdens de nulmeting, 47 in het eerste jaar van de effectmeting en 50 in het tweede jaar van de effectmeting. Dit is exclusief de eerste ronde van de nulmeting en de eerste ronde na het verven (in het eerste jaar effectmeting), deze rondes worden namelijk als ‘opruimronde’ beschouwd, zodat met een schone ondergrond wordt begonnen. Het aantal zoekrondes wisselt enigszins doordat een paar zoekrondes door omstandigheden (ijsvorming op de rotorbladen, ziekte) zijn komen te vervallen.



Figuur 2.2 Schematische weergave van de onderzoeksopzet. De nulmeting (B) vond plaats in de periode augustus 2021 tot en met juli 2022. De effectmeting (A) vond plaats in de periode oktober 2022 tot en met oktober 2024.

Per zoekronde heeft een team van twee medewerkers het gebied onder de 14 windturbines doorzocht op slachtoffers. Er is daarbij een zoekcirkel aangehouden rond de mast van de windturbines met een straal van 140 meter, wat gelijk is aan de tiphoogte van de windturbines. De gevonden slachtoffers zijn op soortnaam gebracht en ingevoerd in de ArcGis Field Maps app op een tablet. Daarbij zijn gegevens als datum, tijd, waarnemer, locatie, geslacht, leeftijdscategorie en versheid van het slachtoffer vastgelegd en zijn foto's van het slachtoffer gemaakt. In het geval een slachtoffer niet tot op soortniveau geïdentificeerd kon worden, is de determinatie op soortgroepniveau gedaan (bijv. 'kleine zangvogel spec.'). Ook is de doodsoorzaak van het slachtoffer in het veld zo goed mogelijk ingeschat en vastgelegd. Dit is gedaan aan de hand van de verwondingen die de vogel had en de locatie waar het slachtoffer is gevonden. Het is vaak niet mogelijk om de doodsoorzaak met zekerheid vast te stellen. Dit wordt beïnvloed door de versheid van het kadaver, de weersomstandigheden, de mate waarin het is aangevreten door aaseters en de hoeveelheid overblijfselen. Elk slachtoffer dat binnen de zoekcirkels is gevonden, is daarom ingedeeld in één van de drie volgende categorieën:



1. *Zeker turbineslachtoffer*: vogels met duidelijke aanvaringswonden, met botbreuken of die aan de voet van een turbine liggen. Kleine zangvogels zijn na een aanvaring aan de buitenkant vaak nog helemaal heel; exemplaren die vers en niet aangevreten zijn, worden ook tot de status 'zeker' gerekend.

2. *Mogelijk of waarschijnlijk aanvaringsslachtoffer*: vogels waarbij de doodsoorzaak op basis van locatie en verwondingen op een vermoedelijke aanvaring met de turbine wijst, of vogels die mogelijk met een turbine in aanraking zijn gekomen, maar waarbij een andere doodsoorzaak niet kan worden uitgesloten.

3. *Andere doodsoorzaken*: vogels die niet met een turbine in aanraking zijn gekomen, maar door een andere oorzaak zijn gestorven: verkeersslachtoffer, uitmaaïen, predatie door niet-aaseters, olieslachtoffers, ziekte, aangespoeld etc. Bij de registratie wordt de betreffende doodsoorzaak in de veldtablet vastgelegd. Vogels die niet door een turbine om het leven zijn gekomen, zijn wel geregistreerd maar in de analyses buiten beschouwing gelaten.

In de analyses zijn alle vondsten van zekere, waarschijnlijke en mogelijke aanvarings-slachtoffers betrokken. Alleen de vondsten van vogels met zeker een andere doodsoorzaak dan een aanvaring met een windturbine zijn buiten beschouwing gelaten.

Tijdens het onderzoek was sprake van veel sterfte van wilde vogels als gevolg van vogelgriep. Tijdens de nulmeting zijn bijvoorbeeld een aantal brandganzen gevonden die vermoedelijk gestorven zijn aan de gevolgen van vogelgriep. Hetzelfde geldt voor een aantal kokmeeuwen in het eerste jaar van de effectmeting. Alleen wanneer dit intacte, duidelijk aangespoelde kadavers betrof kon met voldoende zekerheid vastgesteld worden dat dit geen aanvaringsslachtoffers maar vermoedelijk slachtoffers van vogelgriep waren. Deze vondsten zijn niet meegenomen in de analyses.

Tenslotte zijn ook wijzigingen in de doorzoekbaarheid van de zoekcirkels door de zoekers vastgelegd door het niet doorzoekbare oppervlak in te tekenen in de ArcGis Field Maps app. Dit betrof de aanwezigheid van hoog opgroeiende vegetatie en/of beperkingen om gebied te betreden als gevolg van bijvoorbeeld werkzaamheden in het gebied of aan de windturbine.

2.2 Correctie niet doorzoekbaar oppervlak

Om een vergelijking te kunnen maken tussen het aantal aanvaringsslachtoffers onder de windturbines mét en zonder zwarte wijk, moeten de gevonden aanvaringsslachtoffers nog gecorrigeerd worden voor het niet doorzoekbaar oppervlak. Omdat sprake is van (kleine) verschillen in het doorzoekbaar oppervlak onder de windturbines mét en zonder zwarte wijk is deze correctie van belang voor een correcte bepaling van de effectiviteit van de zwarte wijk.

In reguliere slachtoffermonitoring worden de gevonden aantallen slachtoffers naast de correctie voor niet doorzoekbaar oppervlak ook gecorrigeerd voor de verdwijnsnelheid en de vindkans. Tijdens veldonderzoek naar mortaliteit door windturbines worden namelijk



nooit alle slachtoffers gevonden. Een deel wordt door roofdieren en aaseters verwijderd voordat ze door onderzoekers kunnen worden gevonden (verdwijnsnelheid). Een ander deel is nog wel aanwezig maar wordt niet gevonden, bijvoorbeeld doordat de slachtoffers verscholen liggen in de vegetatie (vindkans). Voor de analyse van het zwarte wiek onderzoek is correctie van de gevonden aantallen slachtoffers voor de vindkans en de verdwijnskans niet nodig. De aanname is dat deze factoren voor beide groepen windturbines (met en zonder zwarte wiek) zo goed als gelijk zijn. De vindkans is, zo veel mogelijk, gelijk gehouden voor impact en controle turbines door het maaien van de ondergrond en het intekenen van niet doorzoekbaar oppervlak, wanneer delen minder goed of niet doorzoekbaar werden. Het maaien heeft ieder onderzoeksjaar meermaals plaatsgevonden (3 à 4 keer per jaar). Er zijn dan ook geen wezenlijke verschillen geconstateerd in doorzoekbaarheid (van doorzoekbaar oppervlak) en daarmee vindkans tussen controle en impact turbines. De factor verdwijnsnelheid is daarentegen niet te controleren en wordt beïnvloed door de aan- of afwezigheid van roofdieren en aaseters in het gebied. Roofdieren als de vos beperken zich niet tot één turbine maar maken gebruik van een groot gebied binnen de Eemshaven. Zij kunnen uiteraard invloed hebben op de vondsten die worden gedaan en actiever zijn in bepaalde delen van het gebied. Gedurende het onderzoek en in de uitwerking van de resultaten is dit in ogenschouw genomen, maar er zijn geen 'verdachte situaties' geconstateerd. Daarmee nemen wij aan dat de verdwijnsnelheid niet wezenlijk verschilt tussen controle en impact turbines.

Correctie afhankelijk van de afstand van het slachtoffer tot de windturbine

Vaak kan dicht bij de turbine een groter deel van het oppervlak doorzocht worden dan verder weg van de turbine. Voor dichtbijgelegen slachtoffers betreft een gemiddelde correctie daarom veelal een overschatting, terwijl het voor slachtoffers aan de rand van de zoekcirkel vaak een onderschatting zal zijn. Als de slachtoffers niet evenredig over de zoekcirkel zijn verdeeld wordt hiermee dus een (kleine) fout gemaakt. Vanwege het bovenstaande is in dit onderzoek voor een meer gedetailleerde correctie gekozen, waarbij de vindplaats van de slachtoffers in ogenschouw wordt genomen.

De correctie is gebaseerd op het percentage doorzoekbaar oppervlak per ring van 10 m rondom de mast van iedere turbine. Tijdens het veldwerk hebben de veldmedewerkers op een digitale kaart aangegeven welke stukken goed of slecht doorzoekbaar waren. Vervolgens is in GIS per turbine een kaart gemaakt van de doorzoekbaarheid en is per ring van 10 m het percentage doorzoekbaar oppervlak berekend. Alleen de binnenste ring rondom de mast heeft een breedte van 6 m vanwege de diameter van de mast zelf (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 De 14 ringen waarmee is gewerkt voor de correctie voor doorzocht oppervlak, met in de laatste kolom het totale oppervlak per ring.

Ringnummer	Afstand tot centrum windturbine (m)	Oppervlak (m ²)
1	4 – 10	264
2	10 – 20	942



Ringnummer	Afstand tot centrum windturbine (m)	Oppervlak (m ²)
3	20 – 30	1.571
4	30 – 40	2.199
5	40 – 50	2.827
6	50 – 60	3.456
7	60 – 70	4.084
8	70 – 80	4.712
9	80 – 90	5.341
10	90 – 100	5.969
11	100 – 110	6.597
12	110 – 120	7.226
13	120 – 130	7.854
14	130 - 140	8.482

Voor negen turbines (18, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 32) was het percentage doorzoekbaar oppervlak gelijk over de gehele duur van het onderzoek. Bij vijf turbines (21, 24, 33, 39, 40) wisselde de doorzoekbaarheid over de tijd. Er is sprake van gebieden die nooit doorzoekbaar waren, gebieden die iedere ronde doorzocht konden worden én gebieden die soms niet doorzoekbaar waren, bijvoorbeeld als sprake was van te hoge vegetatie (Bijlage I). Hiermee is rekening gehouden door voor elk van deze turbines per relevante periode het percentage doorzoekbaar oppervlak te berekenen en toe te passen als een correctiefactor voor die periode. De kleinste periode die hierbij is gehanteerd betreft een seizoen (drie maanden).

Voor ieder slachtoffer is geanalyseerd in welke 10 m-ring het slachtoffer lag en welk deel van die ring tijdens de betreffende zoekronde is doorzocht (Bijlage II). Voor één vondst uit de nulmeting en één vondst uit de effectmeting was geen precieze locatie beschikbaar en kon daardoor de afstand tot de windturbine niet bepaald worden¹. Deze vondsten zijn gecorrigeerd met de gemiddelde doorzoekbaarheid van de gehele zoekcirkel van de betreffende windturbine in de betreffende zoekronde. Eén vondst in de nulmeting is precies op de buitengrens van ring 14 gevonden. Deze vondst is in de analyses tot ring 14 gerekend.

Op de hierboven beschreven manier is voor elk slachtoffer een op maat gesneden correctie toegepast². Gemiddeld genomen kon van de binnenste ringen een aanzienlijk groter deel

¹ Dit werd veroorzaakt door een fout in de ArcGis Field Maps app waardoor de locatie van de vondsten verloren is gegaan. Dit kon later niet meer achterhaald worden.

² In de statistische BACI-analyse was het niet mogelijk om de correctie voor zoekoppervlak per slachtoffer toe te passen, rekening houdend met de afstand van het slachtoffer tot de windturbine. In de statistische toetsing is gewerkt met een gemiddelde correctie voor doorzocht oppervlak per windturbine per zoekronde.



doorzocht worden dan van de buitenste ringen. Dit betekent dat een vondst aan de rand van een zoekcirkel over het algemeen sterker gecorrigeerd wordt voor zoekoppervlak dan een vondst in het centrum van een zoekcirkel.

2.3 Statistische toetsing effectiviteit zwarte wiek

BACI-opzet

Het onderzoek volgt een BACI (*Before–After–Control–Impact*) opzet, waarbij sprake is van een mogelijk verschil tussen de metingfases (nulmeting *versus* effectmeting, “BA”) en in behandeling (ongeverfde *versus* zwarte wieken, “CI”). De combinatie van beide effecten, dus een significant effect van de behandeling in de effectmeting ten opzichte van de nulmeting, duidt op een effect van de zwarte wiek. Met andere woorden, in de analyses is gekeken naar het verschil in het aantal slachtoffers tussen de windturbines met een zwarte wiek en de ongeverfde controle turbines tijdens de effectmeting en dit is vergeleken met datzelfde verschil tijdens de nulmeting. Hierbij is in de modellen een interactieterm voor behandeling x metingfase (“BA*CI”) toegepast. Als deze interactieterm significant is, is sprake van een effect van de zwarte wiek.

Respons variabele: aantal slachtoffers per windturbine per zoekronde

De statistische tests zijn uitgevoerd op het aantal gevonden slachtoffers per zoekronde en per windturbine. De analyses zijn in het statistisch softwareprogramma R uitgevoerd. Daarbij zijn alle zoekronden en alle turbines meegenomen, ook als er geen slachtoffers waren aangetroffen. Wanneer een individuele windturbine in een enkele zoekronde niet is onderzocht, bijvoorbeeld als sprake was van onderhoudsactiviteiten, is deze combinatie van windturbine en zoekronde niet meegenomen in de analyse. Dit betreft:

- turbines 18 en 39 op 25 juli 2023;
- turbine 28 op 7 en 20 juli 2024;
- turbine 24 op 11 juni, 26 juni, 11 juli en 24 juli 2024.

De dataset die voor de statistische analyses is gebruikt bestaat in totaal uit 2.022 records (dit betreft iedere individuele combinatie van zoekronde en windturbine).

Modellen Generalized Linear Mixed Models (GLMM) met een *Poisson error distribution* zijn gefit voor de analyses.

De modellen zijn gefit met een *main effect* van metingfase (factor BA), behandeling (factor CI), een interactieterm daarvan (factor BA*CI). Daarnaast zijn in de modellen *random intercepts* voor i) zoekronde (datum als factor voor variatie op het niveau van zoekrondes, bijvoorbeeld als gevolg van verschillen in tussenpozen tussen bezoeken) en ii) turbine (voor gemiddelde verschillen op het niveau van turbines) meegenomen. Ten slotte is een offset toegevoegd voor het doorzochte oppervlak (in hectare) per turbine om voor de verschillen in zoekinspanning te corrigeren. Voor alle turbines is het doorzoekbare oppervlak per seizoen (periode van drie maanden) bepaald.

Er zijn verschillende GLMMs toegepast, namelijk i) een model voor de vondsten van alle soortgroepen tezamen, ii) een model per soortgroep voor de soortgroepen met een voldoende grote steekproef aan vondsten voor een goede fit (duiven, eenden, ganzen,



meeuwen, steltlopers, zangvogels), iii) twee aparte modellen voor vondsten onder grote meeuwen en kleine meeuwensoorten, iv) twee aparte modellen voor vondsten van dagactieve en nachtactieve vogelsoorten. Er is geen GLMM toegepast op soortniveau, omdat hiervoor de steekproefgrootte te klein is.

Voor alle modellen zijn de modelaannames gecontroleerd, inclusief de geschiktheid van een Poisson-verdeling voor de responsvariabele. Daarbij is specifiek gekeken naar overdispersie en een mogelijk verhoogd aantal nullen in de data. Uit deze controles bleek dat het gebruik van een *zero-inflated model* of een negatieve binomiale regressie niet nodig was voor een correcte toepassing van de gebruikte analysemethoden.

Correctie voor doorzoekbaar oppervlak

In de hierboven beschreven modellen is ervoor gekozen om de doorzochte oppervlakte voor de hele turbine te nemen, zonder rekening te houden met de afstand van het slachtoffer tot de windturbine. In de figuren in hoofdstuk 3 van dit rapport is wel een correctie toegepast waarin rekening is gehouden met de afstand van het slachtoffer tot de windturbine (zie paragraaf 2.2). Om te voorkomen dat de statistische toetsen onnodig complex zouden worden door veel extra nullen op afstandsringniveau, is onderzocht of het doorzocht oppervlak per afstandsring significant verschilt tussen de windturbines met en zonder zwarte wiek. Dit bleek niet het geval te zijn (zie Bijlage V). Hierdoor konden we in de modellen werken met de totale doorzochte oppervlakte per turbine, terwijl de figuren een aanvullende visualisatie bieden waarin de afstand tot de turbine is meegenomen.



3 Resultaten slachtofferonderzoek

3.1 Slachtoffers per soortgroep

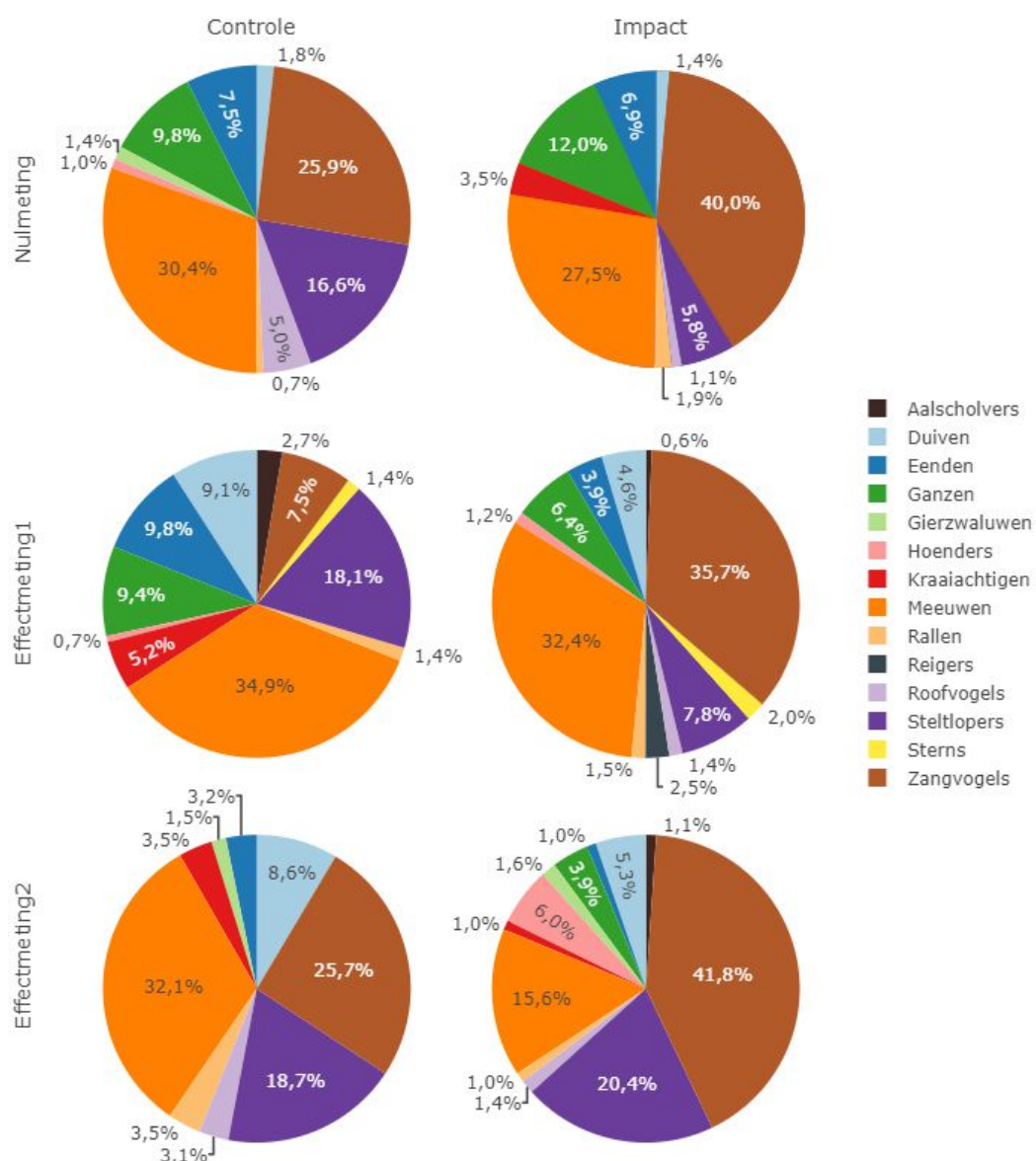
Tijdens de drie jaar onderzoek zijn in totaal 436 slachtoffers gevonden van 81 soorten vogels die als mogelijk of zeker aanvaringsslachtoffer zijn gekwalificeerd (Tabel 3.1, Bijlage II). Dit is inclusief tien “soorten” die niet tot op soortniveau geïdentificeerd konden worden, zoals “eend spec.” of “meeuw spec.”. Mogelijk ligt het ‘echte’ aantal soorten dus iets lager. Het aantal vondsten is met ieder jaar afgenomen, maar het aantal soorten is de laatste twee jaren constant gebleven (Tabel 3.1). Vondsten waarvan het waarschijnlijk is dat zij een andere doodsoorzaak hebben (bijvoorbeeld verkeersslachtoffer, predatie, ziekte e.d.) zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Dat geldt ook voor vondsten die buiten de zoekcirkel van 140 m zijn aangetroffen.

Tabel 3.1 Overzicht van het aantal vondsten en soorten tijdens de drie meetjaren van het onderzoek.

Meting	Zoekrondes	Vondsten	Soorten
Nulmeting	48	169	52
Effectmeting jaar 1	47	145	44
Effectmeting jaar 2	50	122	44
Totaal	145	436	

Veruit de meeste slachtoffers zijn gevonden onder meeuwen en sterns (zie Tabel 3.2 en Figuur 3.1), gevolgd door zangvogels en steltlopers. Deze drie soortgroepen omvatten gezamenlijk ruim 70% van het totaal aantal vondsten. Het ongecorrigeerde aantal vondsten onder zangvogels is lager dan onder meeuwen en sterns (117 vs. 134 exemplaren) maar na correctie voor doorzocht oppervlak komt het aantal voor beide soortgroepen vrijwel gelijk uit (284 vs. 282 exemplaren). Dit komt doordat de zangvogels gemiddeld met een hogere correctiefactor voor doorzocht oppervlak zijn vermenigvuldigd dan de meeuwen en sterns.

Onder de overige soortgroepen zijn aanzienlijk minder slachtoffers gevonden. Met name onder hoendervogels (fazant en patrijs), overige niet-zangvogels (gierzwaluw), roofvogels en kraaiachtigen zijn relatief weinig slachtoffers gevonden. Onder de soortgroepen duiven, eenden, ganzen en overige watervogels (aalscholver en reigers) zijn in totaal 10 tot 30 slachtoffers gevonden.



Figuur 3.1 Relatieve verdeling van de slachtoffers (gecorrigeerd voor doorzocht oppervlak) over de soortgroepen voor de controle turbines (links) en de impact turbines (rechts) voor de drie onderzoeksjaren (nulmeting, eerst jaar effectmeting en tweede jaar effectmeting).



Tabel 3.2 *Aantal slachtoffers per soortgroep voor zowel de controle turbines als de impact turbines (voor het totaaloverzicht van zowel de nulmeting als de effectmeting (before vs. after) zie Bijlage II). De data betreffen zowel de ongecorrigeerde aantallen als de aantallen gecorrigeerd voor het doorzocht oppervlak.*

Soortgroep	Controle		Impact	
	Vondsten	Gecorrigeerd	Vondsten	Gecorrigeerd
Duiven	12	27	11	18
Eenden	17	31	9	22
Ganzen	14	31	16	40
Hoendervogels	2	3	3	10
Kraaiachtigen	6	12	5	8
Meeuwen en sterns	61	146	73	136
Onbekend	2	3	3	6
Overige niet-zangvogels	2	4	1	2
Overige watervogels	6	12	9	15
Roofvogels	5	12	5	7
Steltlopers	31	78	26	52
Zangvogels	38	87	79	197
Totaal	196	447	240	513

Een overzicht van het aantal slachtoffers per soort, inclusief het aantal dat is gecorrigeerd voor het doorzocht oppervlak, is gegeven in Bijlage III¹. Hieruit blijkt dat met name veel slachtoffers zijn gevonden onder de kokmeeuw, zilvermeeuw en de spreeuw (al deze soorten >40 slachtoffers). Van slechts negen soorten zijn meer dan tien slachtoffers gevonden, terwijl van 37 soorten maximaal twee slachtoffers zijn gevonden. Deze 37 soorten maken gezamenlijk ongeveer 10% uit van het totaal aantal vondsten. Dit geeft aan dat sprake is van veel spreiding over de verschillende soorten.

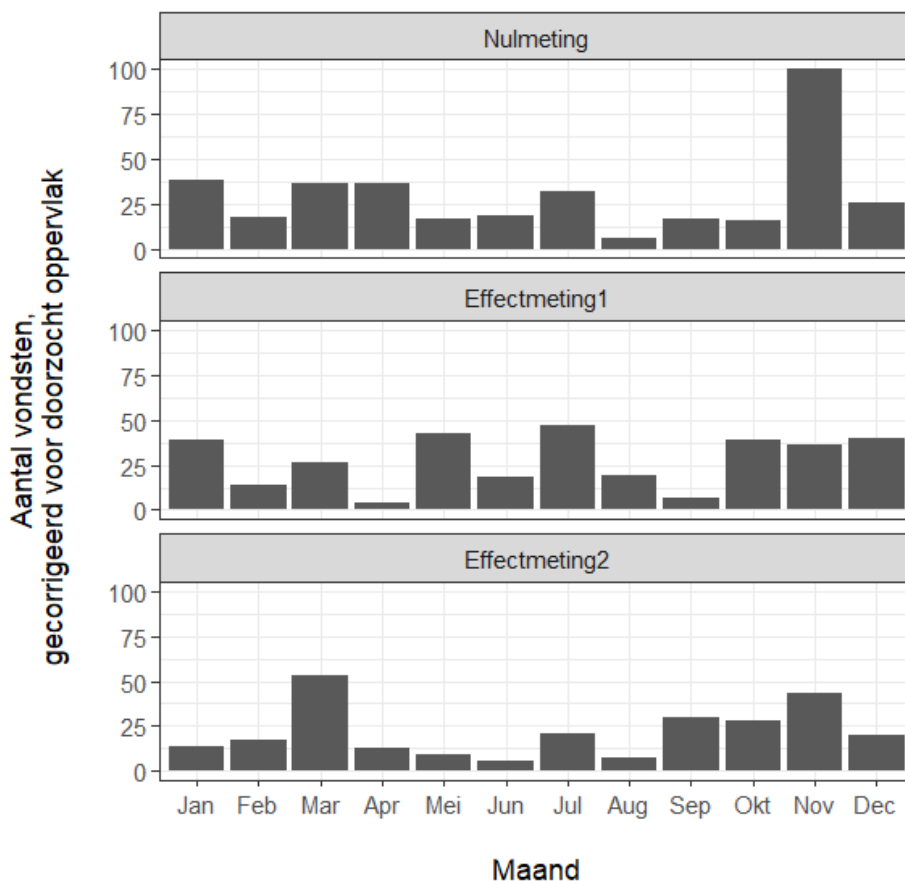
3.2 Verdeling van slachtoffers (per soortgroep) over het jaar²

In tegenstelling tot de nulmeting, waarbij in het najaar een duidelijke piek aan slachtoffers is waargenomen, was er in de effectmeting geen moment in het jaar waarop duidelijk meer

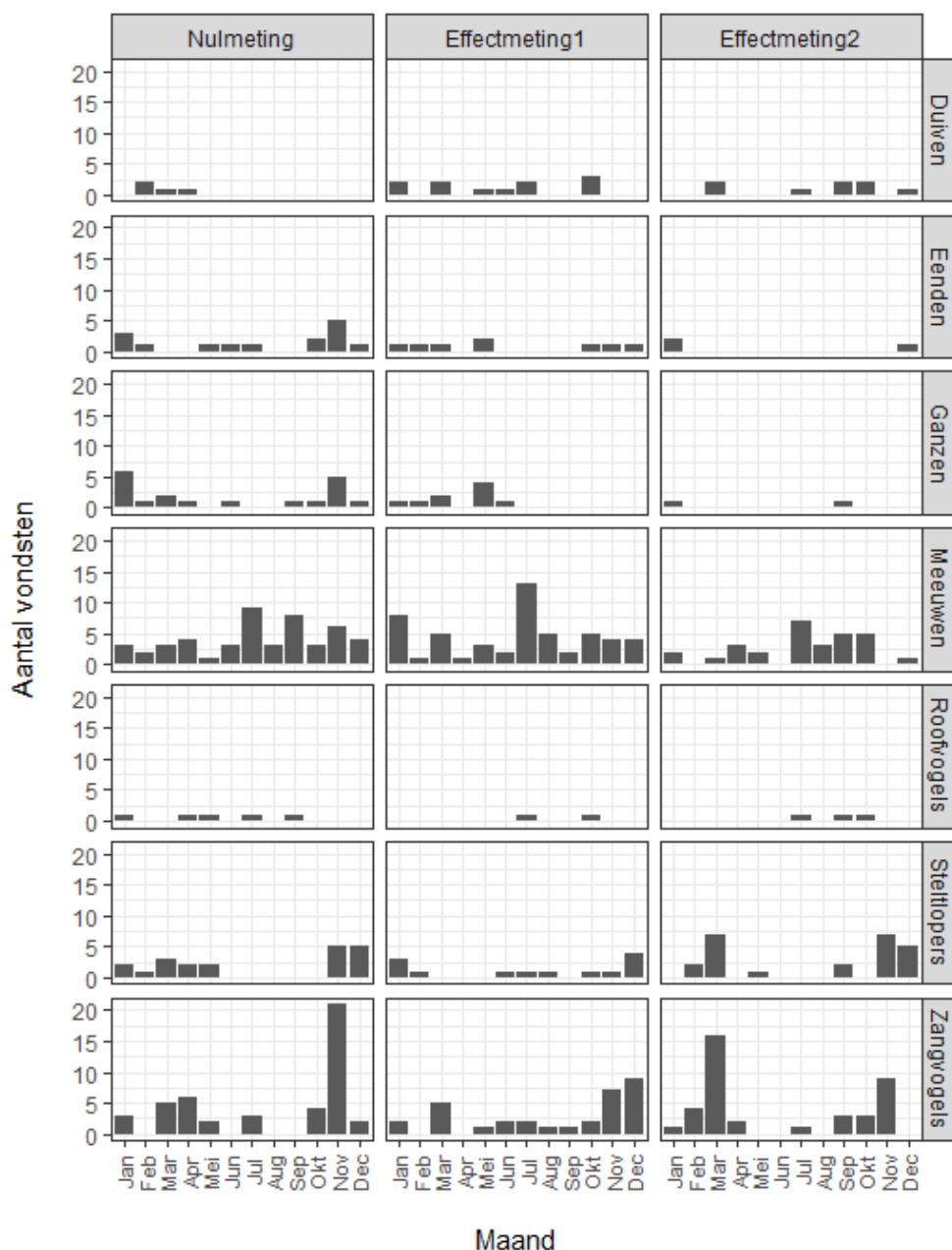
¹ Net als in de nulmeting was ook tijdens het eerste jaar van de effectmeting sprake van vogelgriep. Waar mogelijk zijn vermoedelijke vogelgriepslachtoffers niet meegenomen in de analyses (zie paragraaf 2.2). Echter, er kan niet worden uitgesloten dat vogelgriepslachtoffers in de dataset zitten, of dieren die na besmetting door een verminderde coördinatie tegen een turbine zijn aangevlogen. De aanname is dat dit geen effect heeft op de resultaten omdat dit voor zowel de impact als de controle turbines geldt en in de opzet van het onderzoek sets van nabijgelegen windturbines zijn geselecteerd, waarmee de invloed van ruimtelijke verschillen op de resultaten zoveel mogelijk is beperkt.

² Gedetailleerde figuren voor specifiek het tweede jaar effectmeting zijn opgenomen in Bijlage IV.

slachtoffers zijn gevonden (Figuur 3.2). Meeuwen zijn in alle onderzoeksjaren jaarrond als slachtoffer gevonden zonder een duidelijke piek in de tijd. Ook zangvogels zijn jaarrond gevonden, maar voor deze soortgroep was wel een piek in vondsten in het voorjaar en najaar zichtbaar. De meeste steltlopers zijn gevonden in het winterhalfjaar tussen november en mei, maar ook in de zomer (juni/juli) (Figuur 3.3). Het betreft soorten als de bonte strandloper, steenloper, wulp en de watersnip.



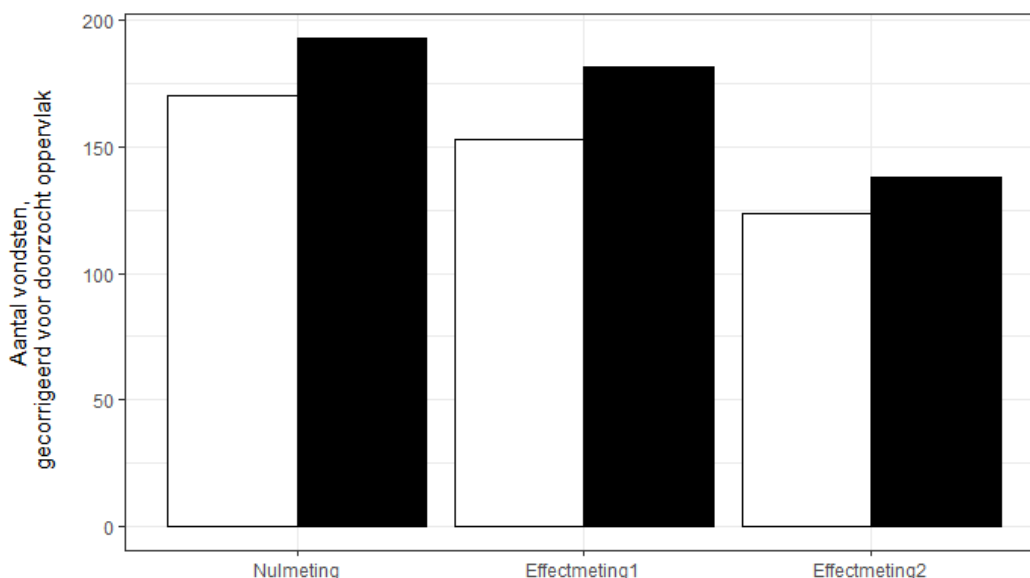
Figuur 3.2 Aantal vondsten per maand gecorrigeerd voor doorzocht oppervlak.



Figuur 3.3 Aantal vondsten per soortgroep per maand per onderzoeksjaar.

3.3 Verschillen tussen ongeverfde turbines en turbines met een zwarte wiek

In elk van de drie onderzoeksjaren was sprake van een hoger aantal slachtoffers bij de impact turbines dan bij de controle turbines (Figuur 3.4). Dit is een consistent beeld gedurende het onderzoek. Het zwart verven van de wieken heeft dus niet gezorgd voor een (grotere) reductie in het aantal slachtoffers bij de impact turbines ten opzichte van de controle turbines. Hiermee kan de hypothese worden verworpen dat een zwarte wiek in algemene zin tot een afname van het aantal aanvaringsslachtoffers leidt (BA*CI effect: $X^2 = 0,45$; $p = 0,5$; zie ook Tabel BV.2 en Figuur BV.2).



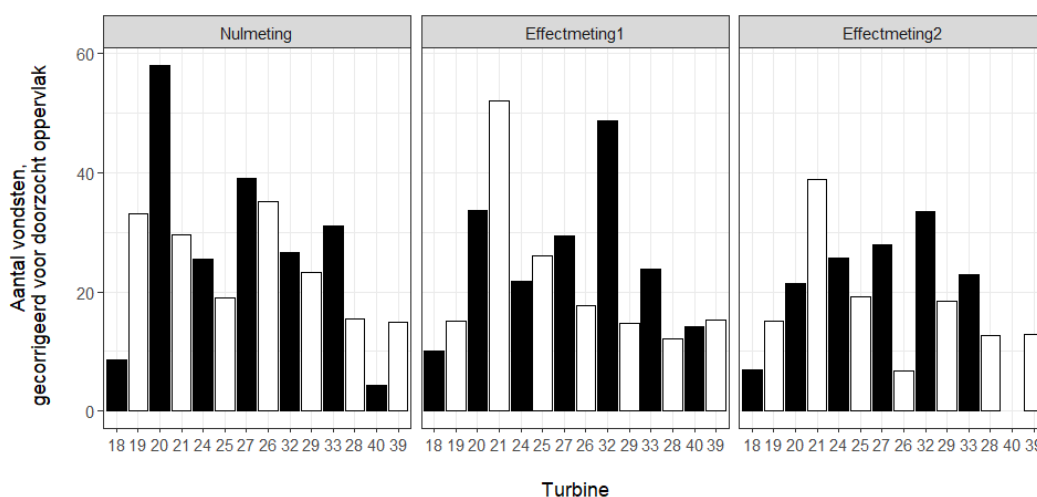
Figuur 3.4 Gecorrigeerd aantal vondsten bij de controle (wit) en impact turbines (zwart) tijdens de drie onderzoeksjaren.

3.4 Verschillen tussen individuele windturbines

Ondanks dit algemene patroon is sprake van grote verschillen tussen de turbines. Deze patronen zijn weergegeven in Figuur 3.5. Hierbij zijn de volgende opmerkingen te maken ten aanzien van de verschillen tussen de turbines:

1. Tijdens de nulmeting was bij turbineset 2 (turbines 20 en 21) het aantal vondsten bij de controle turbine (21) aanzienlijk lager dan bij de impact turbine (20), maar tijdens beide jaren van de effectmeting was dit patroon omgedraaid. Dit lijkt te suggereren dat sprake is van een positief effect van de zwarte wiek. Hier speelt echter, naast het zwart verven van één van de wieken van windturbine 20, ook nog een lokaal effect wat het verschil tussen de nulmeting en de effectmeting (deels) verklaart. Tijdens de nulmeting was namelijk een slaapplek van spreeuwen aanwezig bij turbine 20 die daar in dat jaar leidde tot veel vliegbewegingen en slachtoffers van spreeuwen. Tijdens de effectmeting sliepen de spreeuwen niet langer op deze locatie, waardoor de vliegactiviteit van spreeuwen bij deze windturbine aanzienlijk lager was en er ook veel minder spreeuwen als slachtoffer onder deze windturbine zijn aangetroffen.
2. Het verschil in aantal slachtoffers tussen de ongeverfde turbines en turbines met een zwarte wiek in set 5 (turbines 28, 29, 32 en 33) is sterk toegenomen tijdens het eerste jaar van de effectmeting, met name doordat bij de impact turbine 32 opvallend meer slachtoffers zijn gevonden (na correctie voor zoekoppervlak). De precieze oorzaak hiervan is niet duidelijk. Tijdens het tweede jaar van de effectmeting is het aantal slachtoffers bij turbine 32 weer lager geworden.

- De overige turbinesets laten een wisselend beeld zien. Bij controle turbine 19 is het aantal slachtoffers in de effectmeting sterk afgenomen ten opzichte van de nulmeting, terwijl het aantal slachtoffers bij impact turbine 18 vergelijkbaar is tussen de nulmeting en effectmeting. Ook bij de controle turbine 26 is het aantal vondsten sterk afgenomen terwijl dat bij de impact turbine 27 niet het geval is. Bij controle turbine 39 is het aantal vondsten vergelijkbaar, maar bij de impact turbine (40) is het aantal vondsten eerst sterk toegenomen en daarna afgenomen tot nul slachtoffers in het tweede jaar van de effectmeting.



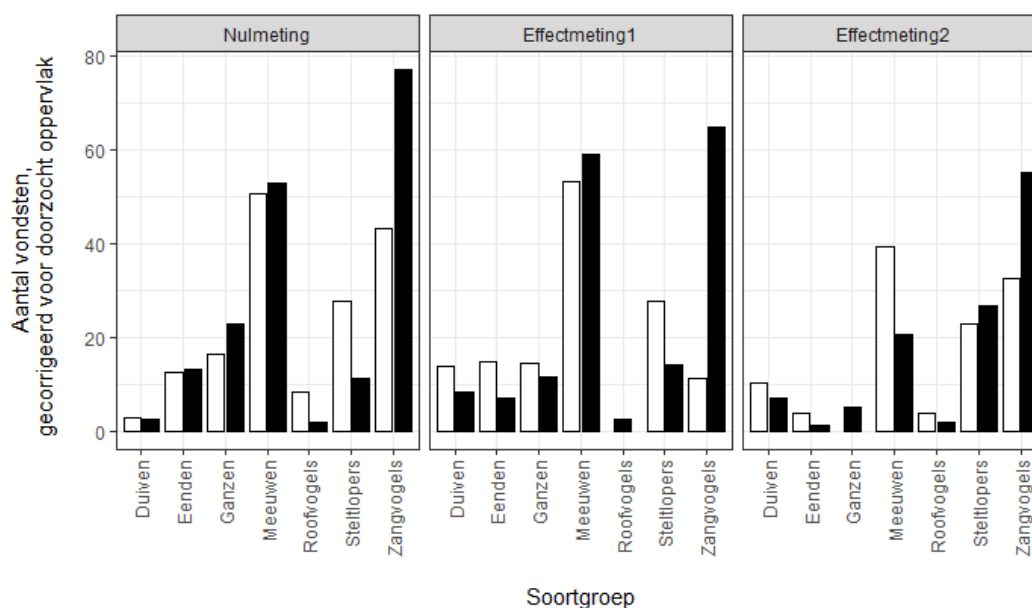
Figuur 3.5 Gecorrigeerd aantal vondsten per turbine tijdens de drie onderzoeksjaren. De zwarte staven hebben betrekking op de impact turbines, de witte staven op de controle turbines.

3.5 Verschillen tussen soortgroepen

Ook tussen soortgroepen is sprake van grote verschillen (Figuur 3.6). De **meeuwen**, één van de voornaamste soortgroepen die als slachtoffer vallen in Windpark Eemshaven, laten in het eerste jaar van de effectmeting geen afname zien van het aantal slachtoffers bij de turbines met een zwarte wiek. In het tweede jaar van de effectmeting is echter een aanzienlijke afname te zien. Ook bij de (ongeverfde) controle turbines is deze afname zichtbaar, maar bij de turbines met een zwarte wiek is deze afname veel sterker. Het is niet duidelijk wat voor het grote contrast tussen beide jaren van de effectmeting heeft gezorgd. Overall is echter geen significant positief effect van de zwarte wiek voor meeuwen vastgesteld (BA*CI effect: $X^2 = 0,95$; $p = 0,329$; zie ook Figuur BV.3 en Tabel BV.3 in Bijlage V).

Het aantal slachtoffers onder **zangvogels** bij de (ongeverfde) controle turbines wisselt sterk, maar bij de impactturbines met een zwarte wiek is sprake van een geleidelijke daling (Figuur 3.6). Het aantal slachtoffers bij de impact turbines blijft echter aanzienlijk hoger dan bij de controle turbines. Ook voor deze soortgroep is geen significant effect van de zwarte wiek op de sterfte vastgesteld (BA*CI effect: $X^2 = 1,33$; $p = 0,248$; zie ook Figuur BV.4 en Tabel BV.4 in Bijlage V).

Ook voor de **stellopers** blijkt uit de resultaten geen positief effect van de zwarte wiek en is de trend in het tweede jaar van de effectmeting eerder zelfs in de richting van een negatief effect. Deze trend is niet significant (BA*CI effect: $X^2 = 2,16$; $p = 0,141$; zie ook Figuur BV.5 en Tabel BV.5 in Bijlage V). Deze soortgroep omvat veel verschillende soorten met grote verschillen in morfologie, fenologie en gedrag. Dit maakt dat het waarschijnlijk lastig is om voor deze soortgroep een eenduidig effect vast te stellen, zeker als het effect beperkt is.



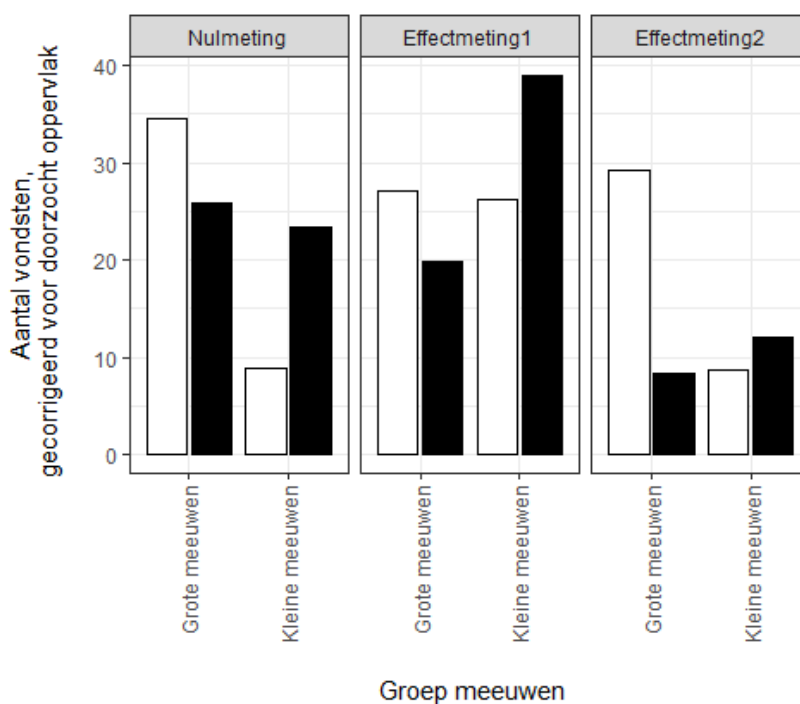
Figuur 3.6 Gecorrigeerde vondsten per soortgroep per behandeling (wit=controle, zwart=impact) per onderzoeksjaar. Soortgroepen met minder dan acht gecorrigeerde vondsten als maximum per combinatie van meetjaar*behandeling zijn buiten beschouwing gelaten.

De **eenden** en **duiven** zijn de enige soortgroepen waarbij op basis van de patronen in Figuur 3.6 sprake zou kunnen zijn van een positief effect van de zwarte wiek al blijkt ook in dit geval geen sprake van een statistisch significant effect (BA*CI effect voor duiven: $X^2 = 0,06$; $p = 0,794$; BA*CI effect voor eenden: $X^2 = 0,01$; $p = 0,913$; zie ook Figuren BV.6, BV.7 en Tabellen BV.6, BV.7 in Bijlage V). Het gecorrigeerd aantal slachtoffers onder beide soortgroepen tijdens de nulmeting is vergelijkbaar tussen de controle turbines en de impact turbines, maar tijdens beide jaren van de effectmeting is het aantal slachtoffers bij de turbines met een zwarte wiek consistent lager dan bij de (ongeverfde) controle turbines. Bij de eenden is dit patroon meer uitgesproken dan bij de duiven. Het aantal vondsten onder beide soortgroepen is echter beperkt (in totaal 26 eenden en 23 duiven).

De overige soortgroepen laten geen consistent beeld zien, met sterk wisselende aantallen slachtoffers tussen de nulmeting en effectmeting bij beide behandelingen.

Binnen de soortgroep meeuwen is onderzocht of sprake is van een verschil in effectiviteit van de zwarte wiek voor **grote meeuwen** (hoofdzakelijk zilvermeeuw en daarnaast enkele kleine mantelmeeuwen en grote mantelmeeuwen) en **kleine meeuwen** (hoofdzakelijk

kokmeeuwen en daarnaast enkele stormmeeuwen). Dit is met name relevant omdat grote meeuwen ook in offshore windparken frequent aanvaringsslachtoffer worden. Helaas blijkt de zwarte wiek zowel voor de grote meeuwen als voor de kleine meeuwen geen significant positief effect te hebben (BA*CI effect voor grote meeuwen: $X^2 = 2,2$; $p = 0,137$; BA*CI effect voor kleine meeuwen: $X^2 = 0,0009$; $p = 0,976$; zie ook Figuren BV.9, BV.10 en Tabellen BV.9, BV.10 in Bijlage V). Voor de grote meeuwen was in het eerste jaar van de effectmeting sprake van een daling in mortaliteit bij de windturbines met een zwarte wiek ten opzichte van de nulmeting. Deze daling was ook zichtbaar bij de controle windturbines (zonder zwarte wiek). In het tweede jaar van de effectmeting was wel sprake van een duidelijk verschil tussen de turbines met zwarte wiek en de controle turbines. Bij de impact turbines (met zwarte wiek) zette de daling van de sterfte verder door (Figuur 3.7). Bij de controle turbine (zonder zwarte wiek) was deze verdere daling niet aanwezig. Overall (beide effectmetingjaren tezamen) leidt dit niet tot een significant positief effect van de zwarte wiek voor grote meeuwen.



Figuur 3.7 *Gecorrigeerde vondsten van grote meeuwen en kleine meeuwen per behandeling per onderzoeksjaar. Grote meeuwen zijn hoofdzakelijk zilvermeeuwen en kleine meeuwen hoofdzakelijk kokmeeuwen.*

3.6 Verschillen tussen dagactieve en nachtactieve soorten

Figuur 3.8 laat het gecorrigeerd aantal vondsten zien tijdens de nulmeting en beide jaren van de effectmeting voor twee groepen vogelsoorten, geclassificeerd naar het moment van de dag waarop ze de meeste vliegactiviteit vertonen:



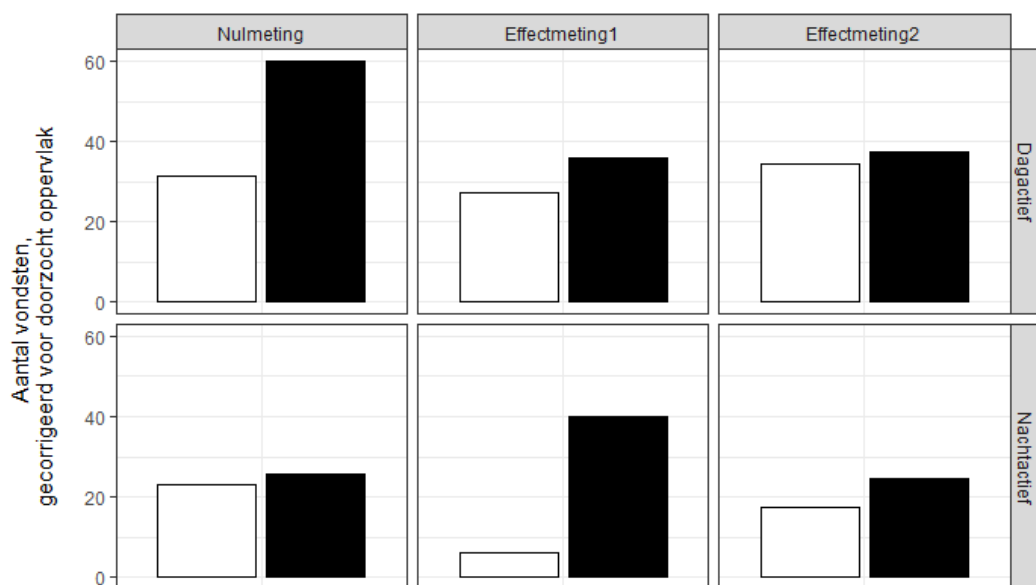
1. Vogels waarbij de meeste vliegactiviteit **overdag** plaatsvindt (duiven, gierzwaluwen, kraaiachtigen, roofvogels en enkele zangvogels zoals spreeuwen, graspieper, zwaluwen en vinkachtigen);
2. Vogels waarbij de meeste vliegactiviteit **'s nachts** plaatsvindt (veel zangvogels zoals lijsters en vliegenvangers tijdens de trek).

Veel eenden, ganzen, meeuwen en steltlopers vertonen vaak ook veel vliegactiviteit in de schemering. Deze soorten zijn daarom niet goed in te delen in één van bovenstaande categorieën. Deze soortgroepen zijn in deze analyse buiten beschouwing gelaten.

Bij de soorten die overwegend **overdag** actief zijn, is een forse afname te zien in aantallen slachtoffers bij de impact turbines na het zwart verven (Figuur 3.8). Daarentegen blijft het aantal slachtoffers bij de ongeverfde controle turbines min of meer gelijk. Dit kan een indicatie zijn van een positief effect van een zwarte wiek, hoewel het aantal slachtoffers bij de impact turbines nog steeds iets hoger ligt dan bij de controle turbines. Uit de statistische toetsing blijkt dat er geen sprake is van een statistisch significant effect van de zwarte wiek voor deze groep vogels (BA*CI effect: $X^2 = 0,97$; $p = 0,324$; zie ook Figuur BV.11 en Tabel BV.11 in Bijlage V).

Hoewel de resultaten voor overdag actieve vogels op een positief effect van de zwarte wiek lijken te wijzen (Figuur 3.8), is hier de kanttekening van belang dat dit patroon voor een groot deel wordt gestuurd door de spreeuw. Zoals eerder vermeld in paragraaf 3.3 kan de slaapplek van spreeuwen tijdens de nulmeting bij de impact turbine 20 tot een vertekend beeld leiden. Wanneer het model echter voor dagactieve soorten zonder spreeuwen wordt getest (61 vondsten in plaats van 102), is er nog steeds een positief effect van de zwarte wiek zichtbaar. Dit effect is nog steeds niet significant (BA*CI effect: $X^2 = 2,3$; $p = 0,128$; zie ook Figuur BV.12 en Tabel BV.12 in Bijlage V).

Bij de soorten die vooral **'s nachts** veel vliegbewegingen vertonen is het aantal vondsten in het eerste jaar van de effectmeting sterk toegenomen bij de impact turbines en afgenomen bij de controle turbines. In het tweede jaar van de effectmeting is de situatie weer vergelijkbaar met die tijdens de nulmeting. Voor 's nachts actieve vogels wijzen de resultaten dus niet op een positief effect van de zwarte wiek. Mogelijk komt dit doordat het contrast tussen de zwart geverfde en ongeverfde rotorbladen in de nacht minder goed zichtbaar is. Uit de statistische toetsing komt ook voor deze groep soorten geen statistisch significant effect (BA*CI effect: $X^2 = 2,08$; $p = 0,148$; zie ook Figuur BV.13 en Tabel BV.13 in Bijlage V).



Figuur 3.8 Gecorrigeerd aantal vondsten per behandeling (wit=controle, zwart=impact) voor vogels die voornamelijk dagactief of nachtactief zijn, voor de drie onderzoeks jaren.



4 Discussie

Dit onderzoek presenteert de resultaten van het Nederlandse onderzoek naar de effecten van het zwart verven van één wiek in het verminderen van het aantal vogelslachtoffers bij windturbines. Het is pas het tweede veldexperiment naar deze mitigerende maatregel en volgt op het onderzoek van May *et al.* (2020) op het eiland Smøla in Noorwegen. In dat onderzoek is een afname in het aantal vogelslachtoffers van ruim 70% gevonden na het zwart verven van één wiek. Het onderzoek in de Eemshaven had als doel om meer inzicht te krijgen in de effectiviteit van deze mitigerende maatregel op een andere locatie, voor andere soorten en met een meer omvangrijke onderzoeksopzet dan het onderzoek in Noorwegen.

4.1 Effectiviteit van de zwarte wiek

Alle vogelsoorten samen

In het 'zwarte wiek' onderzoek in de Eemshaven is **geen statistisch significante afname** gevonden van het aantal aanvaringsslachtoffers na het zwart verven van één wiek. Dit geldt voor de analyses waarin alle aanvaringsslachtoffers samen zijn onderzocht, dus zonder onderscheid naar soort(groep) en ook voor alle analyses voor afzonderlijke soortgroepen. Kortom, de (statistisch significante) afname in het aantal aanvaringsslachtoffers bij windturbines met een zwarte wiek, zoals gerapporteerd door May *et al.* (2020), is in het onderzoek in de Eemshaven niet aangetoond.

De soortgroepen waarvan de meeste slachtoffers zijn gevonden en waarvoor we dus het beste in staat zijn om de effectiviteit van de zwarte wiek te onderzoeken, zijn meeuwen en zangvogels. Dit zijn ook soortgroepen waarvan bekend is dat ze gevoelig zijn voor aanvaringen met windturbines (Langgemach & Durr 2023). In voorliggend onderzoek zijn bijvoorbeeld relatief veel zilvermeeuwen, kokmeeuwen en spreeuwen gevonden.

Zangvogels

Voor de zangvogels is net als voor alle vogelsoorten samen geen statistisch significante afname gevonden van het aantal aanvaringsslachtoffers na het zwart verven van één wiek. Het is van belang op te merken dat de groep zangvogels veel verschillende soorten omvat met ieder een eigen gedrag, wat tot mogelijke verschillen kan leiden in effectiviteit van de zwarte wiek. Binnen de zangvogels is bijvoorbeeld een verdeling te maken tussen soorten die **dagactief** en **nachtactief** zijn. Aangezien de zwarte wiek erop gericht is om de draaiende wieken meer zichtbaar te maken, is de verwachting dat de maatregel eerder een positief effect heeft op dagactieve soorten dan op nachtactieve soorten. Dit is in de analyse nader onderzocht. Daaruit kwam een positief effect naar voren voor de dagactieve soorten en niet voor nachtactieve soorten, maar het effect van een zwarte wiek was voor beide groepen statistisch niet significant. Ook is het belangrijk op te merken dat het positieve effect voor de dagactieve vogels voor een deel gestuurd wordt door de aanwezigheid van een spreekwenslaapplaats nabij een windturbine tijdens de nulmeting. Deze slaapplaats was niet meer in gebruik tijdens de twee jaar van de effectmeting (zie paragraaf 3.3 en 4.3), wat de interpretatie van deze resultaten lastig maakt. Voor de nachtactieve vogels is



de Eemshaven een moeilijke plek om het daadwerkelijke effect van een zwarte wiek goed te toetsen. Veel van de bedrijven en energiecentrales in de Eemshaven zijn 's nachts namelijk sterk verlicht met diverse kleuren lampen, waardoor het in de omgeving van Windpark Eemshaven nooit echt donker wordt. In hoeverre een zwarte wiek onder echt donkere omstandigheden nog waargenomen wordt door langsvliegende vogels is in de Eemshaven daardoor niet vast te stellen.

Meeuwen

Voor de meeuwen is er sprake van een duidelijke trend in de richting van een positief effect van de zwarte wiek, maar dit effect is statistisch niet significant. Het positieve effect is alleen in het tweede jaar van de effectmeting aangetoond en wordt hoofdzakelijk gestuurd door een afname van het aantal slachtoffers onder de grote meeuwen (met name de zilvermeeuw). In het eerste jaar van de effectmeting is geen afname van de sterfte van meeuwen bij de windturbines met een zwarte wiek vastgesteld en voor de kleine soorten meeuwen geldt dit ook voor het tweede jaar van de effectmeting.

4.2 Vergelijking met het onderzoek op Smøla

Het onderzoek in de Eemshaven kende weliswaar een aanzienlijk kortere looptijd dan het onderzoek van May *et al.* (2020), maar omvatte wel meer windturbines en ruim tien keer zo veel slachtoffers. Daarmee hebben de resultaten van het voorliggende onderzoek voldoende (statistische) zeggingskracht.

Zowel in het onderzoek op Smøla als in de Eemshaven zijn veel slachtoffers van verschillende soorten zangvogels aangetroffen. Ook steltlopers zijn in beide onderzoeken relatief vaak als slachtoffer gevonden. In de Eemshaven zijn daarentegen (ook in verhouding) veel meer meeuwen als slachtoffer gevonden dan op Smøla, terwijl de roofvogels (met name de zeearend, maar deze is alleen gevonden tijdens de nulmeting op Smøla) een veel groter aandeel van de slachtoffers uitmaakten op Smøla dan in de Eemshaven. Aangezien meeuwen hoofdzakelijk overdag (in het licht) vliegen werd op voorhand verwacht dat de zwarte wiek voor deze soortgroep effectief zou zijn. Dat is helaas niet onomstotelijk bewezen (zie §4.1) en mogelijk speelt het vlieggedrag en de koppositie hier een rol (zie §4.4). Ook is van belang dat de locaties Smøla en Eemshaven wezenlijk van elkaar verschillen met betrekking tot het soortenspectrum, de aantallen vogels die van het gebied gebruik maken, en de hoeveelheid vliegbewegingen. Dit wordt gereflecteerd in de aantallen slachtoffers en mogelijk ook indirect in de uitkomsten van het onderzoek.

Een aanvullende mogelijke verklaring voor het verschil tussen beide onderzoeken in de geconstateerde effectiviteit van de zwarte wiek, is het grote verschil in de omvang van de dataset. Zoals hiervoor al aangegeven zijn in de Eemshaven in drie jaar tijd meer dan tien keer zoveel aanvaringsslachtoffers gevonden dan op Smøla in meer dan tien jaar tijd. Door de beperkte hoeveelheid slachtoffers in het onderzoek op Smøla, heeft één slachtoffer meer of minder onder een windturbine met een zwarte wiek een grote invloed op de uiteindelijke geconstateerde effectiviteit (AWWI 2021). Door de grotere hoeveelheid onderzochte windturbines en de aanzienlijk grotere hoeveelheid slachtoffers is de dataset uit het onderzoek in de Eemshaven veel robuuster.



Een andere mogelijke verklaring voor het verschil in effectiviteit van de zwarte wiek tussen beide studies betreft het verschil in contrast van de windturbines en de zwarte wiek met de achtergrond. Voor de wat hoger vliegende vogels is het landschap op Smøla een veel rustigere achtergrond voor een windturbine dan de Eemshaven. Een zwarte wiek zal naar verwachting veel minder contrasteren met de bewegende en kleurrijke achtergrond van de Eemshaven dan met de relatief monotone achtergrond van het landschap op Smøla. Mogelijk dat het effect van de enkele zwarte wiek op Smøla daardoor aanzienlijk groter is dan in de Eemshaven.

4.3 Factoren die het onderzoek hebben beïnvloed

Variatie van het aantal slachtoffers in de tijd

Het onderzoek is uitgevoerd tijdens drie onderzoeksjaren; één jaar nulmeting en twee jaar effectmeting. Deze relatief beperkte doorlooptijd heeft mogelijk invloed op de resultaten. Met name omdat sprake is van aanzienlijke variatie van jaar tot jaar in aantallen en soorten slachtoffers. Er is slechts één jaar nulmeting uitgevoerd, en gebeurtenissen en toevalsvariatie in een bepaald jaar kunnen een relatief groot effect hebben op de uitkomst van het onderzoek. Dit speelt temeer als ze wel plaatsvinden bij een windturbine met een zwarte wiek en niet bij een ongeverfde controle windturbine of andersom. Een voorbeeld daarvan is de slaapplaats van spreeuwen in de nulmeting onder één van de windturbines met een zwarte wiek. Dit leidde tot veel vliegbewegingen en slachtoffers van spreeuwen tijdens de nulmeting bij deze windturbine. Tijdens de twee jaar van de effectmeting sliepen de spreeuwen niet langer op deze locatie. Hierdoor was de vliegactiviteit van spreeuwen bij deze windturbine aanzienlijk lager en zijn veel minder slachtoffers onder deze windturbine aangetroffen. Het verschil in aantal slachtoffers tussen de nulmeting en de effectmeting is voor deze windturbine daardoor niet alleen het gevolg van het zwart verven van één wiek, maar ook van de tussentijdse verplaatsing van de spreeuwenslaapplaats.

Variatie van het aantal slachtoffers in de ruimte

Naast de variatie in de tijd blijkt ook sprake te zijn van aanzienlijke variatie in de ruimte. Lokale factoren die voor vogels interessant zijn of die juist een afschrikwekkende werking hebben kunnen leiden tot relevante verschillen in vliegactiviteit en/of vlieggedrag op kleine schaal. Dit kan met name in een dynamische omgeving als de Eemshaven een relevante factor zijn. Uit de resultaten van het slachtofferonderzoek blijkt dat er ook binnen de twee afzonderlijke groepen windturbines (met of zonder zwarte wiek) sprake is van grote variatie in het aantal slachtoffers tussen individuele windturbines. Hierdoor is het niet eenvoudig om een eenduidig effect van de zwarte wiek aan te tonen.

De invloed van vogelgriep op de resultaten

Ook de vogelgriep is een voorbeeld van een gebeurtenis die impact heeft op het onderzoek. Er zijn in de loop van het onderzoek meerdere (vermoedelijke) vogelgriepslachtoffers gevonden. Wanneer deze met zekerheid niet te relateren waren aan een aanvaring met een windturbine, zijn deze niet meegenomen in de analyse. Zo is geprobeerd de data zo 'schoon' mogelijk te houden, maar het is uiteraard niet uit te sluiten dat vogelgriep enige impact heeft gehad op de uitkomsten. Ter illustratie onderstaand



voorbeeld (in het tekstkader) van het voorkomen van vogelgriep in (de omgeving van de) Eemshaven en impact op slachtofferonderzoek. De aanname is echter dat deze invloed op de windturbines met en zonder zwarte wiek even groot is geweest en dus geen/minimaal effect heeft gehad op de toetsing van het effect van de zwarte wiek.

In ander onderzoek in de Eemshaven zijn in 2023 vijf gevonden vogels (waaronder slachtoffers onder turbines en hoogspanningsdraden) door de WUR geanalyseerd op doodsoorzaak. Bij vier vogels (drie kokmeeuwen en een waterral) werd een fysiek trauma als doodsoorzaak vastgesteld. Slechts één van de kokmeeuwen bleek daarnaast besmet te zijn met het hoogpathogene vogelgriepvirus H5N1. De vijfde vogel, een aalscholver, stierf als gevolg van voedselgebrek, mogelijk verergerd door een ernstige worminfectie.

4.4 De invloed van vlieggedrag

In het ZWEMT-project is in Windpark Eemshaven onderzocht of er sprake is van een verschil in vlieggedrag van vogels bij windturbines met en zonder zwarte wiek (zie deel 2 van dit rapport). Helaas is in dit onderzoek geen duidelijk verschil in vlieggedrag tussen windturbines met en zonder zwarte wiek geconstateerd.

Een belangrijk aspect van het vlieggedrag van vogels rond windturbines is uitwijking. Van meeuwen in offshore windparken is bijvoorbeeld bekend dat ze zelden het gehele windpark vermijden (Leemans *et al.* 2022 & 2023; Vanermen *et al.* 2019 & 2023), maar juist op het laatste moment uitwijken voor een individuele windturbine (Leemans *et al.* 2023; Tjørnlov *et al.* 2023). Het risico is daarom groter dat meeuwen soms te laat reageren.

Ook de mate waarin vogels in vlucht interactie hebben met soortgenoten speelt een rol van betekenis. Wanneer vogels in vlucht met elkaar bezig zijn wordt minder aandacht gevestigd op de omgeving. Vogelsoorten die dit gedrag vaak vertonen hebben daardoor een hoger aanvaringsrisico.

Een andere mogelijke factor van belang is de positie waarin meeuwen (en andere soorten) hun kop houden tijdens foerageervluchten (Linder *et al.* 2022). In een recente paper van Cantlay *et al.* (2024) wordt aangetoond dat wanneer meeuwen hun kop onder een hoek van minimaal 45° naar beneden houden, zij een blinde vlek hebben in de richting waarin zij vliegen. Dit betekent dat foeragerende meeuwen die in vlucht bezig zijn de grond of het wateroppervlak af te speuren naar voedsel, niet in staat zijn om een turbine die in de vliegrichting staat op tijd waar te nemen. Het is niet bekend in hoeverre dit fenomeen een factor van belang is in het aantal aanvaringen onder meeuwen in de Eemshaven. Aanvullend veldonderzoek, waarbij op basis van foto's of veldobservaties van vliegende meeuwen nabij de windturbines de kopposities worden geregistreerd, zou hier meer duidelijkheid over kunnen geven. Als het gedrag inderdaad een sturende factor is en de meeuwen überhaupt de turbines niet op tijd opmerken, zal een markering op de turbinebladen waarschijnlijk niet veel verschil maken.



4.5 Contrast is belangrijker dan tegengaan van *motion smear*

Motion smear

Het achterliggende idee bij zowel deze studie als die van May *et al.* (2020) is dat de zwarte wiek het verschijnsel bewegingsonscherpte, oftewel '*motion smear*', zou verminderen. Dit is gebaseerd op de laboratoriumexperimenten van Hodos (2003). In theorie kunnen de snel draaiende wieken als het ware 'samenvloeien' tot een wazige schijf die door de vogels mogelijk niet als obstakel wordt gezien. Het is echter de vraag of *motion smear* daadwerkelijk een factor van betekenis is bij grotere windturbines. De wieken van moderne windturbines draaien aanzienlijk minder snel dan die van de kleinere windturbines die 25 jaar geleden werden gebouwd. Er is daarom niet of nauwelijks sprake van *motion smear* bij moderne windturbines.

De invloed van verhoogd contrast

In een lopend onderzoek in Zuid-Afrika hebben windturbines twee rode vlakken op één blad gekregen. De eerste resultaten lijken een groot effect aan te tonen, met 91% minder slachtoffers dan verwacht op basis van de gemiddelde aanvaringsrisico's (Simmons & Martins 2024). Aangezien vogels de kleur rood, zeker in slechte lichtomstandigheden, niet goed kunnen zien (Martin & Banks 2023), suggereren deze resultaten dat het vooral het contrast tussen de rode en de witte vlakken is wat voor een verhoogde zichtbaarheid zorgt. Dit wordt bevestigd door de recente experimenten van professor Graham Taylor (Universiteit van Oxford) die aan lijken te tonen dat contrast belangrijk is. Ook de kleur rood kan daarbij goed werken (G. Taylor pers. comm.). Vogels zijn wel goed in staat om blauw en groen te zien, dus zolang rode vlakken (die geen blauw en groen reflecteren) naast witte vlakken (die wel blauw en groen reflecteren) worden toegepast, is voor vogels toch sprake van een contrastrijk patroon. Tenslotte wijzen ook oudere experimenten door Mclsaac (2001) eerder op een effect van contrast in plaats van *motion smear*.

Het verhogen van de zichtbaarheid door het verhogen van het contrast

Het belang van een groot contrast voor het waarnemen van een (langzaam) draaiende rotor van een windturbine is ook aangetoond door Blary *et al.* (2023). Bij een lager contrast konden vogels langzaam draaiende rotoren minder goed onderscheiden van stilstaande rotoren. Vogels hebben in vergelijking met veel andere gewervelde dieren een lage gevoeligheid voor contrast. Het verhogen van het contrast is daarom een veelbelovende mitigerende maatregel, ook al bestaat er een grote variatie in gevoeligheid tussen vogelsoorten (Blary *et al.* 2024).

Er zijn twee manieren om een windturbine door middel van contrast beter zichtbaar te maken. De eerste manier is het verhogen van het 'interne contrast' binnen de windturbine, bijvoorbeeld door zowel de wieken als de mast van alternerende zwarte en witte blokken te voorzien (Martin & Banks 2023). De andere manier is het verhogen van het contrast van de rotor met de achtergrond waartegen de vogel de wieken ziet. De achtergrond (lucht, water of grond) en de omstandigheden (veel beweging in de achtergrond, licht of donker, mistig etc.) zijn daarbij van groot belang voor de mate waarin de wieken contrasteren.

Het idee achter de enkele zwarte wiek is vooral gebaseerd op het tegengaan van *motion smear* en niet het optimaliseren van contrast. Om dit laatste te bereiken is mogelijk een



patroon effectiever dan een hele wiek in een afwijkende kleur. Daarnaast verhoogt het aanbrengen van een patroon op alle bladen, en mogelijk ook op de mast, het contrast nog verder. Daarbij is wel van belang dat hoe uitbundiger het patroon op de windturbine, hoe lastiger dit geaccepteerd zal worden door de omgeving. Met name voor windturbines op land is dit een belangrijk aandachtspunt. Daarnaast zijn ook de regels die vanuit de luchtvaart gelden voor de kleuren die een windturbine mag hebben mogelijk een belemmering voor het aanbrengen van bepaalde kleuren en/of patronen.

4.6 Andere lopende onderzoeken

Na het onderzoek van May *et al.* (2020) is voorliggend onderzoek de tweede veldstudie naar de effectiviteit van één zwarte wiek om vogelsterfte bij windturbines te beperken. In het windpark op Smøla zijn ook in recente jaren geen slachtoffers van de zeearend meer aangetroffen onder de windturbines die zijn uitgerust met één zwarte wiek (Stokke *et al.* 2024). Dit is reden voor de onderzoekers om te adviseren om meer windturbines in dit windpark te voorzien van een zwartgeverfd rotorblad. Inmiddels is er in Amerika ook een groot onderzoek gestart waarin 36 windturbines zijn uitgerust met één zwarte wiek en minstens evenveel niet geverfde controle turbines worden meegenomen. Het onderzoek is in 2024 gestart en zal 3-5 jaar gaan duren. In dit windpark is met name de sterfte van grote roofvogels (arenden) van belang. Verder zijn zowel in Italië als in Spanje in een aantal windparken de windturbines voorzien van één zwarte wiek. Het is echter nog niet bekend of in deze windparken monitoring plaatsvindt om de effectiviteit van deze maatregel vast te stellen.

Tenslotte vindt in Zuid-Afrika onderzoek plaats naar het effect van één deels roodgeverfde wiek (twee rode vlakken op één wiek). De resultaten tot nu toe zijn veelbelovend en laten een duidelijke reductie van de sterfte van de betrokken soorten (waaronder veel roofvogels) zien bij de windturbines met het geverfde rotorblad (Simmons & Martins 2024). Het eindrapport van dit onderzoek wordt in het voorjaar van 2025 verwacht.



5 Conclusie en aanbevelingen

In het 'zwarte wiek' onderzoek in de Eemshaven is geen statistisch significante afname gevonden van het aantal aanvaringsslachtoffers na het zwart verven van één wiek. Mogelijk komt dit doordat één enkele zwarte wiek het contrast met de (drukke) achtergrond in de Eemshaven niet voldoende vergroot. Dat de zwarte wiek in de Eemshaven niet heeft gewerkt, wil niet zeggen dat het beter zichtbaar maken van de rotorbladen in zijn algemeenheid geen goede mitigerende maatregel is om vogelsterfte in windparken te beperken. Op Smøla heeft de zwarte wiek namelijk wel goed gewerkt en in Zuid-Afrika worden positieve resultaten behaald met een rode bandering op één van de wieken. De resultaten laten wel zien dat specifiek de enkele zwarte wiek niet voor alle locaties de juiste manier is om vogelsterfte te beperken. Wij adviseren daarom om in vervolgonderzoek aandacht te besteden aan het achterliggende mechanisme. Hieronder worden een paar eerste ideeën geschetst. Om het beter zichtbaar maken van windturbines voor vogels succesvol toe te passen als mitigerende maatregel moeten we begrijpen welke patronen en/of kleuren onder welke omstandigheden effectief zijn voor welke soort(groep)en.

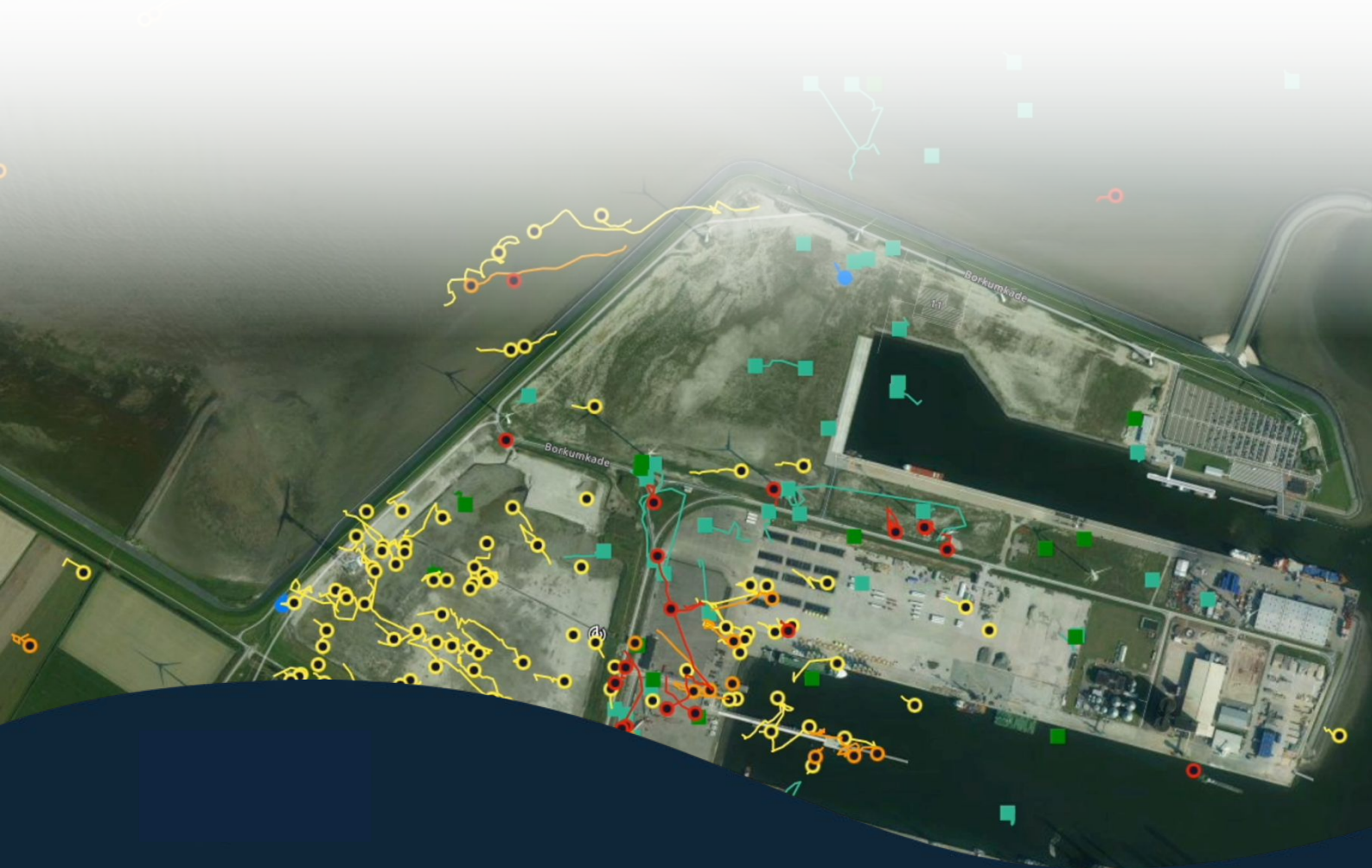
In een eventuele vervolgstudie zou het goed zijn om te onderzoeken of de vogels, en meer in het bijzonder meeuwen, de windturbines überhaupt zien. Alleen wanneer dat het geval is heeft het zin om patronen en/of kleuren op de windturbines aan te brengen om ze beter zichtbaar te maken. Daarnaast adviseren wij om meer aandacht te besteden aan mogelijke verschillen in het vlieggedrag van verschillende soorten vogels bij windturbines met en zonder zwarte wiek. Dit kan meer inzicht geven in de manier waarop de zwarte wiek al dan niet werkt. Ook kan dit voor soorten die niet of nauwelijks als slachtoffer zijn aangetroffen inzicht geven in de mogelijke effectiviteit van de zwarte wiek.

Tenslotte is het interessant om een ander patroon en/of kleur te testen, waarmee niet het voorkomen van *motion smear* het doel is, maar het verhogen van het contrast van de windturbine met de omgeving. Er lopen inmiddels meer veldonderzoeken naar de effectiviteit van één zwarte wiek of naar de effectiviteit van andere kleuren en/of patronen op windturbines om vogelsterfte te beperken. Voordat in de Eemshaven een dergelijke vervolgstudie wordt gestart, adviseren wij om op basis van deze andere lopende studies en/of theoretische studies consensus te bereiken over het meest geschikte patroon. Daarbij helpt het als dit patroon ook in de praktijk breed kan worden toegepast.

Het heeft duidelijk meerwaarde om de resultaten van alle lopende onderzoeken bij elkaar te brengen. Hiermee kan een conceptueel kader worden ontwikkeld om de zichtbaarheid van windturbines voor vogels te vergroten en het aantal aanvaringen te beperken.

DEEL 2

Onderzoek 'ZWEMT'





6 Inleiding ZWEMT onderzoek

Het ZWEMT-project (Zwarte Wiek Expansie van Monitoring door Technologie) betreft een uitbreiding van het zwarte wiek project, waarin met behulp van verschillende sensoren metingen zijn verricht om een aantal aanvullende onderzoeksvragen te beantwoorden. TNO is de projectleider van het ZWEMT-project. Daarnaast zijn RWE, Rijkswaterstaat en de Projectgroep Zwarte Wiek deelnemers in het project.

Waardenburg Ecology en Altenburg & Wymenga zijn verantwoordelijk voor de ecologische interpretatie van de verzamelde gegevens. In de volgende hoofdstukken worden de resultaten hiervan gepresenteerd. TNO heeft daarnaast verschillende meer technische analyses uitgevoerd die betrekking hebben op de installatie, werking en instellingen van de verschillende toegepaste sensoren. De resultaten van deze technische analyses door TNO worden in een afzonderlijk rapport gepresenteerd.

In de volgende hoofdstukken komen de volgende vragen aan bod:

1. Is er sprake van een verschil in vlieggedrag van vogels nabij windturbines met en zonder zwarte wiek?
2. Wat is de effectiviteit van het WT-Bird® systeem in vergelijking met het reguliere slachtofferonderzoek om de mortaliteit van vogels bij windturbines te monitoren?
3. Op welk moment van de dag en onder welke omstandigheden worden vogels slachtoffer van een aanvaring met een windturbine en verschilt dit tussen windturbines met en zonder zwarte wiek?

Onderzoeksvraag 1 wordt beantwoord met de gegevens die verzameld zijn met de Max® 3D vogelradars (zie paragraaf 6.1 en hoofdstuk 7). Onderzoeksvragen 2 en 3 worden beantwoord met de gegevens van de WT-Bird® systemen in combinatie met de resultaten van het slachtofferonderzoek in dezelfde periode (zie paragraaf 6.2 en hoofdstuk 8).

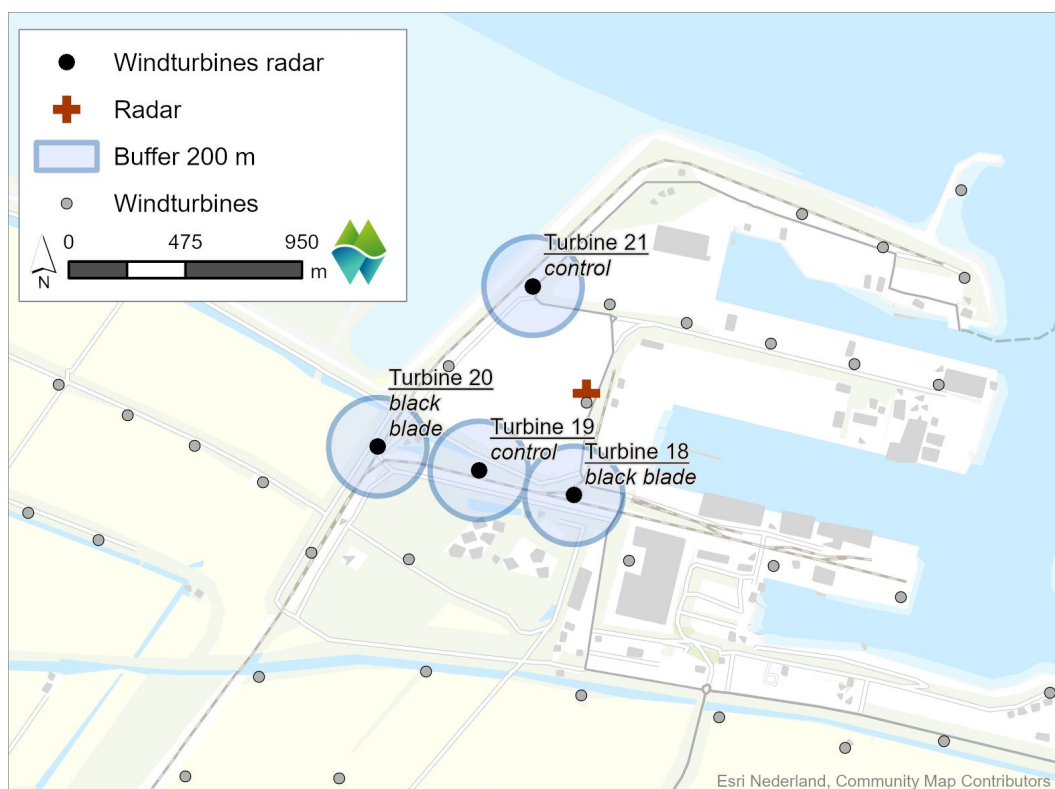
6.1 Onderzoek met vogelradar

In het ZWEMT-project is een Max® 3D vogelradar, ontwikkeld door Robin Radar Systems, geïnstalleerd in het westen van de Eemshaven (Figuur 6.1). **Het doel was om met de vogelradar meer inzicht te krijgen in het vlieggedrag van vogels nabij windturbines met en zonder zwarte wiek.**

Vier van de windturbines uit het zwarte wiek onderzoek stonden (in theorie) binnen het bereik van de radar: twee windturbines met een zwarte wiek (18 en 20) en twee controle turbines (19 en 21) (Figuur 6.2). In september en oktober 2023 heeft de Max® 3D vogelradar van Waardenburg Ecology in de Eemshaven gedraaid en met ingang van november 2023 is deze radar vervangen door een identieke Max® 3D vogelradar van TNO. Beide radars stonden op dezelfde locatie en waren op dezelfde manier geconfigureerd, waardoor de data als één geheel geanalyseerd kon worden. In hoofdstuk 7 worden de radargegevens van september 2023 tot en met mei 2024 geanalyseerd.



Figuur 6.1 Max® 3D vogelradar van Waardenburg Ecology in de Eemshaven. De windturbine met de zwarte wiek in de achtergrond is windturbine 20.



Figuur 6.2 Locatie van de Max® 3D vogelradar in Windpark Eemshaven en de vier windturbines uit het zwarte wiek onderzoek die binnen het bereik van de radar staan. Rond iedere windturbine is een cirkel met een straal van 200 meter weergegeven. Voor de analyse van het vlieggedrag van vogels rond turbines met en zonder zwarte wiek zijn alleen de (delen van) radartracks binnen deze cirkels gebruikt.



6.1.1 Validatie van de radargegevens in het veld

Voor een goede ecologische interpretatie van de enorme hoeveelheid radargegevens, is het nodig om de door de radar gemeten data te verifiëren met wat onderzoekers in het veld waarnemen. In de periode september 2023 tot en met mei 2024 zijn daarom tijdens 18 dagen met twee onderzoekers in het veld zoveel mogelijk vliegbewegingen van vogels gekoppeld aan de tracks die de radar maakt. In september en oktober 2023, de periode waarin de Max® 3D vogelradar van Waardenburg Ecology in de Eemshaven aanwezig was, zijn tien veldbezoeken uitgevoerd. In de periode november 2023 tot en met mei 2024, de periode waarin de Max® 3D vogelradar van TNO in de Eemshaven aanwezig was, zijn acht veldbezoeken uitgevoerd (Tabel 6.1).

Het doel van de observaties in het veld was tweeledig:

1. Valideren van zoveel mogelijk tracks ter ondersteuning van de ecologische interpretatie van de niet gevalideerde tracks.
2. Vaststellen van de detectiecapaciteit van de Max® 3D vogelradar(s) rond de vier windturbines die onderdeel uitmaken van het zwarte wiek onderzoek (zie Figuur 6.2).

De analyse van de radarbeelden richt zich met name op het vaststellen van mogelijke verschillen in vlieggedrag van vogels rond windturbines met en zonder zwarte wiek. Omdat op grotere afstand van een windturbine niet met voldoende zekerheid is vast te stellen of en door welke windturbine het vlieggedrag is beïnvloed, focust deze analyse zich op een gebied binnen 200 meter van elke windturbine (zie Figuur 6.2).

Om tracks in het veld te valideren is gebruik gemaakt van de Mobile Viewer app. Hiermee kon *live* worden meegekeken met de Max® 3D vogelradar en is informatie aan de tracks toegevoegd over de vogelsoort of het object en het aantal vogels dat bij de track hoorde. Voor waarnemingen van vogels die door de radar zijn gemist, is in de Mobile Viewer app een punt aangemaakt met gekoppelde informatie over soort en aantal. Van deze vogels is de locatie en de vlieghoogte ingemeten met een laser rangefinder. Alle informatie werd direct opgeslagen in de database van de radar.



Tabel 6.1 Overzicht van de uitgevoerde protocollen en weersomstandigheden tijdens de veldbezoeken

Datum	Turbines	Tracks valideren	FN-protocol	Start	Eind	Wind	Temp. °C	Bewolking	Zicht (km)	Neerslag	Neerslag %
05-Sep-23	20, 21	x	x	10:30	15:30	2-3 O	28	0/8	>15	geen	0
12-Sep-23	18, 19	x	x	09:00	14:00	2 ZW	19	6/8	1	mist	100
19-Sep-23	20, 21	x*	x	09:30	14:22	5 ZW	16	6/8	10	geen	0
28-Sep-23	18, 19		x**	09:10	13:50	5 ZW	19	7/8	10	geen	0
11-Oct-23***	20, 21	x	x	09:50	14:00	4 ZW	18	8/8	10	miezer	5
12-Oct-23	18, 19	x	x	08:58	13:09	2-3 ZW	19	2/8	10	geen	0
17-Oct-23	20, 21	x	x	10:15	14:40	1-2 Z	10-12	2-4/8	>15	geen	0
18-Oct-23	18, 19	x	x****	11:03	15:04	4 O	7	4/8	10	geen	0
25-Oct-23	20, 21	x	x	08:58	13:12	2 ZO	12	5/8	10	geen	0
25-Oct-23	18, 19	x	x	13:30	17:30	2 O	13	8/8	15	geen	0
13-Dec-23	18, 19, 20, 21	x		08:55	13:04	2 O	6	8/8	0.25	miezer/ mist	90
29-Jan-24	20, 21	x	x	12:38	16:49	2-3 ZW	5	8/8	3	geen	0
13-Feb-24	18, 19	x	x	09:05	13:11	4 ZW	5	7/8	5	geen	0
13-Mar-24	18, 19, 20, 21	x		09:10	13:15	3 ZO	8	8/8	0,5	mist/ motregen	100
28-Mar-24	20, 21	x	x	09:02	13:10	3-4 Z	10	5/8	10	geen	0
09-Apr-24	18, 19	x	x	09:09	13:15	3 ZW	13	8/8	10	geen	0
30-Apr-24	20, 21	x	x	09:10	12:05	3 ZO	16	8/8	10	regen	5
10-May-24	18, 19	x	x	08:00	12:10	2 N	10	8/8	3	geen	0

* Korter tracks gevalideerd, 1,5 uur per windturbine

** Langer FN-protocol uitgevoerd, 2 uur per windturbine

***Tijdens telling installatie WT-Bird® systeem windturbine 21

****FN-protocol alleen bij windturbine 19 uitgevoerd



Tijdens ieder bezoek zijn door twee waarnemers gedurende vier uur waarnemingen verzameld. Er zijn twee typen waarnemingen verricht:

1. Het **valideren** van zoveel mogelijk (als vogel geclassificeerde) tracks. Hierbij is ook aandacht besteed aan *false positive* tracks; als vogel geclassificeerde tracks die in werkelijkheid door iets anders dan een vogel veroorzaakt zijn.
2. Het uitvoeren van een *false negative protocol* (kortweg: FN-protocol) om de **detectiecapaciteit** per windturbine in beeld te brengen.

Ad 1. Voor de validatie van zoveel mogelijk tracks stonden de twee waarnemers elk bij een andere windturbine (een turbine met en een bijbehorende turbine zonder zwarte wiek). Tijdens twee uur zijn zoveel mogelijk (als vogel of groep geclassificeerde) tracks voorzien van informatie over soort/object en aantal. Iedere waarnemer beschikte daarvoor over een tablet met daarop de Mobile Viewer app. De focus van de waarnemer lag op tracks op rotorhoogte en binnen 200 meter van de windturbine.

Ad 2. Daarnaast is tijdens ieder bezoek bij dezelfde twee windturbines gedurende één uur het FN-protocol uitgevoerd door twee veldwaarnemers tezamen. De eerste waarnemer zocht hiertoe visueel naar vogels binnen 200 meter van de windturbine en bij voorkeur op rotorhoogte. Zodra een vogel werd waargenomen is de tweede waarnemer hierop attent gemaakt en is de positie en vlieghoogte van de vogel (door de eerste waarnemer) bepaald met behulp van een laser rangefinder. De tweede waarnemer bediende de tablet met daarop de Mobile Viewer app en keek of de radar een track genereerde die paste bij de vogel(s) die de eerste waarnemer volgde. Zo ja, dan voegde de tweede waarnemer de informatie ten aanzien van soort en aantal toe aan de track. Zo nee, dan werd een punt aangemaakt in de Mobile Viewer app met de informatie over soort, aantal, positie en vlieghoogte (gemeten met de laser rangefinder). Per 20 minuten keken de waarnemers naar een sector met een breedte van 120 graden azimut om zo gedurende het uur de hele cirkel rond te windturbine te bekijken. In de uiteindelijke analyse van de detectiecapaciteit is voor het uur waarin de observaties zijn uitgevoerd de verhouding tussen het aantal gedetecteerde (gevalideerde tracks) en niet gedetecteerde (puntobservaties) vogels berekend.

6.1.2 Selectie en opschonen van data voor de analyse van vlieggedrag

Radar activiteit en filtering

Het grootste deel van de maanden hebben beide radars vrijwel continu gedraaid en data verzameld. De radar van Waardenburg Ecology is eind augustus geplaatst en is eind oktober weggehaald om begin november vervangen te worden door de radar van TNO. De 'inactieve' uren eind oktober en begin november zijn het gevolg van de wisseling van radars. De Max-radar van Waardenburg Ecology is op 31 oktober verwijderd en die van TNO is op 2 november geïnstalleerd. In de maanden februari en mei heeft de radar van TNO enkele dagen stilgestaan als gevolg van technische storingen (Tabel 6.2).

In de database is van twee verschillende filters de activiteit per seconde weergegeven als de fractie van het radarbeeld waarin het filter actief is. Op de momenten dat de clutterfilters actief zijn, worden vaak ook tracks van vogels (ten dele) weggefilterd. Het is dan dus niet



duidelijk welk deel van de vliegbewegingen van vogels nog door de radar gedetecteerd wordt. Normaal gesproken hanteren wij een grenswaarde van 5% van het beeld waarin een filter actief is om een seconde aan te merken als ongeschikt voor data-analyse. Wanneer in een minuut 30 of meer seconden aan deze grenswaarde voldoen, wordt de minuut als ongeschikt voor data-analyse aangemerkt. Wanneer in een uur 10 of meer van deze minuten aanwezig zijn, wordt het uur verwijderd uit de data-analyse. Wanneer we deze selectieregels zouden toepassen op de gegevens van de Max® 3D vogelradars in Windpark Eemshaven, zou ongeveer de helft van de uren ongeschikt zijn voor data-analyse (Tabel 6.2). Omdat dit project gericht is op gedragsanalyses rondom turbines en niet op een nauwkeurige bepaling van de vliegintensiteit van vogels, is ervoor gekozen deze uren niet te verwijderen en de data van alle uren te gebruiken waarin de radar aan stond.

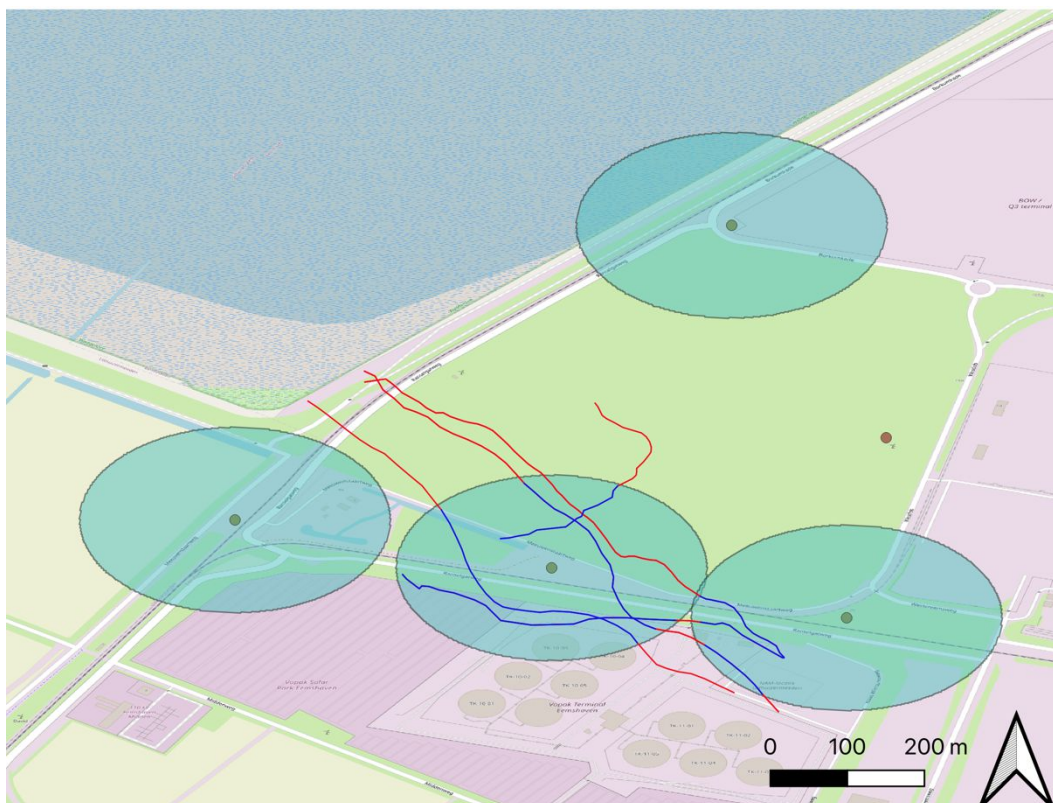
Tabel 6.2 Overzicht van de radar activiteit en filtering per maand, gedurende de hele studieperiode.

maand	jaar	uren tot.	uren Max (deels) uit	% Max (deels) uit	uren filter actief	% filter actief
september	2023	720	0	0	111	15
oktober	2023	744	24	3	367	49
november	2023	720	18	3	498	71
december	2023	744	2	0	413	56
januari	2024	744	0	0	324	44
februari	2024	696	42	6	415	60
maart	2024	744	7	1	218	29
april	2024	720	2	0	354	49
mei	2024	744	51	7	229	31

Ruimtelijke selectie van tracks

Voor het vergelijken van vlieggedrag van vogels nabij de turbines met en zonder een zwarte wiek zijn de tracks binnen een radius van 200 meter rondom de turbines gebruikt. Op deze manier is er (bijna) geen overlap tussen de gebieden rond de verschillende turbines en is de radius van de cirkel ongeveer vijf keer zo groot als de lengte van de wieken (Figuur 6.2). Eventuele reacties van vogels als gevolg van de aanwezigheid van een zwarte wiek die op grotere afstand plaatsvinden worden op deze manier gemist. Hoe groter echter de afstand tot een windturbine, hoe lastiger het is om het gedrag met zekerheid te koppelen aan één specifieke windturbine.

Doordat tracks wel eens door meerdere cirkels kruisen en/of weer terugkomen in een cirkel nadat ze deze verlaten hebben, is ervoor gekozen om alleen het deel van een track te selecteren dat als eerste een cirkel binnentreedt (Figuur 6.3). Over dit deel van de track zijn vervolgens kenmerken zoals gemiddelde hoogte, snelheid en gerichtheid berekend.

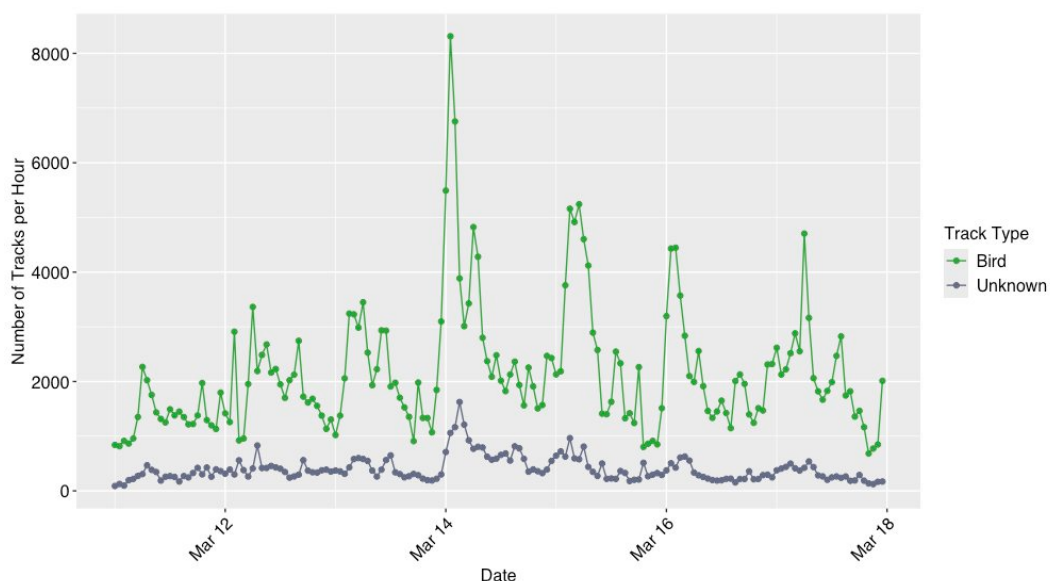


Figuur 6.3 Voorbeeld van hoe alleen het deel van tracks geselecteerd wordt wat in de cirkel komt. Het blauwe deel van de track wordt meegenomen in de analyse. Het rode deel niet (omdat het buiten de cirkel ligt of voor een tweede keer de cirkel binnenkomt). Bruine stip is de locatie van de radar.

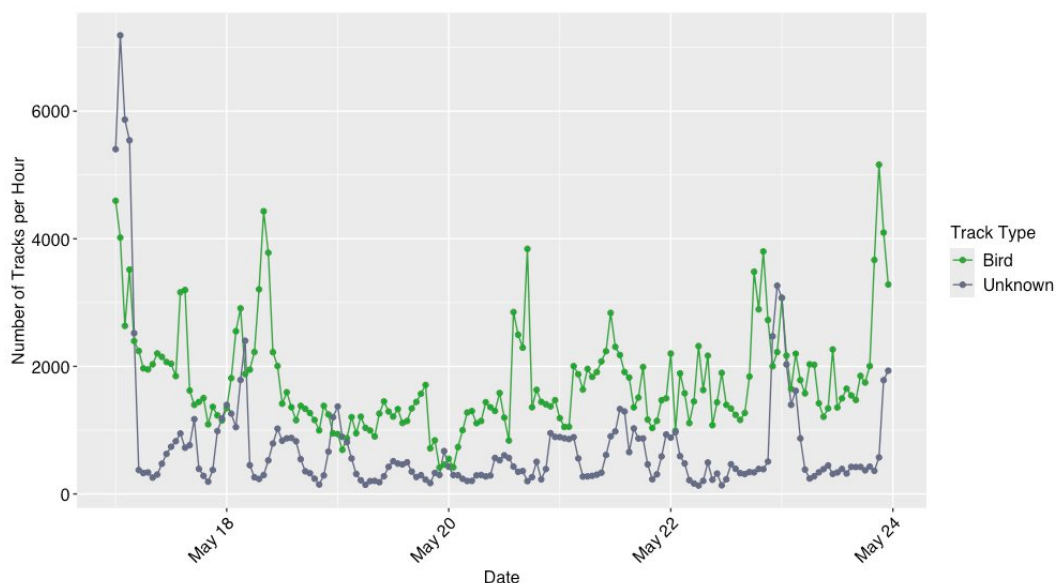
Unknown tracks

Voor de analyse van het vlieggedrag van vogels zijn de tracks geselecteerd die door de radar zijn geclassificeerd als kleine vogel, middelgrote vogel, grote vogel of groep vogels. Het komt echter ook voor dat de radar een track niet classificeert, omdat de eigenschappen van de track niet overeenkomen met die in de 'classificatietabel' van de radar. Tracks die 'door het classificatiescript heen vallen', oftewel tracks die eindigen zonder een duidelijke classificatie, komen als *unknown* track in de database. Tijdens de veldbezoeken is vastgesteld dat dit soms gebeurde met tracks van (individuele) kleine vogels.

Op basis van een verkennende analyse naar de aard van de *unknown* tracks is besloten om deze tracks niet mee te nemen in de analyses. De *unknown* tracks betreffen soms vogels, maar vaak ook niet (Figuur 6.4 en Figuur 6.5). Welke andere objecten, omstandigheden of organismen (bijvoorbeeld insecten) de *unknown* tracks veroorzaken is vooralsnog onduidelijk. Aangezien het in verhouding een groot aantal tracks betreft, worden mogelijk foutieve conclusies getrokken over het gedrag van vogels als de *unknown* tracks wel in de analyses worden meegenomen. Het is in deze studie van belang dat de tracks die in de analyses worden betrokken zo veel als mogelijk echt van vogels zijn. Verschillen in vlieggedrag bij turbines met en zonder zwarte wiek komen dan het best tot uiting.



Figuur 6.4 Als vogel of vogelgroep geclassificeerde tracks (groen) en unknown tracks (blauw) binnen 200 meter van windturbines 18, 19, 20 en 21. Deze gegevens beslaan enkele dagen en nachten in maart 2024 waarin sprake was van intensieve nachtelijke vogeltrek. Het aantal als vogel geclassificeerde tracks is in deze periode groter dan het aantal unknown tracks. De pieken in unknown tracks komen vrij goed overeen met pieken in vogeltracks. In deze periode zal vermoedelijk een groot deel van de unknown tracks kleine (individuele) vogels betreffen.



Figuur 6.5 Als vogel of vogelgroep geclassificeerde tracks (groen) en unknown tracks (blauw) binnen 200 meter van windturbines 18, 19, 20 en 21. Deze gegevens beslaan enkele dagen en nachten in mei 2024. De pieken in unknown tracks komen in deze periode niet goed overeen met pieken in vogeltracks. In deze periode zal vermoedelijk een groot deel van de unknown tracks geen vogels betreffen.

Clutterfilter

In deze studie is het van belang dat de tracks die in de analyses worden betrokken zo veel als mogelijk echt vogels betreffen. Op die manier onderzoeken we zo zuiver mogelijk het



vlieggedrag van vogels. Tijdens het veldwerk en ook in de verkennende analyses van de als vogel geclassificeerde radartracks, werd duidelijk dat de radar veel *false positive* vogeltracks heeft aangemaakt. Dit zijn tracks die als vogel zijn geclassificeerd, maar die veroorzaakt zijn door clutter (rotorbladen, voertuigen, gebouwen, schapen etc.). Om een betrouwbare dataset te maken voor data-analyse is daarom op basis van de gevalideerde tracks van vogels en clutter een *machine learning* algoritme getraind (zie Bijlage VI). Dit getrainde model is vervolgens gebruikt om de grote aantallen niet-gevalideerde tracks te classificeren. Met behulp van het model is alles bij elkaar meer dan de helft van de origineel als vogel geclassificeerde tracks aangemerkt als clutter en dus verwijderd uit de dataset voor de analyses van het vlieggedrag.

6.2 Aanvaringen meten met WT-Bird® systemen

Naast de metingen met de Max® 3D vogelradars zijn windturbines 20 (zwarte wiek) en 21 (controle) uitgerust met WT-Bird® systemen. Deze systemen bestaan uit trillingssensoren in de rotorbladen van de windturbine die in theorie in staat zijn om aanvaringen door vogels te meten. Tegelijkertijd worden vogels die in of nabij het rotorvlak vliegen automatisch geregistreerd door (thermische) camera's aan de voet van de windturbine. Met deze combinatie van sensoren kan het WT-Bird® systeem aanvaringen van vogels registreren en vastleggen op beeld.

Voor het ZWEMT-project zijn twee windturbines door TNO uitgerust met een WT-Bird® systeem; windturbine 21 zonder zwarte wiek en windturbine 20 met zwarte wiek. Het systeem in windturbine 21 is op 11 oktober 2023 geïnstalleerd en het systeem in windturbine 20 op 13 februari 2024. De camerabeelden uit de WT-Bird® systemen worden in principe alleen opgeslagen voor de momenten rond een registratie van een aanvaring door de trillingssensoren. Helaas konden de trillingssensoren niet op de gewenste (goede) plaats in de wieken gemonteerd worden. Daarnaast produceerden de (relatief oude) windturbines veel bijgeluiden. Dit alles ging (sterk) ten koste van de gevoeligheid van de sensoren. Daarom is eind februari 2024 besloten om alle camerabeelden op te slaan, om te onderzoeken welke informatie daar nog uitgehaald kon worden. Een deel van de resultaten van de aanvullende analyse van de camerabeelden is beknopt in hoofdstuk 8 gepresenteerd. TNO heeft daarnaast ook buiten de windturbine microfoons geïnstalleerd om te testen of deze, in aanvulling op de trillingssensoren en de camera's, vogel-aanvaringen auditief konden vastleggen. De analyse van de gegevens van de microfoons maakt geen onderdeel uit van dit rapport.



7 Onderzoek vlieggedrag met vogelradar

7.1 Resultaten gevalideerde tracks

In totaal zijn tijdens de 18 veldbezoeken 5.200 tracks gevalideerd, die samen 16.383 individuen of objecten representeren. Hiervan waren 4.757 tracks vogels en 443 tracks objecten die clutter veroorzaakten (Tabel 7.1).

Tabel 7.1 Overzicht van de tracks die van september 2023 tot en met mei 2024 zijn gevalideerd. Alleen de soorten en objecten waarvan tien of meer tracks zijn gevalideerd zijn weergegeven.

Soort/object	Aantal gevalideerde tracks	Aantal individuen	Soort/object	Aantal gevalideerde tracks	Aantal individuen
kokmeeuw	1.389	2.033	kramsvogel	35	299
stormmeeuw	538	704	vink	35	118
zilvermeeuw	370	437	goudplevier	32	1.114
kleine mantelm.	336	380	toendrarietgans	32	184
spreeuw	284	4832	wulp	31	41
boerenwaluw	126	186	grote mantelm.	26	27
torenvalk	117	118	duif <i>spec.</i>	25	35
meeuw <i>spec.</i>	115	846	koperwiek	23	59
zwarte kraai	109	120	houtduif	22	121
holenduif	106	721	kolgans	22	497
kauw	103	220	putter	20	101
zangvogel <i>spec.</i>	95	167	gans <i>spec.</i>	18	282
grauwe gans	88	383	brandgans	18	152
wilde eend	82	165	vogel <i>spec.</i>	14	215
kievit	80	242	scholekster	13	20
aalscholver	74	244	bergeend	12	13
graspieper	66	144	clutter <i>spec.</i>	372	372
bruine kiekendief	65	65	turbine	36	36
buizerd	54	63	schapen	20	20
veldleeuwerik	39	80	voertuigen	15	15

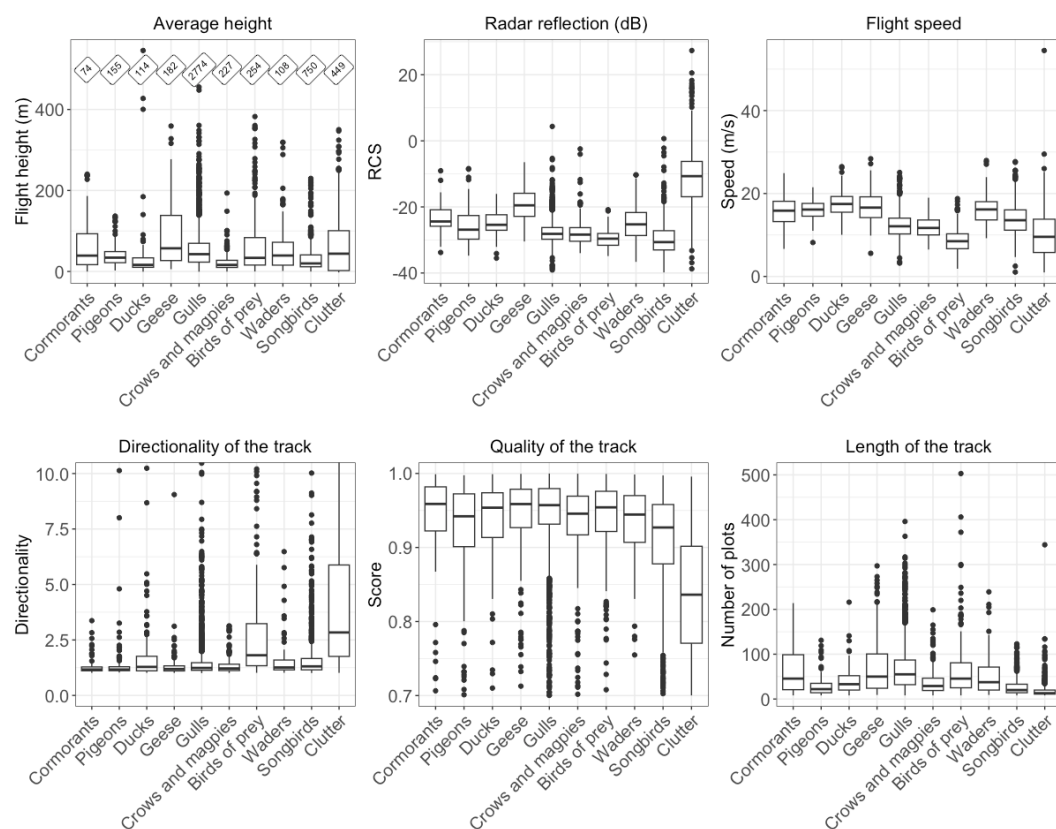
Verschillen in trackkarakteristieken tussen tracks van vogels en clutter

Voor verschillende soortgroepen vogels en voor clutter is een vergelijking gemaakt van een aantal trackkarakteristieken van de gevalideerde tracks (Figuur 7.1). De 'clutter-tracks' wijken duidelijk af van de tracks van de verschillende vogelsoorten voor wat betreft de

Radar Cross Section (RCS, een maat voor de grootte van de reflectie), de rechtlijnigheid (de mate waarin een track kronkelt of niet) en de 'kwaliteit' van de track (Figuur 7.1). Dit biedt een goede basis om met behulp van *machine learning* technieken een model te bouwen waarmee in de niet gevalideerde tracks *false positive* 'clutter-tracks' onderscheiden kunnen worden van de tracks van (groepen) vogels. Dit wordt verder uitgewerkt in Bijlage VI.

Verschillen in karakteristieken van tracks van verschillende vogelgroepen

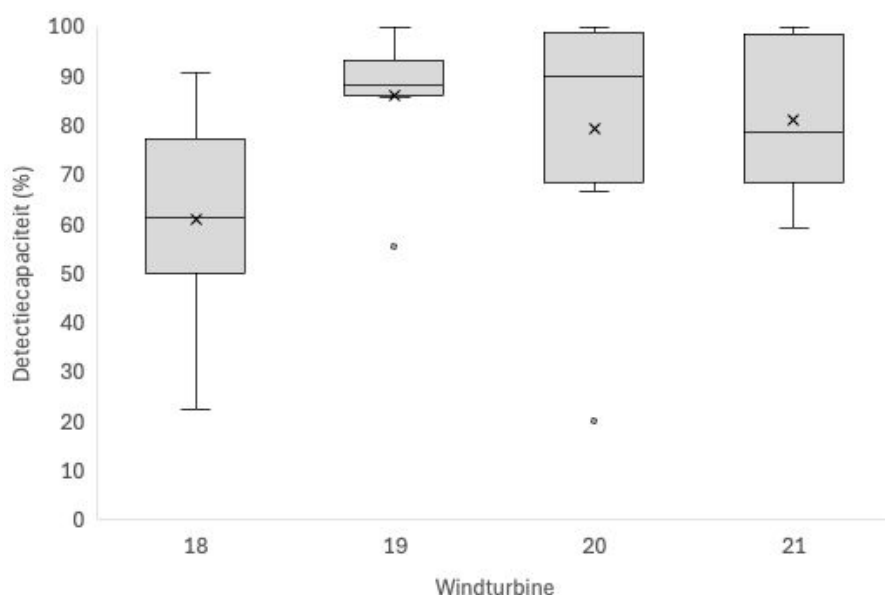
De verschillen in de karakteristieken van gevalideerde tracks van verschillende soortgroepen vogels zijn over het algemeen klein. In Figuur 7.1 valt op dat de gevalideerde tracks van **ganzen** gekenmerkt worden door een vrij grote reflectie (RCS) en dat in het algemeen de ganzen vrij hoog vlogen (weliswaar met veel variatie). De gevalideerde tracks van **roofvogels** zijn minder rechtlijnig dan die van andere vogelsoorten en over het algemeen hebben roofvogels een lage vliegsnelheid. Deze verschillen zijn echter klein en er is veel variatie tussen tracks binnen een soortgroep. De gevalideerde tracks kunnen daarom niet worden gebruikt om modellen te ontwikkelen waarmee in de niet gevalideerde tracks onderscheid tussen soortgroepen gemaakt kan worden (zie paragraaf 7.4).



Figuur 7.1 Boxplots van eigenschappen van gevalideerde tracks, voor verschillende soortgroepen vogels en voor clutter. Voor rechtlijnigheid van de track is het bovenste deel van de spreiding eraf geknipt. Voor eenden en kraaien en eksters zouden er nog enkele punten boven de 10 liggen, met een maximum van 60. Voor clutter zijn er nog enkele punten boven de 100, tot maximaal 350. Een 'directionality' met een waarde van 1 betreft een perfect rechte track.

7.2 Resultaten detectiecapaciteit per windturbine

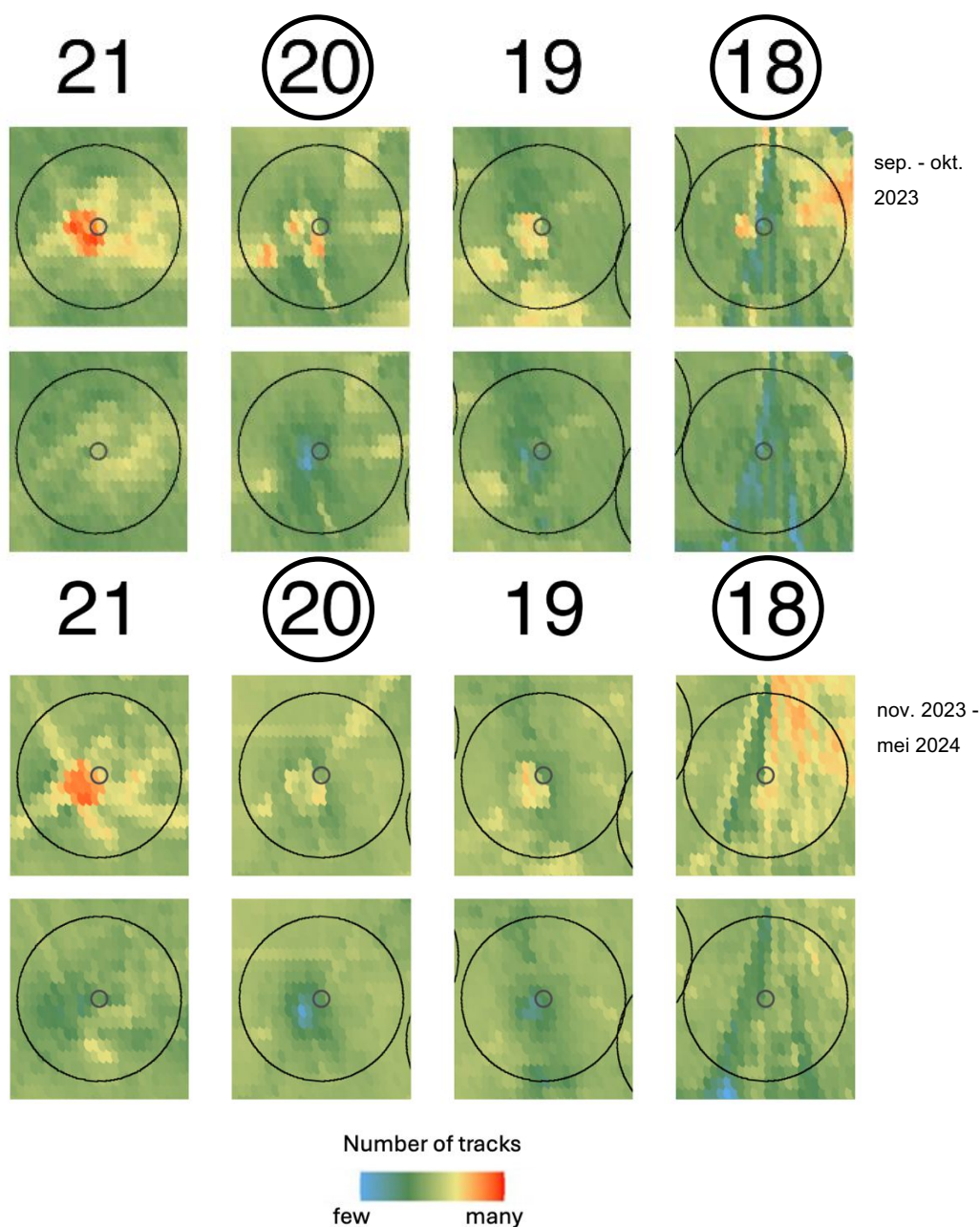
De detectiecapaciteit binnen 200 meter van een windturbine varieerde sterk tussen de windturbines en per dag. Op 12 september 2023 was het bijvoorbeeld erg mistig en was de detectiecapaciteit beperkt. Bij windturbine 18 was de detectiecapaciteit opvallend lager dan bij de andere drie windturbines (Figuur 7.2). Dit was het gevolg van een windturbine direct ten zuid(oost)en van de Max® 3D vogelradar die het zicht richting windturbine 18 blokkeerde. Dit is goed te zien in Figuur 7.3.



Figuur 7.2 Detectiecapaciteit per windturbine zoals vastgesteld in het veld. De middellijn van de boxplots geeft de mediaan weer, de kruisjes representeren het gemiddelde. Voor windturbine 18 is de detectiecapaciteit gebaseerd op zeven veldbezoeken. Bij de overige windturbines is tijdens acht veldbezoeken de detectiecapaciteit onderzocht.

In Figuur 7.3 is ook te zien dat ten oosten van windturbine 18 sprake is van veel clutter. Dit werd veroorzaakt door industriële activiteiten. Bij alle windturbines is met name ten zuidwesten van de windturbines veel clutter zichtbaar. Dit betrof voornamelijk *false positive* tracks die veroorzaakt werden door de draaiende rotorbladen. Met name bij windturbine 21 speelde dit een grote rol. Vergelijking van de bovenste met de onderste figuren laat zien dat het cluttermodel de dataset goed opschoont en zowel de 'windturbineclutter' als de clutter veroorzaakt door industriële activiteiten er grotendeels uit weet te halen. In de onderste figuren is zichtbaar dat het aantal vogeltracks dicht bij de windturbines lager is dan aan de randen van de cirkels als gevolg van detectieverlies door de (sterke) reflectie van de windturbine.

Omdat de radar van Waardenburg Ecology op een net iets andere locatie stond dan die van TNO (circa 10 meter verschil) is tussen beide meetperiodes een subtiel verschil waarneembaar in de locatie van bijvoorbeeld de 'blinde vlek' in de cirkel rond windturbine 18 (vergelijk Figuur 7.3 boven en onder). In de analyses is hiermee rekening gehouden.



Figuur 7.3

Ruimtelijke verdeling van de tracks op rotorhoogte rondom de onderzochte turbines (nummering boven de figuren) in de periodes september-oktober 2023 (Max® 3D vogelradar van Waardenburg Ecology; boven) en november 2023-mei 2024 (Max® 3D vogelradar van TNO; onder). Per periode geeft de bovenste rij figuren de door de radar als vogel geclassificeerde tracks weer vóórdat de tracks door het cluttermodel opnieuw zijn geclassificeerd. De onderste rij figuren geeft de situatie na het verwijderen van clutter met het cluttermodel weer. Voor de gehele periode is per week één dag aan data geselecteerd. Alleen de live als vogel (alle grootteklassen) of vogelgroep geclassificeerde tracks zijn meegenomen. Van de omcirkelde windturbines is één wiek zwart geverfd.



7.3 Resultaten analyse vlieggedrag

Het onderzoek met de Max® 3D vogelradar had tot doel om de volgende onderzoeksvraag te beantwoorden:

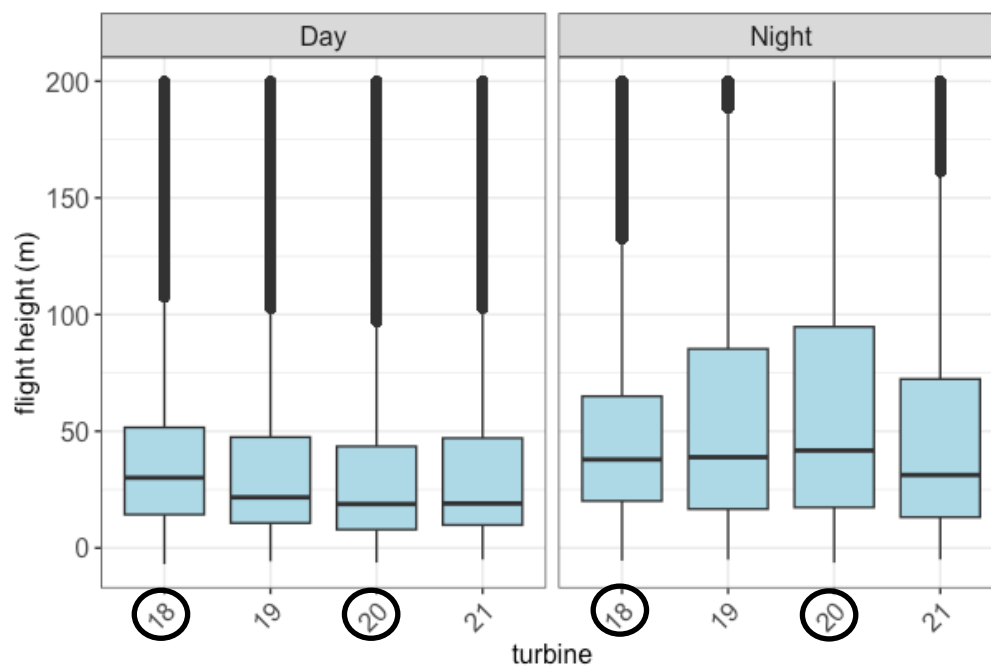
1. Is er sprake van een verschil in vlieggedrag van vogels nabij windturbines met en zonder zwarte wiek?

Onderstaande analyses zijn gedaan voor de delen van tracks binnen een straal van 200 m van een turbine. Deze tracks zijn vervolgens opgesplitst in dag en nacht, omdat de zwarte wiek naar verwachting overdag beter zichtbaar is dan 's nachts en daardoor mogelijk alleen voor soorten die overdag vliegen een effect heeft op het vlieggedrag. Turbines 18 en 20 hebben een zwarte wiek, 19 en 21 hebben dat niet.

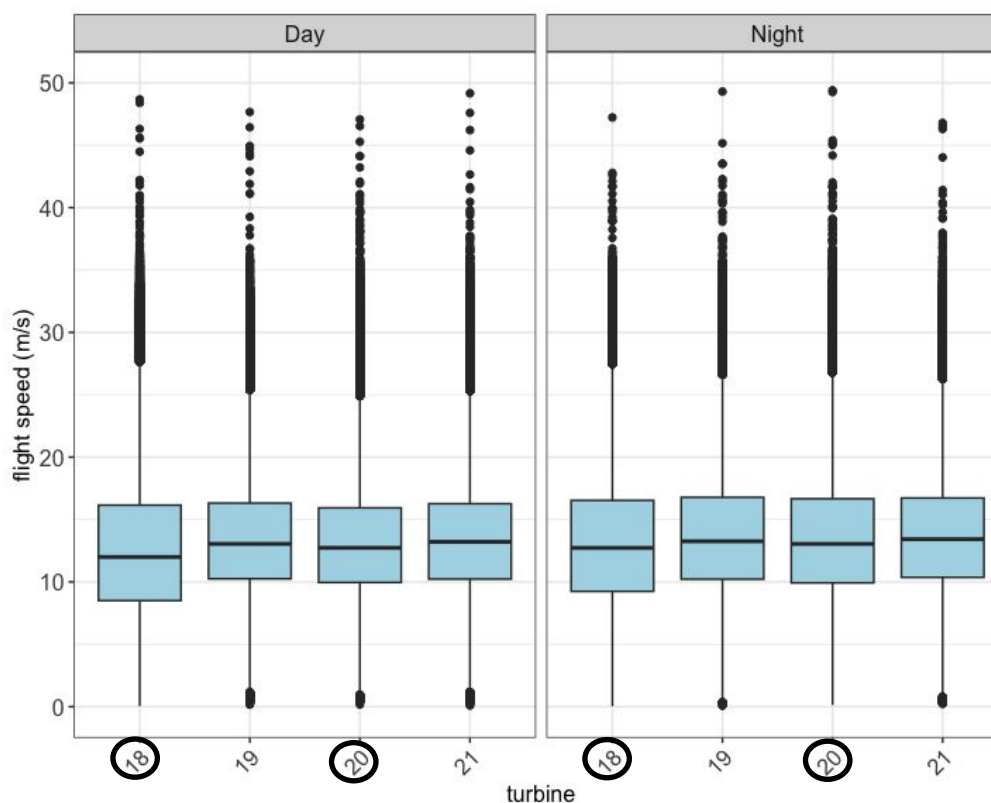
Uit Figuren 7.4 t/m 7.6 blijkt dat zowel de vlieghoogte, als de vliegsnelheid als de gerichtheid¹ van de vlucht bij alle vier de windturbines vrijwel gelijk was in de periode september 2023 t/m mei 2024. **Hieruit wordt geconcludeerd dat de aanwezigheid van de zwarte wiek geen effect heeft op deze aspecten in het vlieggedrag van vogels binnen 200 meter van de windturbines.** Dit geldt zowel voor de dag als voor de nacht. Als uitwijkreacties, die leiden tot veranderingen in vlieghoogte, vliegsnelheid of vliegrichting, heel dicht bij de windturbine hebben plaatsgevonden, is het mogelijk dat deze niet in deze analyse zijn opgepikt in verband met het detectieverlies van de radar op (zeer) korte afstand van de windturbines.

Voor wat betreft de **vlieghoogte** is ook onderzocht in hoeverre er mogelijk een verschil is in de variatie in vlieghoogte binnen de tracks tussen windturbines met en zonder zwarte wiek. Een plotselinge verticale uitwijking als reactie op de aanwezigheid van een windturbine leidt mogelijk tot een grote variatie in de vlieghoogte binnen de track. Er blijkt echter, net als voor de gemiddelde vlieghoogte, geen sprake van noemenswaardige verschillen in de standaarddeviatie van de vlieghoogte tussen de tracks binnen 200 meter van windturbines met en zonder zwarte wiek (Figuur 7.7). Uit de analyse van de vlieghoogte blijkt wel dat bij alle windturbines overdag een groter deel van de vogels onder rotorhoogte vliegt dan in de nacht (Figuur 7.8). Dit patroon wordt mogelijk veroorzaakt door de intensieve nachtelijke trek die in het voorjaar in de Eemshaven plaatsvindt. Deze trekbewegingen vinden veelal op iets grotere hoogte plaats dan verplaatsingen van lokaal aanwezige vogels. Dit verschil in vlieghoogte tussen de dag en de nacht is zowel bij de windturbines met zwarte wiek als bij de controle windturbines zonder zwarte wiek aanwezig.

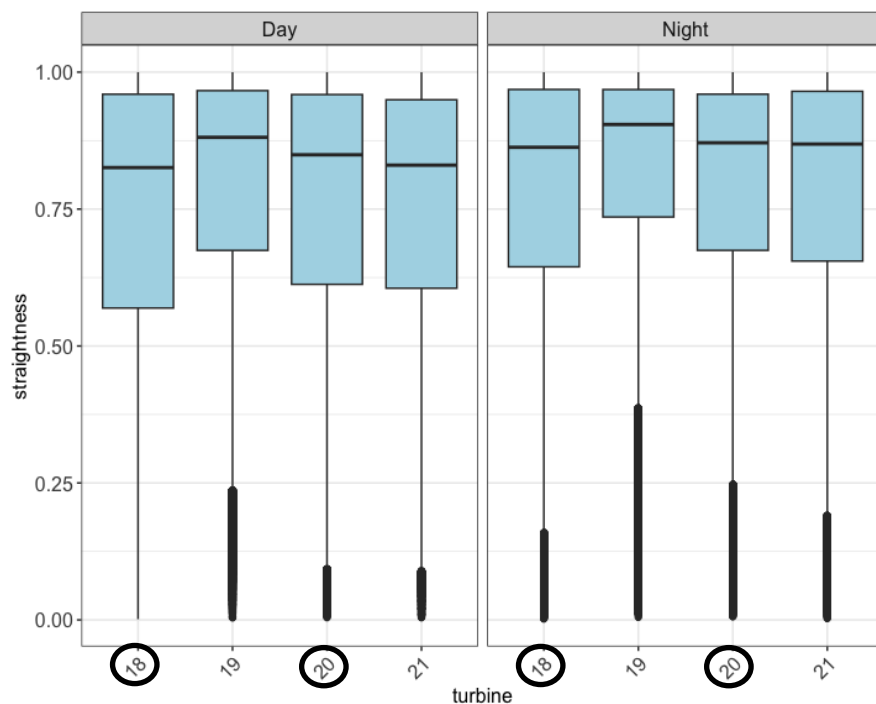
¹ De 'gerichtheid van de track' is weergegeven als de *directionality*. Dit wordt berekend als de totale afgelegde weg gedeeld door de kortste afstand tussen begin- en eindpunt van de track. Een track met een *directionality* van 1 is kaarsrecht.



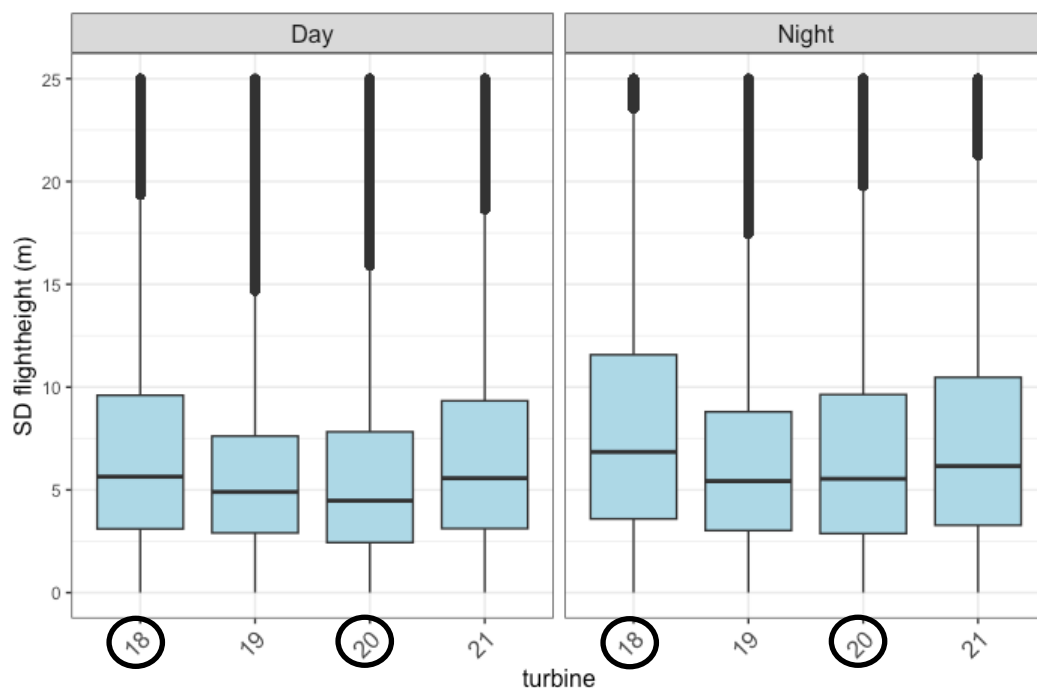
Figuur 7.4 Gemiddelde vlieghoogte rondom de verschillende turbines, gesplitst voor dag en nacht. Windturbines met een zwart omcirkeld nummer hebben een zwarte wiek.



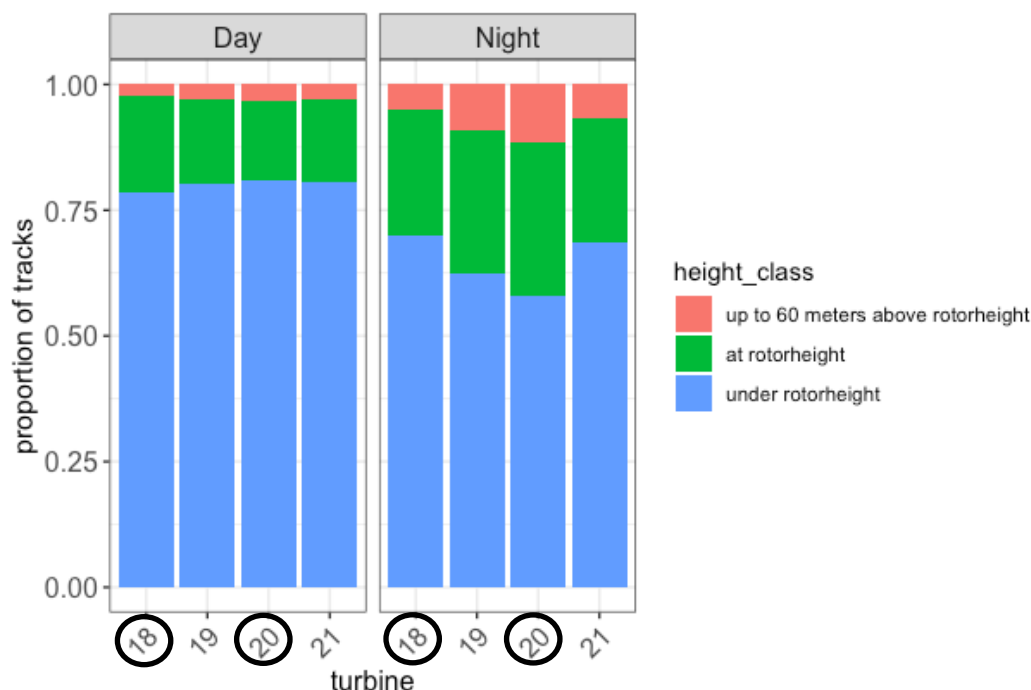
Figuur 7.5 Vliegsnelheid van vogels binnen 200 meter van de verschillende windturbines, gesplitst voor dag en nacht. In deze analyse zijn alleen de tracks op rotorhoogte meegenomen. Windturbines met een zwart omcirkeld nummer hebben een zwarte wiek.



Figuur 7.6 Gerichtheid van tracks van vogels binnen 200 meter van de verschillende windturbines, gesplitst voor dag en nacht. Hoe dichterbij 1 hoe rechter een track is. In deze analyse zijn alleen de tracks op rotorhoogte meegenomen. Windturbines met een zwart omcirkeld nummer hebben een zwarte wijk.



Figuur 7.7 Standaarddeviatie van de vlieghoogte binnen 200 meter van de verschillende windturbines, gesplitst voor dag en nacht. Het bovenste deel van de figuur is eraf geknipt voor leesbaarheid. Windturbines met een zwart omcirkeld nummer hebben een zwarte wijk.



Figuur 7.8 Verdeling van vlieghoogtes binnen 200 meter van de verschillende windturbines, uitgesplitst over dag en nacht. Rotorhoogte is van 57 m tot 139 m boven maaiveld. Windturbines met een zwart omcirkeld nummer hebben een zwarte wiek.

7.4 Soortherkenning met behulp van *machine learning* modellen

De Max® 3D vogelradar is niet in staat om tracks van verschillende soort(groep)en vogels te herkennen op soortniveau. Wel worden van iedere track een heleboel eigenschappen in de radardatabase geregistreerd. Met behulp van de eigenschappen van in het veld gevalideerde tracks is met *machine learning* modellen geprobeerd om achteraf tracks van bepaalde soort(groep)en te herkennen. Het principe is precies gelijk aan het hiervoor beschreven *machine learning* model dat is gebouwd om achteraf *false positive* door clutter veroorzaakte tracks te onderscheiden van die van vogels.

Voor het ZWENT-project is onderzocht in hoeverre het mogelijk is om tracks van **roofvogels** en **aalscholvers** te herkennen. Dit zijn twee soort(groep)en die in het slachtofferonderzoek te weinig als slachtoffer zijn aangetroffen om op basis daarvan met zekerheid uitspraak te kunnen doen over de effectiviteit van de zwarte wiek. Tegelijkertijd vormt sterfte van deze soort(groep)en in een aantal windparken op land een knelpunt en is kennis over de effectiviteit van de zwarte wiek voor deze soort(groep)en zeer gewenst. Als het mogelijk is om de tracks van deze soort(groep)en te herkennen, kan met behulp van de gegevens van de Max® 3D vogelradar onderzocht worden of het vlieggedrag van specifiek deze soort(groep)en bij windturbines met een zwarte wiek afwijkt van dat bij windturbines zonder zwarte wiek.



Om voor een soort(groep) een goed werkend *machine learning* model te kunnen bouwen moet aan twee voorwaarden worden voldaan:

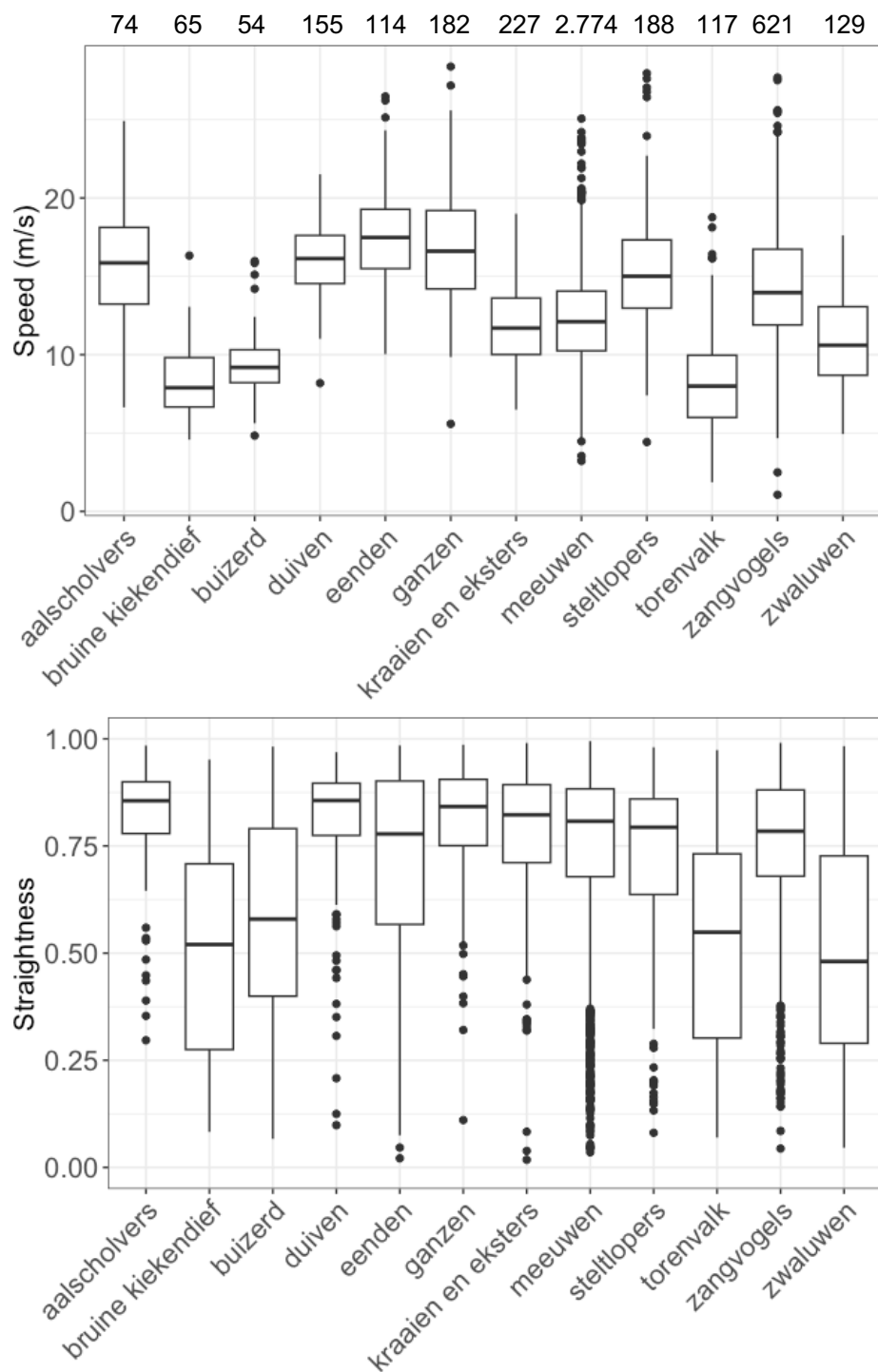
1. Een voldoende grote dataset met gevalideerde radartracks van de soort(groep) die herkend moet worden én van andere veelvoorkomende soorten in het projectgebied. Hoeveel tracks precies nodig zijn hangt af van de mate waarin de doelsoort zich onderscheidt van andere soorten in het gebied. Als vuistregel hanteren wij dat minimaal een paar honderd gevalideerde tracks van de doelsoort beschikbaar is om het ontwikkelen van een *machine learning* model zinvol te maken.
2. De doelsoort moet op een aantal trackeigenschappen voldoende onderscheidend zijn van andere soorten die veel in het projectgebied aanwezig zijn.

7.4.1 Roofvogels

Tijdens de veldbezoeken zijn in totaal 255 tracks van bij elkaar negen soorten roofvogels gevalideerd (Tabel 7.2). Van slechts drie soorten zijn meer dan tien tracks gevalideerd. Aangezien de soorten onderling sterk variëren in morfologie en vlieggedrag vormt dit **onvoldoende basis voor de ontwikkeling van een betrouwbaar *machine learning* model voor roofvogels als soortgroep**. Op basis van de gevalideerde tracks blijkt bovendien dat de tracks van de verschillende roofvogelsoorten op geen enkel kenmerk echt heel duidelijk afwijken van die van andere veelvoorkomende soort(groep)en vogels in de Eemshaven (Figuur 7.9 en Bijlage VII). Wel is het zo dat roofvogels in subtiele zin wat vaker een lagere vliegsnelheid kennen en veelal een minder gerichte vlucht vertonen. Dit wordt vooral verklaard door vogels die langzaam cirkelend gebruik maken van de thermiek. **Van geen enkele individuele roofvogelsoort zijn voldoende tracks gevalideerd om een soort specifiek *machine learning* model te kunnen bouwen.**

Tabel 7.2 Gevalideerde radartracks van roofvogels in de Eemshaven in de periode september 2023 tot en met mei 2024.

Soort	Aantal gevalideerde tracks
torenvalk	118
bruine kiekendief	66
buizerd	55
sperwer	7
rode wouw	3
slechtvalk	3
blauwe kiekendief	1
smelleken	1
zwarte wouw	1
totaal	255



Figuur 7.9 Vliegsnelheid (boven) en gerichtheid (onder) van gevalideerde tracks in de Eemshaven in de periode september 2023 tot en met mei 2024 voor drie soorten roofvogels en een aantal andere soort(groep)en die relatief vaak zijn gevalideerd. De steekproefgrootte is per soort(groep) boven de figuur weergegeven. De straightness wordt berekend als de kortste afstand tussen begin- en eindpunt van de track gedeeld door de afgelegde afstand. Hoe dichterbij 1 hoe rechter de track. De vergelijking van enkele andere trackeigenschappen is weergegeven in Bijlage VII.



7.4.2 Aalscholver

Ook voor de aalscholver is geprobeerd om een *machine learning* model te bouwen op basis van de gevalideerde tracks van de Max® 3D vogelradar. In totaal zijn in de Eemshaven maar 74 tracks van de aalscholver gevalideerd (zie Tabel 7.1). Dat aantal is te laag om een specifieke vogelsoort te kunnen onderscheiden van andere vogelsoorten, aangezien de verschillen vaak relatief klein zijn. Om deze reden is meer data vereist om een goed en robuust model te kunnen trainen.

Op drie andere locaties in Nederland waar een Max® 3D vogelradar staat of heeft gestaan zijn veel meer tracks van aalscholvers gevalideerd. Er is onderzocht of het mogelijk is met de gevalideerde radardata van deze locaties, samen met de gevalideerde tracks uit de Eemshaven, een 'uniform' aalscholvermodel te ontwikkelen. Daarmee kunnen dan aalscholvers herkend worden in de radardata uit de Eemshaven. Alhoewel de omgeving en daarmee waarschijnlijk ook het vlieggedrag tussen de locaties verschilt, kan worden verwacht dat bepaalde kenmerken van de tracks van aalscholvers, zoals vliegsnelheid en RCS (grootte van de reflectie), op verschillende locaties hetzelfde zijn.

Helaas bleek dat zelfs met het toevoegen van radartracks van andere locaties, het maken van een goed en betrouwbaar aalscholvermodel voor de Eemshaven niet mogelijk is. Dit wordt deels veroorzaakt door het feit dat aalscholvers in de Eemshaven een betrekkelijk kleine groep vormen binnen het totaal aantal tracks. Er zijn dus in verhouding veel meer niet-aalscholvers en dat zorgt ervoor dat zelfs bij een (percentueel gezien) kleine fout in deze groep de aalscholver-groep wordt overspoeld met *false positive* tracks. Juist bij onderzoek naar vlieggedrag is het essentieel om een dataset te analyseren die zo min mogelijk is vervuild met tracks van andere vogelsoorten. Om deze reden is als laatste stap nog onderzocht of een werkbaar model kon worden gemaakt waarmee alleen bij hoge zekerheid een track geclassificeerd wordt als aalscholver. Daarmee wordt het aantal *false positive* tracks in de aalscholver-groep zoveel als mogelijk gereduceerd. Dit bleek echter ook geen werkbaar model op te leveren, omdat met dit model maar een heel klein deel van de aanwezige aalscholvers werd herkend. Dit betekent dat niet kon worden uitgesloten dat alleen aalscholvers werden herkend die een bepaald soort gedrag vertoonden. Dit laatste is uiteraard zeer onwenselijk bij het uitvoeren van een gedragsanalyse rondom turbines met en zonder zwarte wijk.

Ook voor de aalscholver was het niet mogelijk om soortspecifieke tracks te herkennen in de radargegevens van de Eemshaven, zodat een soort(groep) specifieke gedragsanalyse op basis van de radardata niet mogelijk is.

7.5 Conclusie

Voor alle vogelsoorten samen is in de radardata geen aanwijzing gevonden voor een verschil in vlieggedrag nabij windturbines met en zonder zwarte wijk (onderzoeksvraag 1). Helaas was het niet mogelijk om specifieke soort(groep)en te herkennen in de radardata, zodat soortspecifieke analyses van het vlieggedrag niet mogelijk waren.



8 Resultaten WT-Bird®

Het onderzoek met de WT-Bird® systemen had tot doel om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Wat is de effectiviteit van het WT-Bird® systeem in vergelijking met het reguliere slachtofferonderzoek om de mortaliteit van vogels bij windturbines te monitoren?
2. Op welk moment van de dag en onder welke omstandigheden worden vogels slachtoffer van een aanvaring met een windturbine en verschilt dit tussen windturbines met en zonder zwarte wiek?

8.1 Koppeling slachtofferonderzoek aan registraties WT-Bird® systemen

De effectiviteit van het WT-Bird® systeem is vergeleken met de effectiviteit van regulier slachtofferonderzoek. Hiertoe is voor alle (mogelijke) slachtoffers onder windturbines 21 en 20 onderzocht of deze ook zijn geregistreerd door de trillingssensoren. Voor windturbine 21 is dit gedaan voor alle slachtoffers gevonden tussen 24 oktober 2023 (start na het inregelen van het WT-Bird® systeem) en 16 oktober 2024 (Tabel 8.1). Voor windturbine 20 betreft dit de periode tussen 20 februari en 16 oktober. Andersom is voor alle (voldoende zekere) registraties van de trillingssensoren onderzocht of hieraan een slachtoffer uit het slachtofferonderzoek kon worden gekoppeld.

In de periode dat het WT-Bird® systeem in windturbine 21 operationeel was hebben de trillingssensoren slechts twee aanvaringen geregistreerd. De eerste vond plaats in de nacht van 2 op 3 januari 2024. Helaas vond de eerste zoekronde na deze registratie pas op 24 januari plaats (als gevolg van vorst en sneeuw in de tussenliggende periode) en is geen slachtoffer in het veld aangetroffen dat aan deze registratie gekoppeld kon worden. De tweede registratie vond plaats in de vroege ochtend van 10 september 2024. Toevallig vond precies op 10 september een zoekronde plaats en is een intact en zeer vers kadaver van een juveniele bontbekplevier aangetroffen. Deze vondst zou goed kunnen matchen met de geregistreerde aanvaring. Wel is het opvallend dat de bontbekplevier een kleine relatief lichte vogelsoort betreft (juveniele vogels ongeveer 64 gram). Gezien de verminderde gevoeligheid van de sensoren is het opvallend dat juist deze aanvaring geregistreerd is, terwijl voor een aantal in het veld gevonden (mogelijke) meeuwen-slachtoffers geen registratie is gevonden. Van 18 in het veld gevonden (mogelijke) aanvaringsslachtoffers onder windturbine 21 is door de trillingssensoren geen aanvaring geregistreerd (Tabel 8.1). Voor een levend gevonden gierzwaluw, die hoogstwaarschijnlijk niet geraakt is door de windturbine¹ en waarvoor dus geen registratie met de trillingssensoren mogelijk is, is in de camerabeelden gezocht naar de mogelijke confrontatie tussen vogel en windturbine. Helaas was de gierzwaluw niet terug te vinden op de camerabeelden.

¹ Zwaluwen en andere kleine (zang)vogels kunnen ook zonder direct geraakt te worden door een windturbine op de grond belanden. Denk bijvoorbeeld aan de invloed van sterke luchtwervelingen veroorzaakt door de draaiende rotor. Als een gierzwaluw op de grond belandt kan hij niet goed zelf meer wegvliegen. Als een gierzwaluw door een wiek is geraakt zal hij daar zwaar fysiek trauma aan overhouden en niet zonder verwondingen levend onder de windturbine op de grond zitten.



Tabel 8.1 *Overzicht van de (mogelijke) aanvaringsslachtoffers die in de periode 24 oktober 2023 tot en met 16 oktober 2024 onder windturbine 21 zijn aangetroffen én de registraties met de verschillende sensoren van het WT-Bird® systeem in dezelfde periode. De camerabeelden zijn vanaf eind februari 2024 ook beschikbaar voor momenten waarop de trillingssensoren geen aanvaring hebben geregistreerd. *Deze camerabeelden zijn op het moment van schrijven nog niet volledig geanalyseerd.*

Windturbine 21				
Datum	Soort	Opmerkingen bij vondst	Hit met trillings-sensoren?	Te zien op camera-beelden?
24-okt-23	Duif spec.	Deel van een vleugel gevonden	Nee	n.v.t.
19-dec-23	Bonte strandloper	Alleen veren, net buiten de zoekcirkel gevonden	Nee	n.v.t.
19-dec-23	Bonte strandloper	Vleugel en veren, buiten de zoekcirkel gevonden	Nee	n.v.t.
19-dec-23	Bonte strandloper	Alleen veren gevonden	Nee	n.v.t.
19-dec-23	Bonte strandloper	Alleen veren gevonden	Nee	n.v.t.
3-jan-24	Onbekend, geen vondst kunnen koppelen	Als gevolg van vorst en sneeuw vond de eerste zoekronde na de registratie pas op 24 januari plaats	02:00	Nee
30-jan-24	Bergeend	Vleugels en karkas	Nee	n.v.t.
13-feb-24	Kanoet	Buiten de zoekcirkel gevonden, geen duidelijk aanvaringsslachtoffer	Nee	n.v.t.
12-mrt-24	Turkse tortel	Intact, zou ook in aanvaring gekomen kunnen zijn met de trein	Nee	Niet onderzocht
20-mrt-24	Zanglijster	Karkas in onderdelen	Nee	Nee
20-mrt-24	Bonte strandloper	Alleen veren	Nee	Nee
20-mrt-24	Bonte strandloper	Alleen veren	Nee	Nee
2-jul-24	Kokmeeuw	Vergaan karkas, mogelijk aangespoeld, geen duidelijk aanvaringsslachtoffer	Nee	Niet onderzocht
11-jul-24	Gierzwaluw	Levend gevonden	n.v.t.	Nee
14-aug-24	Kleine mantelmeeuw	Vrijwel intact	Nee	Geen beelden
14-aug-24	Kokmeeuw	Vrijwel intact	Nee	Geen beelden
10-sep-24	Spreeuw	Nat en vergaan karkas	Nee	?*
10-sep-24	Bontbekplevier	Intact	03:00	Ja
10-sep-24	Spreeuw	Nat en aangevreten karkas	Nee	?*
10-sep-24	Kokmeeuw	Vleugels, staart en borstbeen	Nee	?*
23-sep-24	Kokmeeuw	Alleen veren	Nee	?*



Onder windturbine 20 zijn (ook wanneer dezelfde periode in beschouwing wordt genomen) aanzienlijk minder (mogelijke) aanvaringsslachtoffers gevonden dan onder windturbine 21. De trillingssensoren van het WT-Bird® systeem in windturbine 20 hebben geen enkele aanvaring geregistreerd. Daarnaast zijn vooralsnog ook in de camerabeelden geen aanvaringen gevonden. Daar moet wel bij gezegd worden dat dit voor het eerst is dat TNO alle camerabeelden bewaart en analyseert. Dit betekent dat de methodes voor filtering en classificatie van de beelden nog in ontwikkeling zijn en dat gedetailleerde analyse van alles wat op de camerabeelden zichtbaar is nog niet mogelijk is.

Tabel 8.2 *Overzicht van de (mogelijke) aanvaringsslachtoffers die in de periode 20 februari tot en met 16 oktober 2024 onder windturbine 20 zijn aangetroffen én de registraties met de verschillende sensoren van het WT-Bird® systeem in dezelfde periode. De camerabeelden zijn vanaf eind februari 2024 ook beschikbaar voor momenten waarop de trillingssensoren geen aanvaring hebben geregistreerd. *Deze camerabeelden zijn op het moment van schrijven nog niet volledig geanalyseerd.*

Windturbine 20				
Datum	Soort	Opmerkingen bij vondst	Hit met trillings-sensoren?	Te zien op camera-beelden?
12-mrt-24	Spreeuw	Alleen veren gevonden	Nee	Niet onderzocht
12-mrt-24	Spreeuw	Alleen veren gevonden, zou mogelijk dezelfde vogel kunnen betreffen	Nee	Niet onderzocht
16-mei-24	Steenloper	Alleen veren gevonden	Nee	Niet onderzocht
16-jul-24	Kauw	Intact, zou ook in aanvaring gekomen kunnen zijn met de trein	Nee	?*
23-sep-24	Kievit	Alleen veren gevonden	Nee	?*

8.2 Conclusie

Het was niet mogelijk om de effectiviteit van het WT-Bird® systeem te vergelijken met regulier slachtofferonderzoek (onderzoeksvraag 2). Dit kwam door beperkingen tijdens de installatie van het systeem in windturbines met bladverwarming op de plaats waar de sensoren bij voorkeur geplaatst worden. Door de suboptimale plaatsing van de sensoren had het WT-Bird® systeem moeite met het correct registreren van aanvaringen van vogels. Er is daarom ook niet toegekomen aan het beantwoorden van onderzoeksvraag 3. Er zijn namelijk te weinig aanvaringen geregistreerd om gefundeerde uitspraken te kunnen doen over de momenten waarop en omstandigheden waaronder vogels in aanvaring komen met de windturbines (met of zonder zwarte wijk). De twee aanvaringen die geregistreerd zijn vonden in de nacht (in het donker) plaats.

DEEL 3

Literatuurlijst en bijlagen





Literatuur

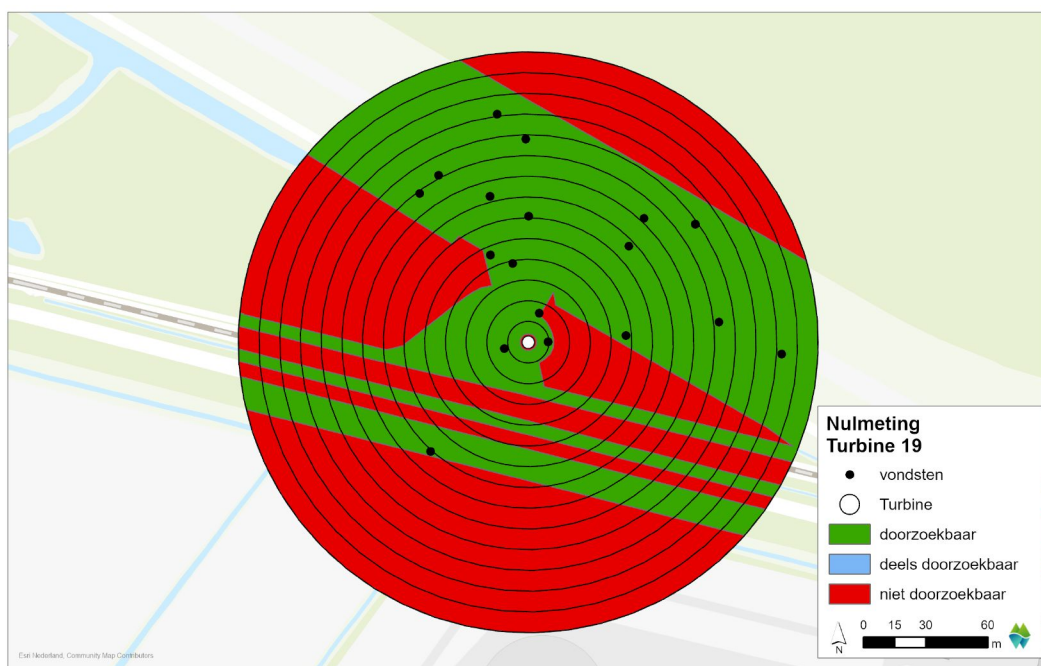
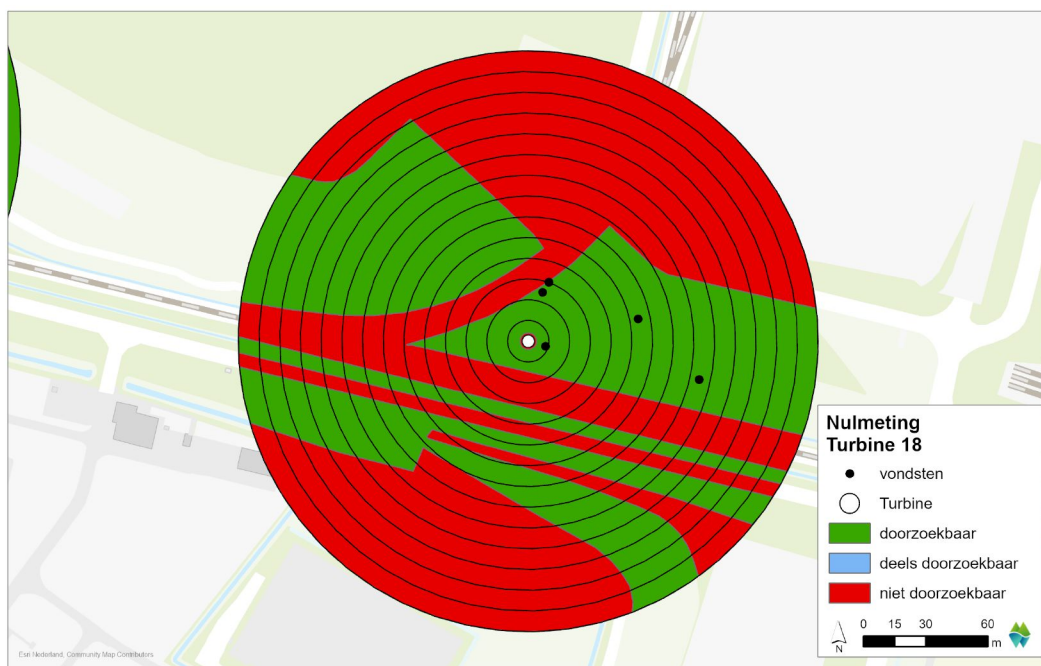
- AWWI, 2021. AWWI Publication Synthesis. Paint it Black: Does Painting Wind Turbine Blades Increase Visibility to Reduce Bird Fatalities? Research Brief, November 19, 2021. American Wind Wildlife Institute, Washington DC.
- Blary, C.L.M., F. Bonadonna, E. Dussauze, S. Potier, A. Besnard & O. Duriez, 2023. Detection of wind turbines rotary motion by birds: A matter of speed and contrast. *Conservation Science and Practice*. <https://doi.org/10.1111/csp2.13022>
- Blary, C.L.M., O. Duriez, F. Bonadonna, M. Mitkus, S.P. Caro, A. Besnard & S. Potier, 2024. Low achromatic contrast sensitivity in birds: a common attribute shared by many phylogenetic orders. *Journal of Experimental Biology* 227. <https://doi.org/10.1242/jeb.246342>
- Cantlay, J.C., S.J. Portugal & G.R. Martin, 2024. Visual fields, foraging and collision vulnerability in gulls (Laridae). *Ibis*. <https://doi.org/10.1111/ibi.13360>
- Hodos, W., 2003. Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. Period of performance: July 12, 1999-August 31, 2002. Report No. NREL/SR-500-33249. University of Maryland. College Park, Maryland. <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/33249.pdf>
- Höfer, A.G.K., 2023. Reducing Wind-Turbine Induces Bird Mortality: the Black Blade – Values, Perceived Consequences and Public Acceptance of Wind Parks. Master Thesis – Environmental Psychology. Rijksuniversiteit Groningen.
- Klop, E., S.K. Jeninga, E.F. Kappers & J.C. Kleyheeg-Hartman, 2022. Tussenrapportage onderzoek zwarte wiek Eemshaven. Resultaten van slachtofferonderzoek ten behoeve van nulmeting. Rapport 22-206. Bureau Waardenburg, Culemborg & Altenburg & Wymenga, Veenwouden.
- Klop, E., S.K. Jeninga, E.F. Kappers & J.C. Kleyheeg-Hartman, 2024. Tussenrapportage onderzoek 'zwarte wiek' Eemshaven. Resultaten van slachtofferonderzoek ten behoeve van het eerste jaar effectmeting. Rapport 23-455. Waardenburg Ecology, Culemborg & Altenburg & Wymenga, Veenwouden.
- Klop, E. & A. Brenninkmeijer, 2014. Monitoring aanvaringsslachtoffers Windpark Eemshaven 2009-2014. Eindrapportage vijf jaar monitoring. A&W-rapport 1975. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden. <https://www.altwym.nl/wp-content/uploads/2019/03/Monitoring-aanvaringsslachtoffers-Windpark-Eemshaven-2009-2014.-Eindrapportage-vijf-jaar-monitoring.pdf>
- Langgemach, T. & T. Durr, 2023. Informationen Über Einflüsse der Windenergienutzung auf Vögel, Stand 09. August 2023, Aktualisierungen ausser Fundzahlen hervorgehoben. Landesamt für Umwelt Brandenburg. Staatliche Vogelschutzwarte, Buckow.
- Leemans, J.J., R.S.A. van Bemmelen, R.P. Middelveld, J. Kraal, E.L. Bravo Rebolledo, D. Beuker, K. Kuiper & A. Gyimesi, 2022. Bird fluxes, flight- and avoidance behaviour of birds in offshore wind farm Luchterduinen. Report 22-078. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Leemans, J.J., R.S. Tjørnlov, H. Skov & A. Gyimesi, 2023. Integrating of bird radar studies in offshore wind farm Luchterduinen. Report 22-188. Waardenburg Ecology, Culemborg.
- Leemans, J.J., E.L. Bravo Rebolledo, K. Kuiper, N. Heida, R.S.A. van Bemmelen, R.S.A. IJntema, H. Madden & A. Gyimesi, 2024. Bird research in offshore wind farm Borssele. Fluxes, corridor use, flight- and avoidance behaviour. Rapport 24-084. Waardenburg Ecology, Culemborg.
- Linder, A.C., H. Lyhne, B. Laubek, D. Bruhn & C. Pertoldi, 2022. Modeling species-specific collision risk of birds with wind turbines: a behavioural approach. *Symmetry* 14(12), 2493. <https://doi.org/10.3390/sym14122493>



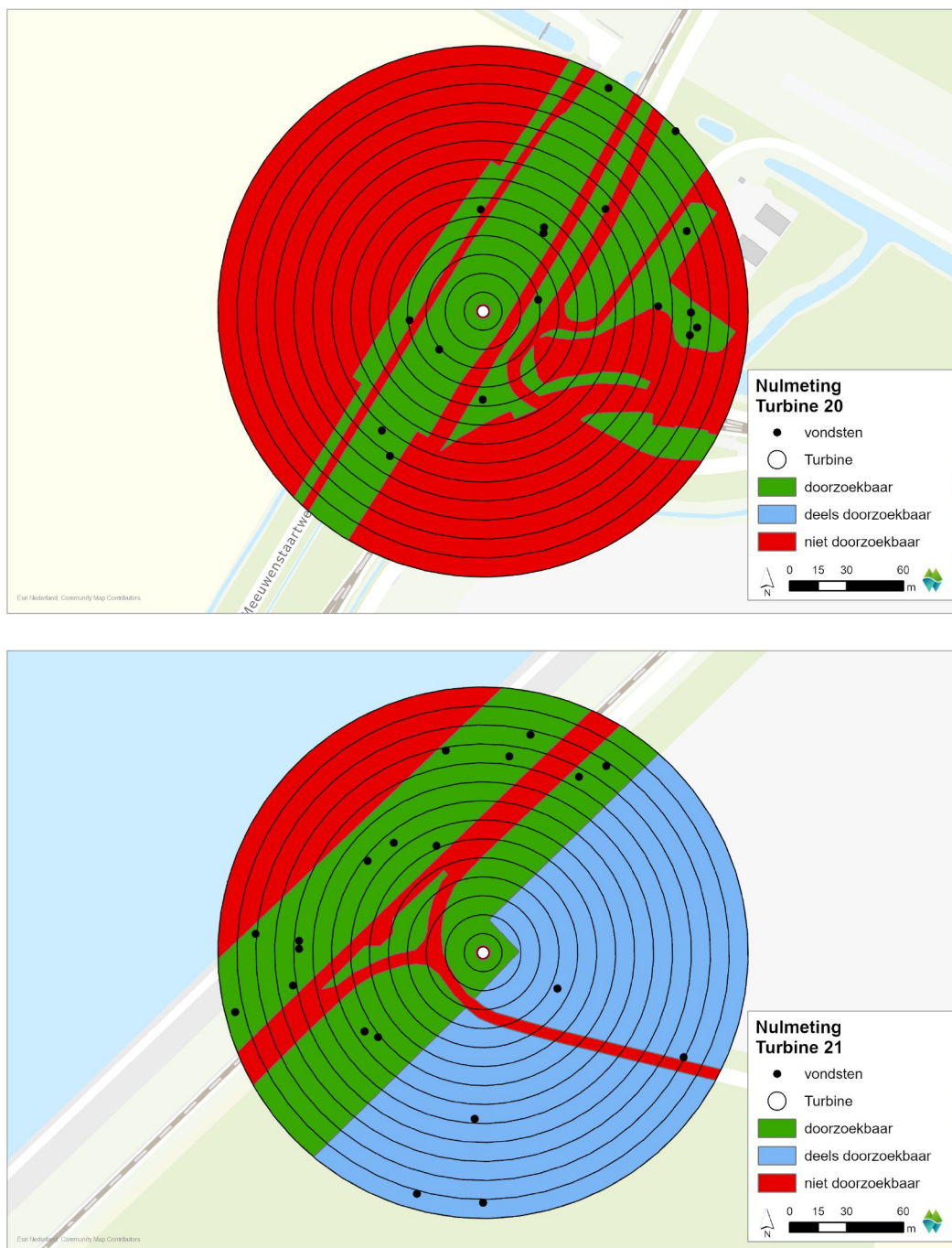
- Martin, G.R. & A.N. Banks, 2023. Marine birds: Vision-based wind turbine collision mitigation. *Global Ecology and Conservation* 42. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02386>
- May, R., T. Nygård, U. Falkdalen, J. Åström, Ø. Hamre & B.G. Stokke, 2020. Paint it black: Efficacy of increased wind-turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution* 00:1-9. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- McIsaac, H.P., 2001. Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity. *Proceedings of National Avian-Wind Power planning Meeting IV*, 59-87.
- Signer, J., Fiberg, J. & Avtal, T., 2019. Animal Movement Tools (amt): R package for managing tracking data and conducting habitat selection analyses. *Ecology and Evolution*. 9, 880-890.
- Simmons, R.E. & M. Martins, 2024. First annual report on effects of patterned blades on avian fatalities at the Umoya Wind Farm, Hopefield. *Birds & Bats Unlimited*, South Africa.
- Stokke, B.G., E.L. Dahl, O. Kleven, R. May, T. Nygård, D. Pavón-Jordán & B.K. Sandercock, 2024. Long-term impacts of the Smøla wind farm on a local population of white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*). NINA Report 2333. Norwegian Institute for Nature Research.
- Tjørnløv, R.S., H. Skov, M. Armitage, M. Barker, J.B. Jørgensen, L.O. Mortensen, K. Thomas & T. Uhrenholdt, 2023. Resolving Key Uncertainties of Seabird Flight and Avoidance Behaviours at Offshore Wind Farms. Final Report for the study period 2020-2021. Vattenfall, RPS, DHI, Hørsholm, Denmark.
- Vanermen, N., W. Courtens, R. Daelemans, L. Lens, W. Müller, M. Van de walle, H. Verstraete, E.W.M. Stienen & S. Votier, 2019. Attracted to the outside: a meso-scale response pattern of lesser black-backed gulls at an offshore wind farm revealed by GPS telemetry. *ICES Journal of Marine Science* 77(2): 701-710.
- Vanermen, N., R.C. Fijn, E.B. Rebolledo, R.J. Buijs, W. Courtens, S. Duijns, S. Lilipaly, H. Verstraete & E.W.M. Stienen, 2022. Tracking lesser black-backed and herring gulls in the Dutch Delta. Distribution, behaviour, breeding success and diet in relation to (future) offshore wind farms, Rapport 21-318. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Van der Zee, H.T.H., 2024. Aeronautische studie Zwarte Wiek Windpark Westereems. Bevindingen op basis van praktijkervaring. NLR-CR-2024-346. Koninklijke NLR – Nederland Lucht- en Ruimtevaartcentrum.

Bijlage I Doorzocht oppervlak per turbine per onderzoeksjaar

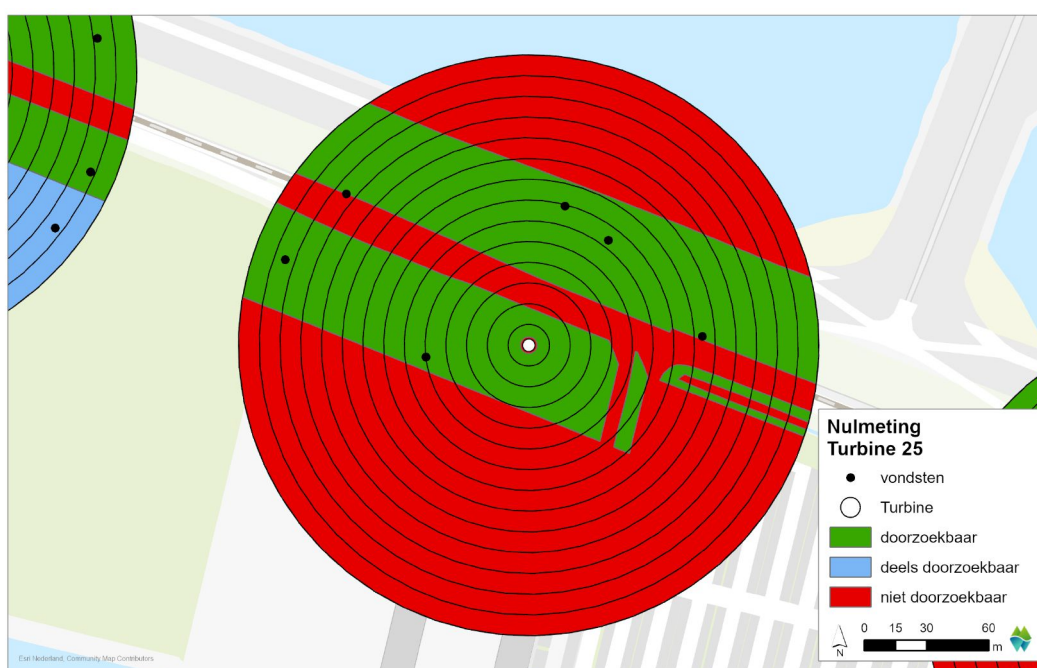
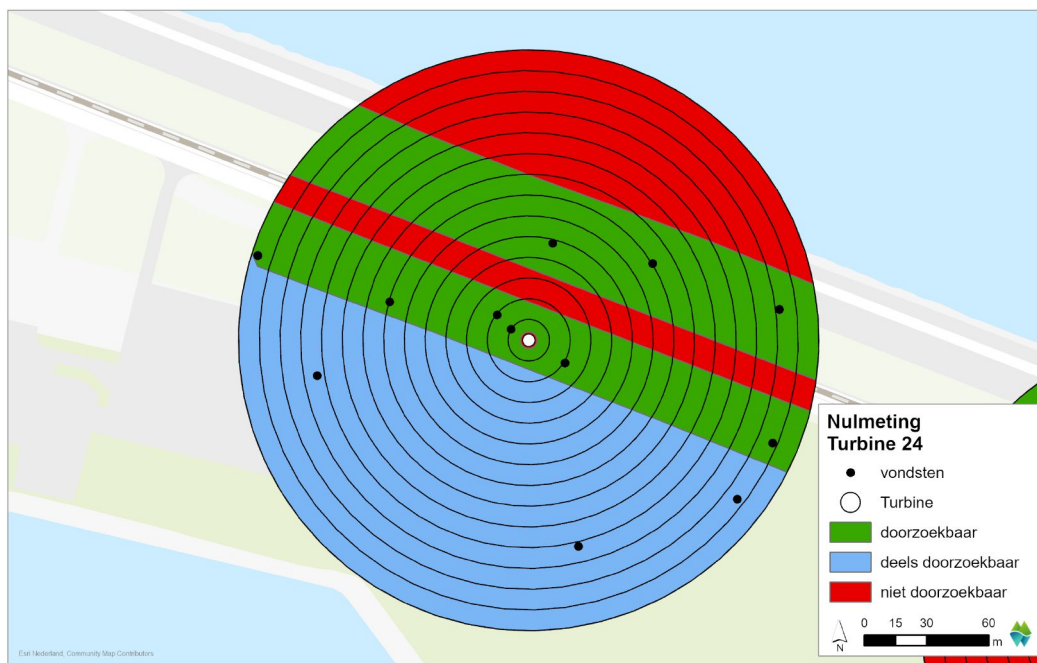
Nulmeting



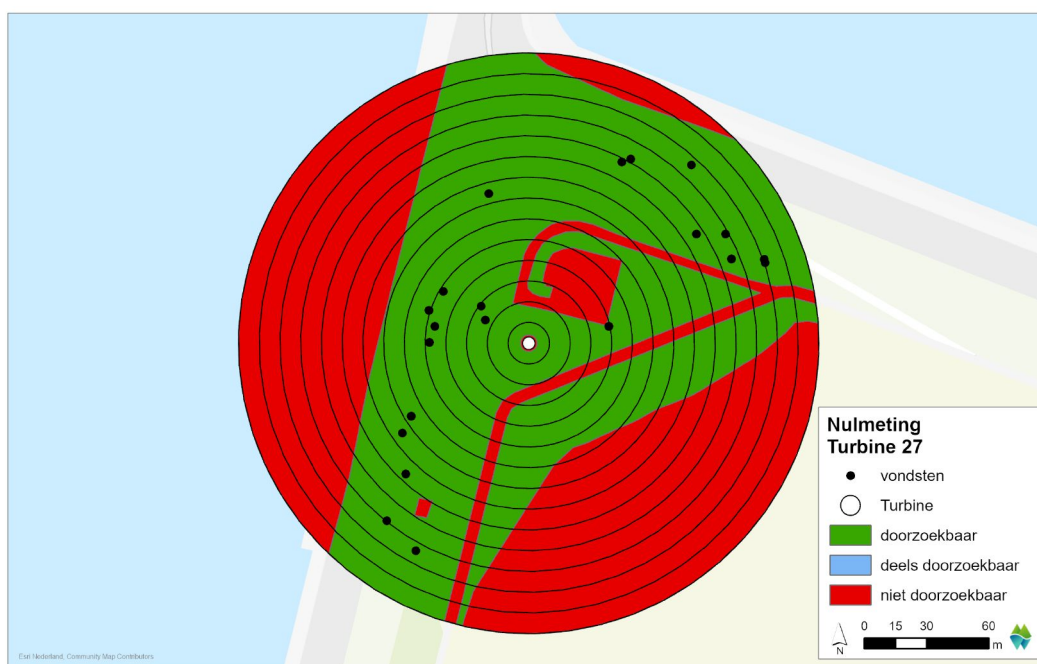
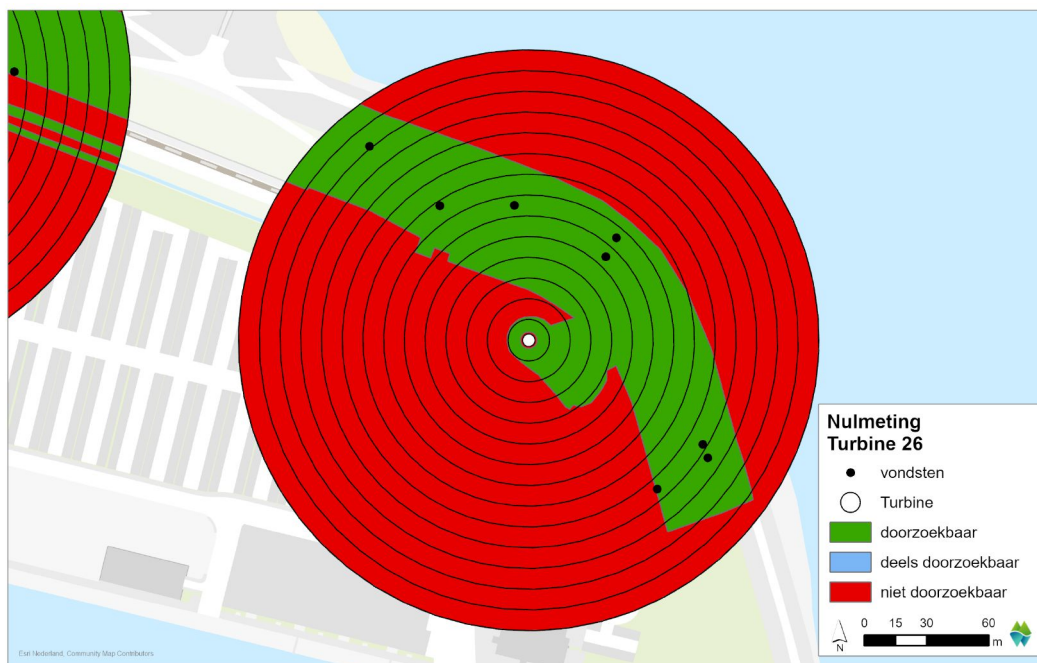
Figuur BI.1 Doorzocht oppervlak per ring in de nulmeting bij windturbines 18 en 19 (set 1), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



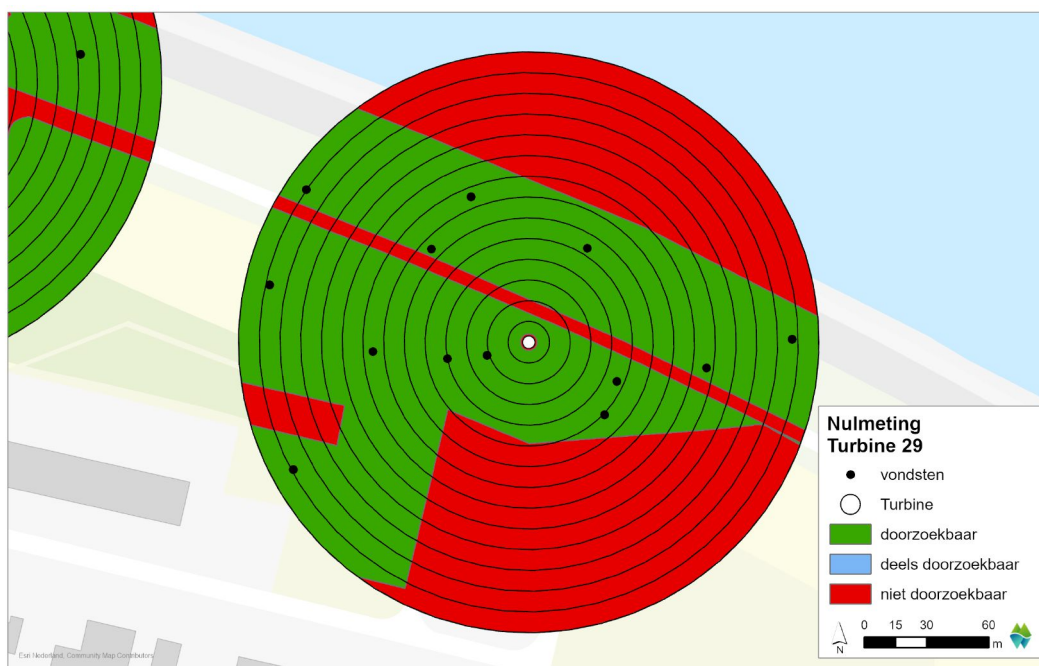
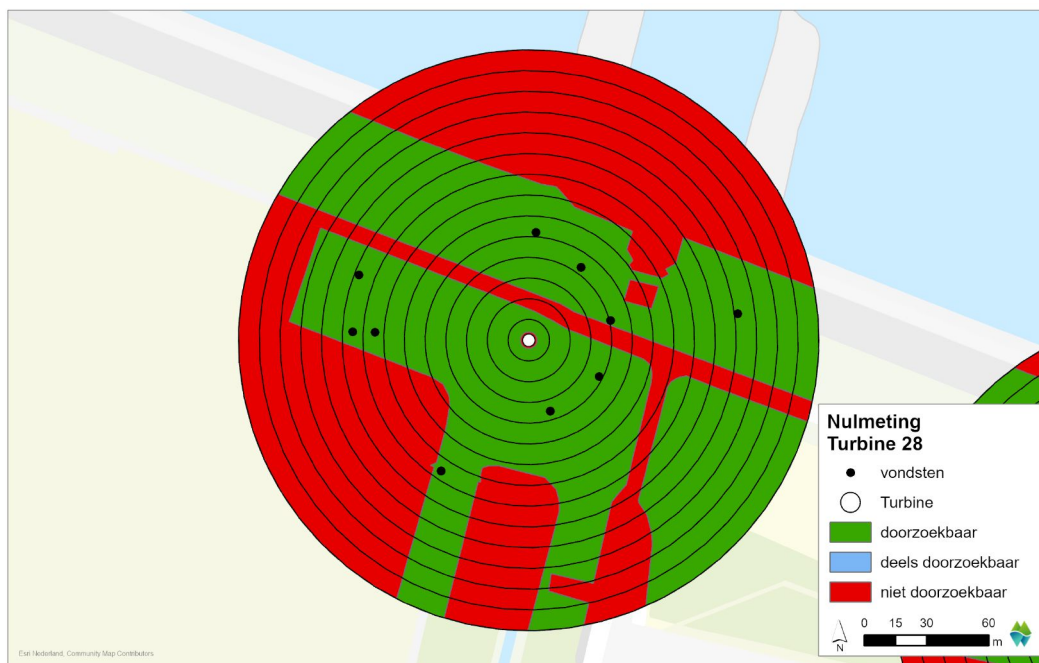
Figuur BI.2 Doorzocht oppervlak per ring in de nulmeting bij windturbines 20 en 21 (set 2), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



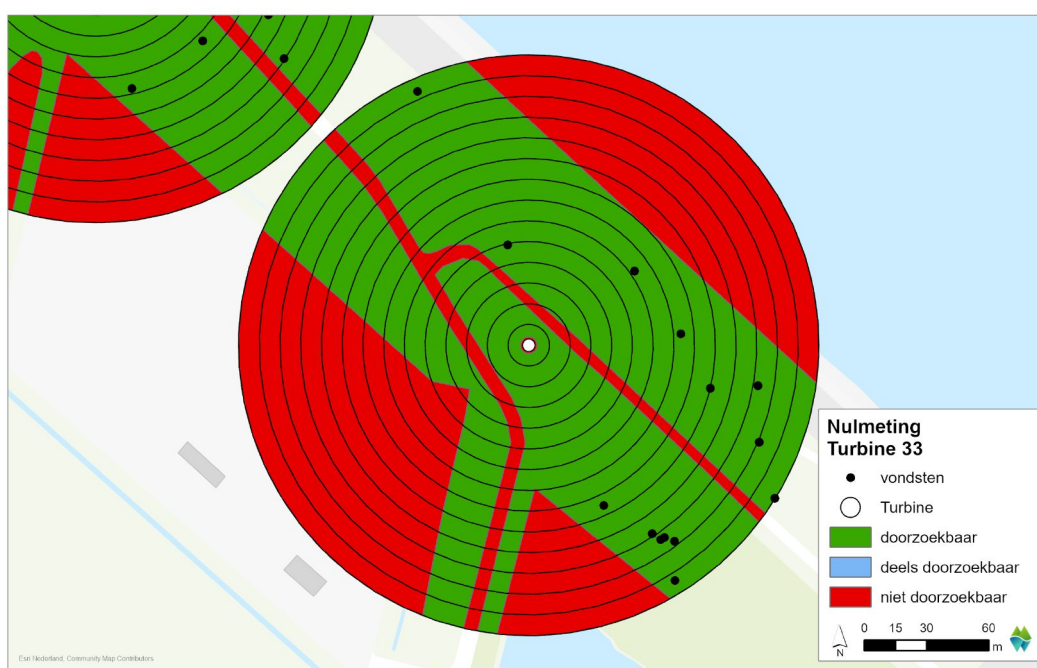
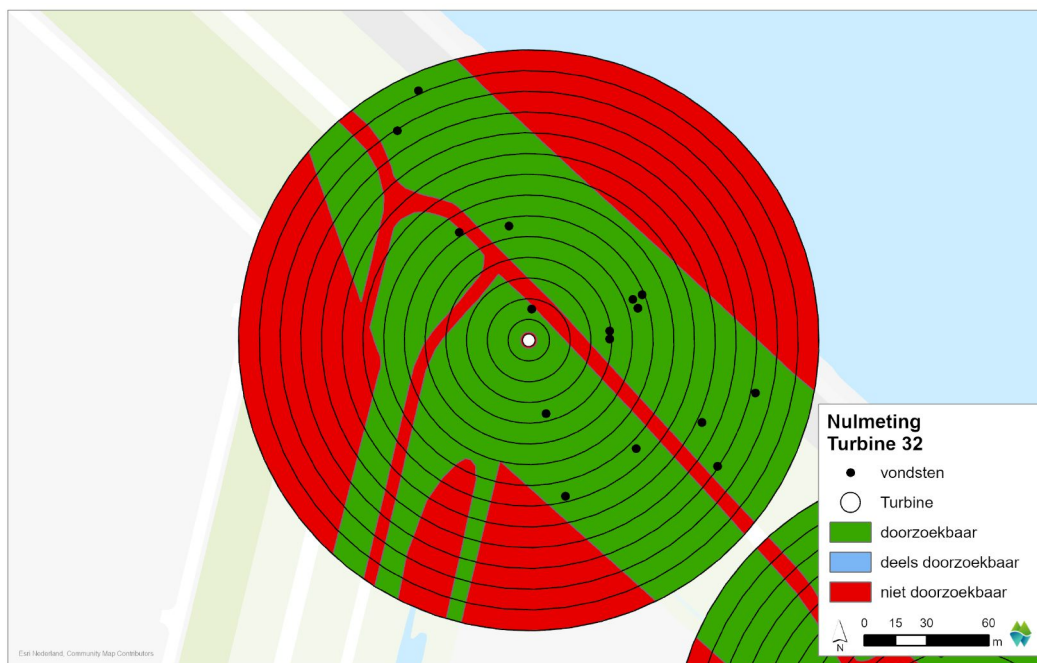
Figuur BI.3 Doorzocht oppervlak per ring in de nulmeting bij windturbines 24 en 25 (set 3), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



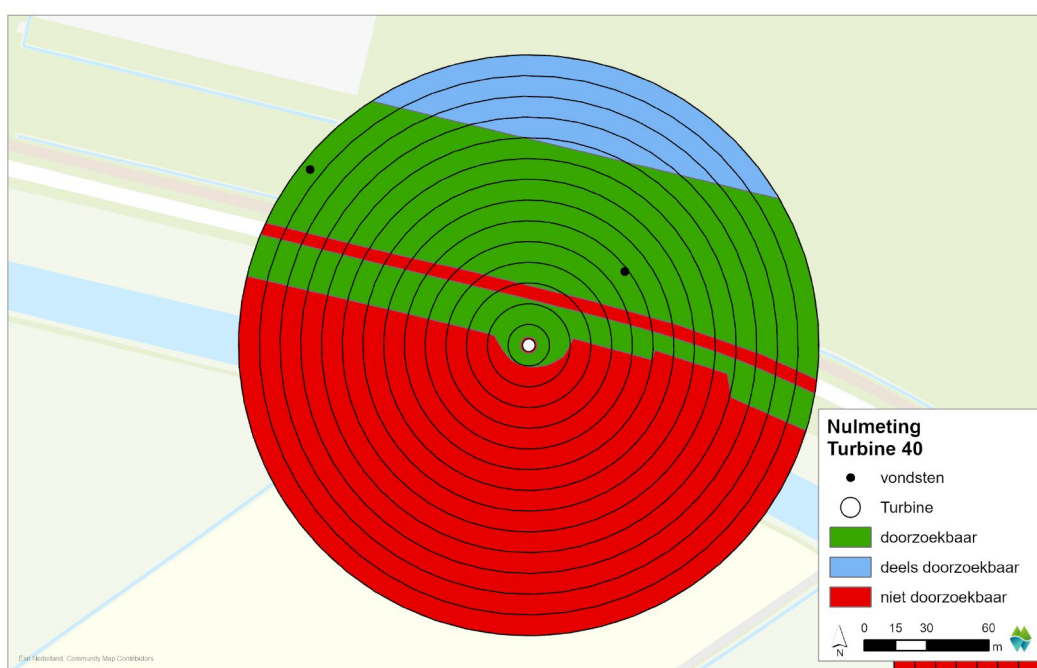
Figuur BI.4 Doorzocht oppervlak per ring in de nulmeting bij windturbines 26 en 27 (set 4), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



Figuur BI.5 Doorzocht oppervlak per ring in de nulmeting bij windturbines 28 en 29 (set 5), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



Figuur BI.6 Doorzocht oppervlak per ring in de nulmeting bij windturbines 32 en 33 (set 5), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.

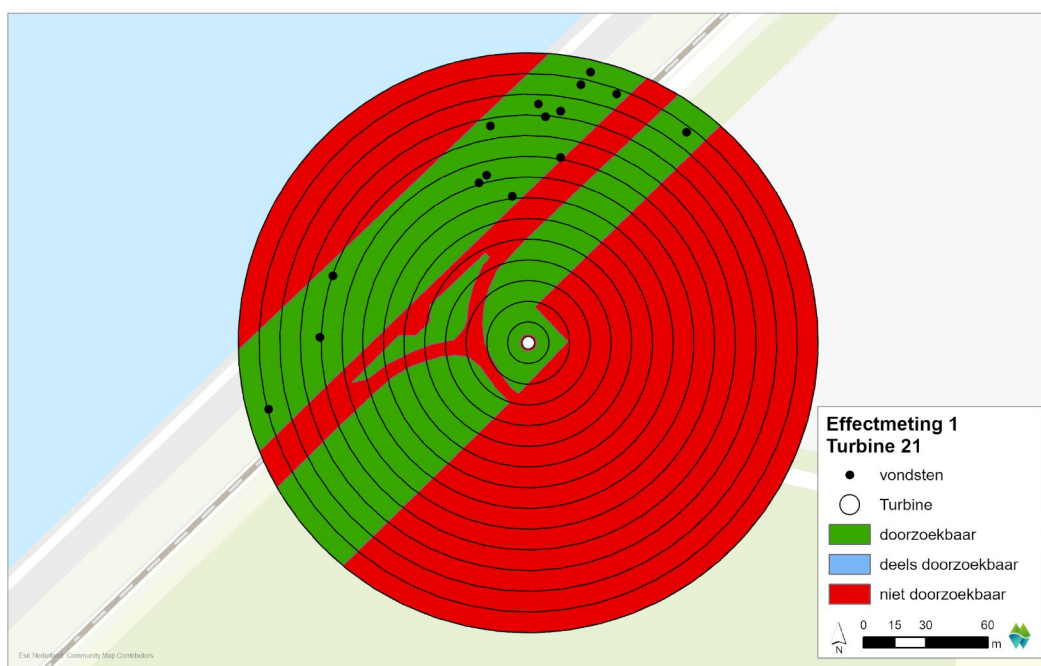
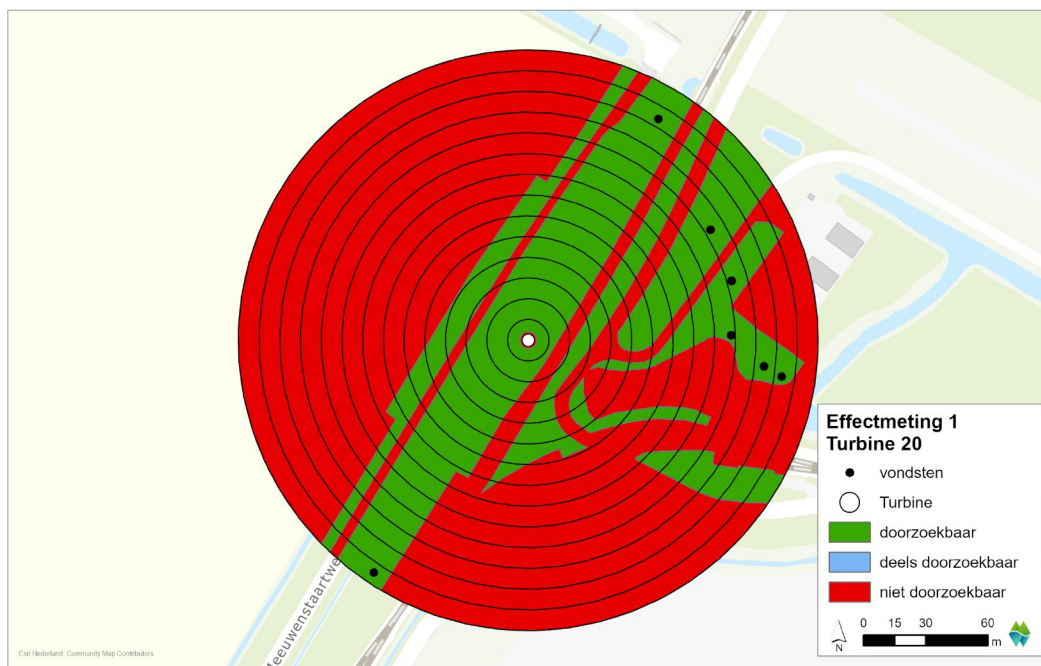


Figuur BI.7 Doorzocht oppervlak per ring in de nulmeting bij windturbines 39 en 40 (set 6), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.

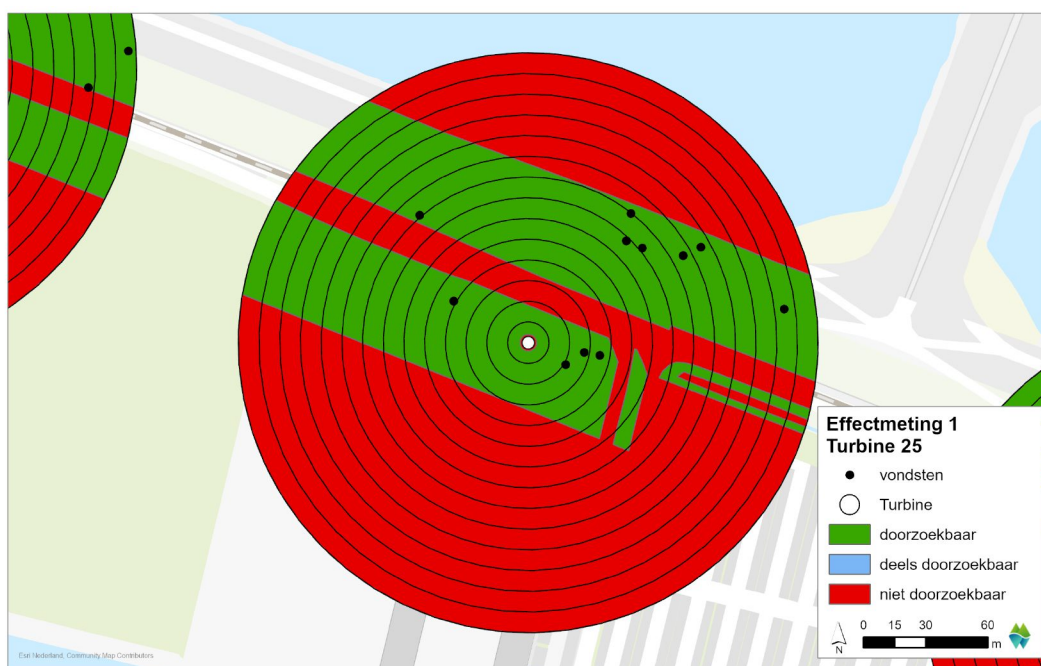
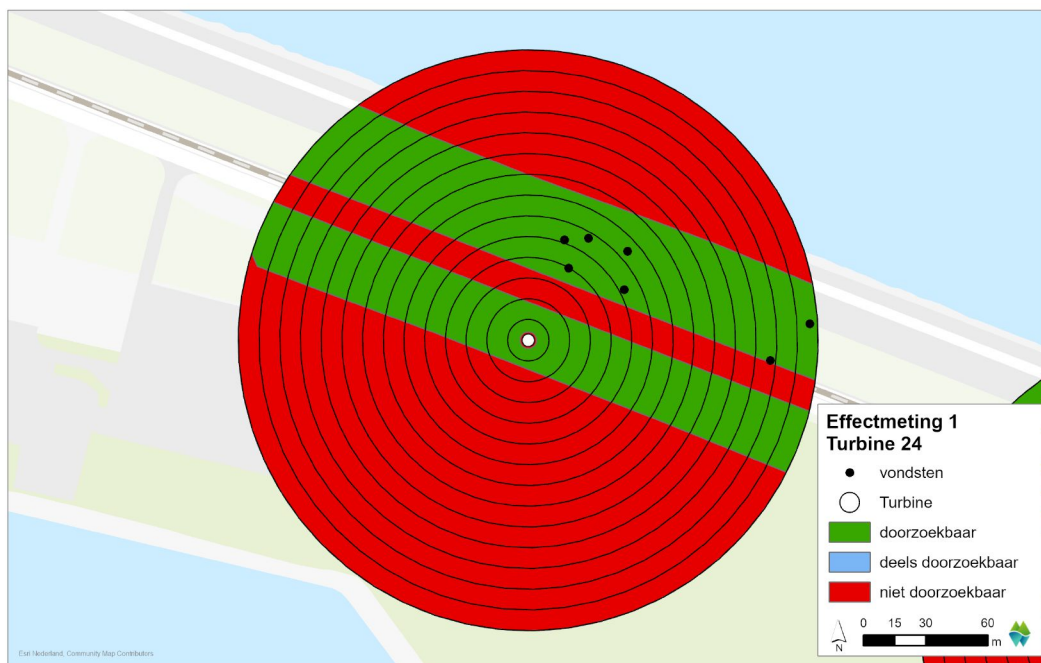
Eerste jaar effectmeting



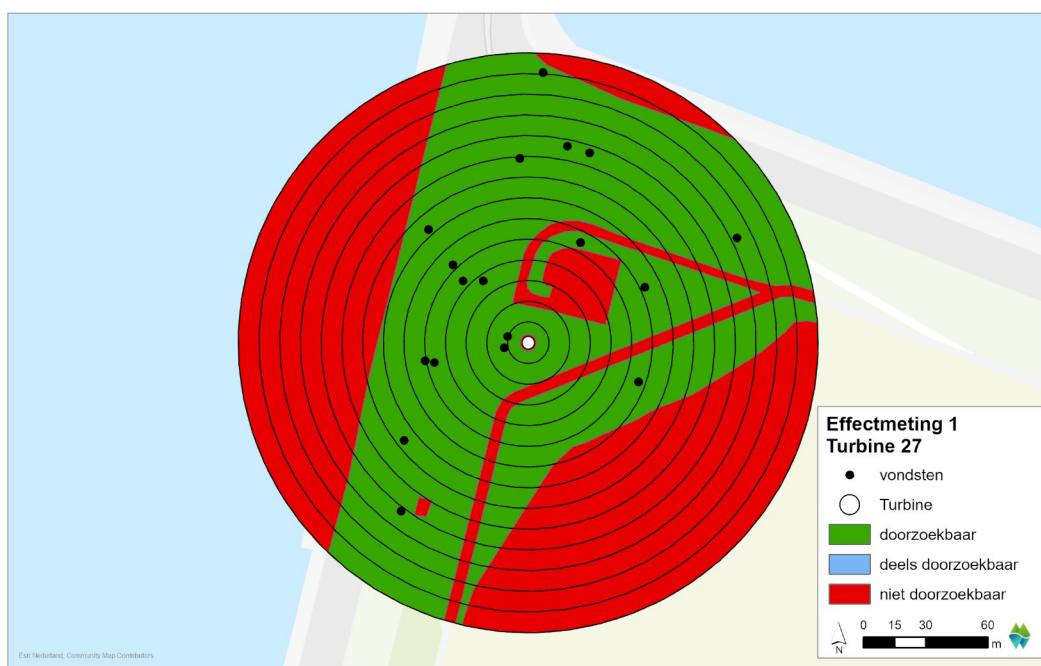
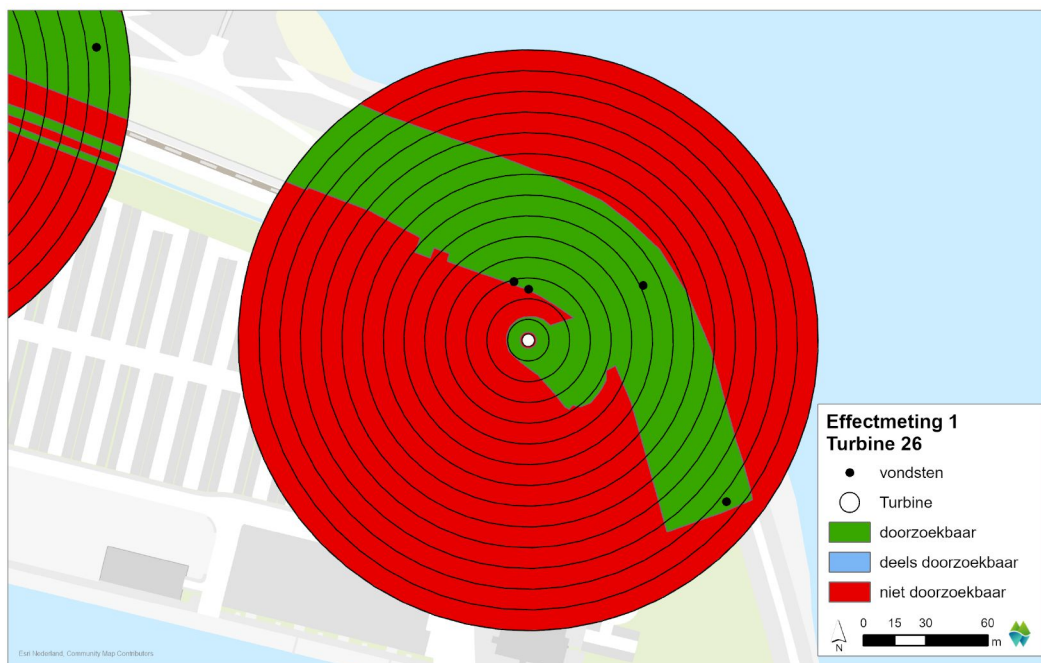
Figuur BI.8 Doorzocht oppervlak per ring in het eerste jaar effectmeting bij windturbines 18 en 19 (set 1), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



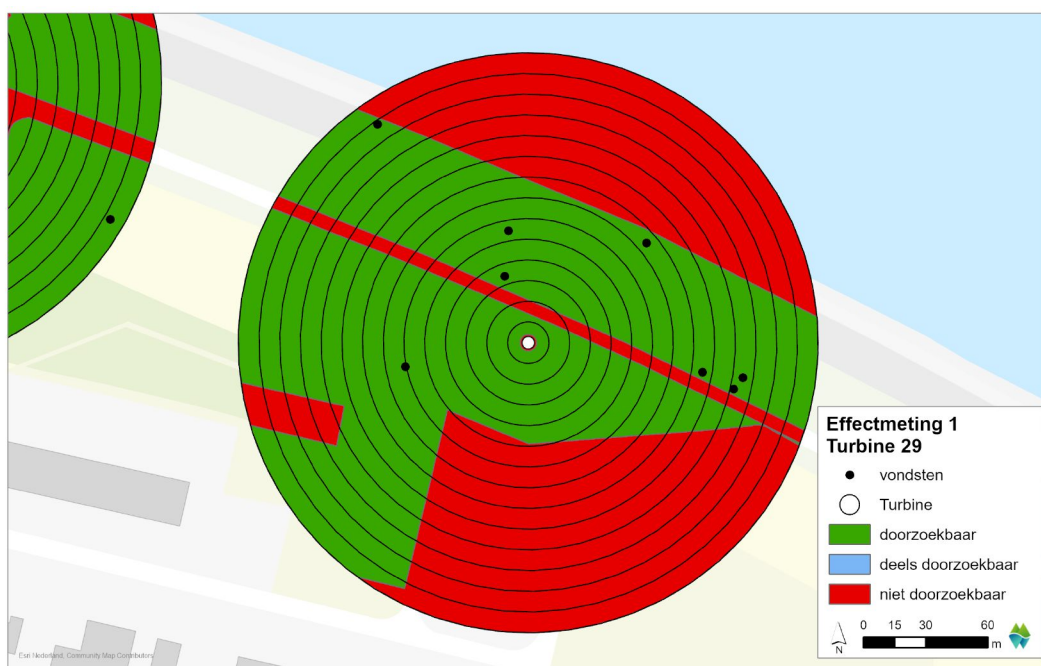
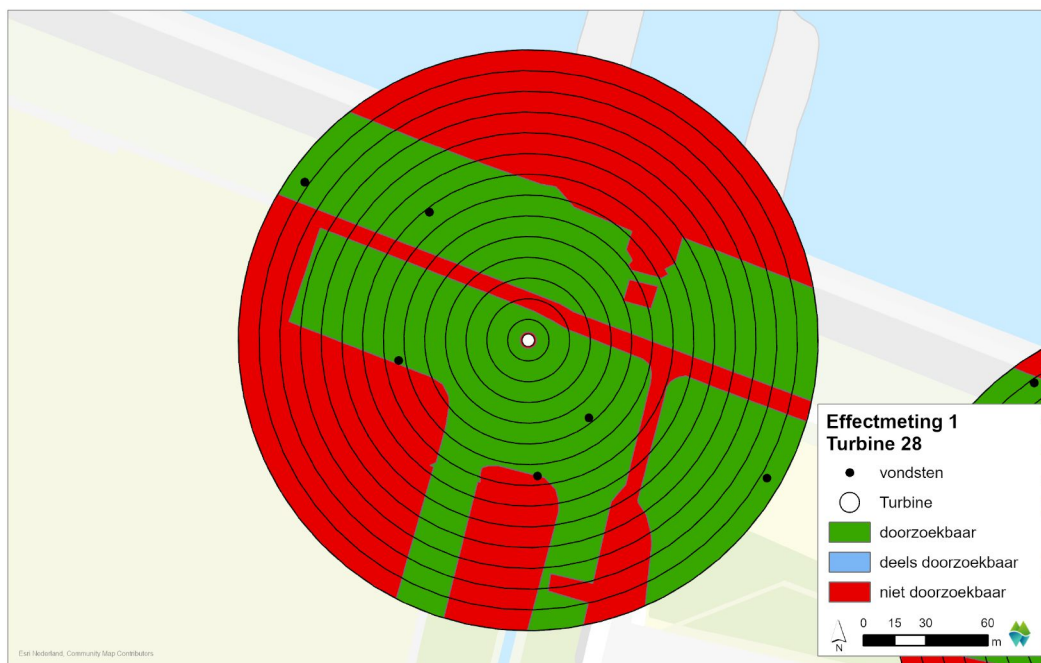
Figuur BI.9 Doorzocht oppervlak per ring in het eerste jaar effectmeting bij windturbines 20 en 21(set 2), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



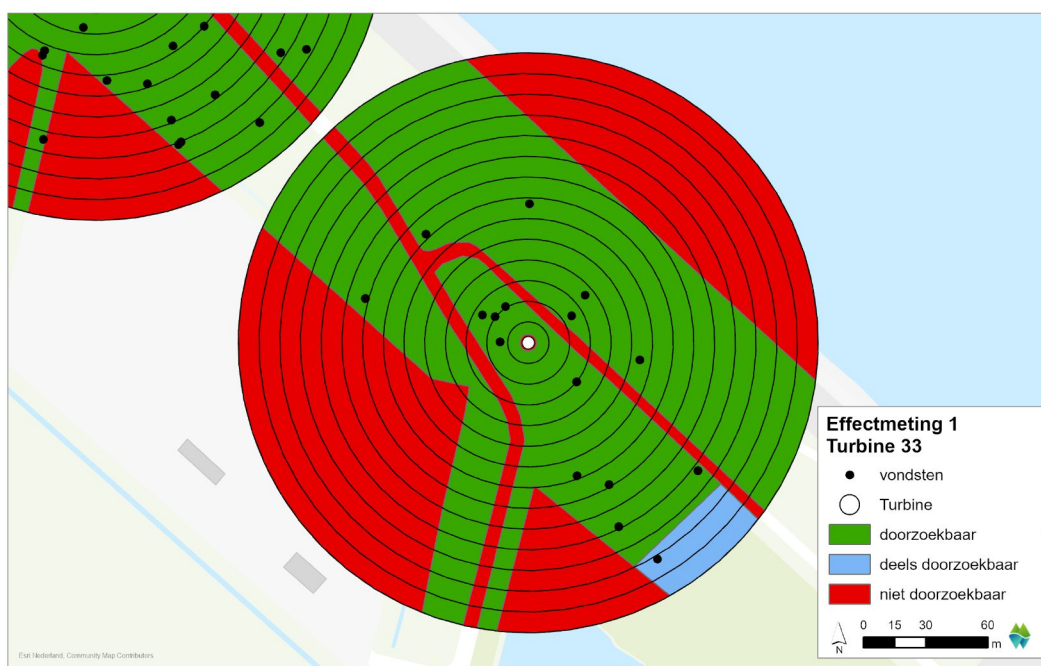
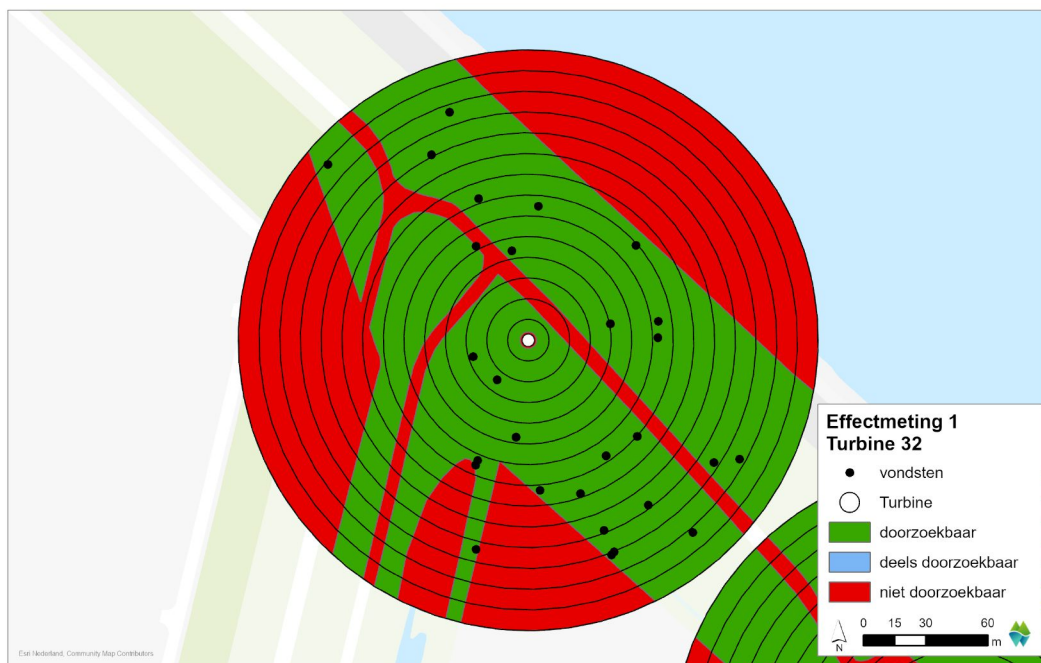
Figuur BI.10 Doorzocht oppervlak per ring in het eerste jaar effectmeting bij windturbines 24 en 25 (set 3), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



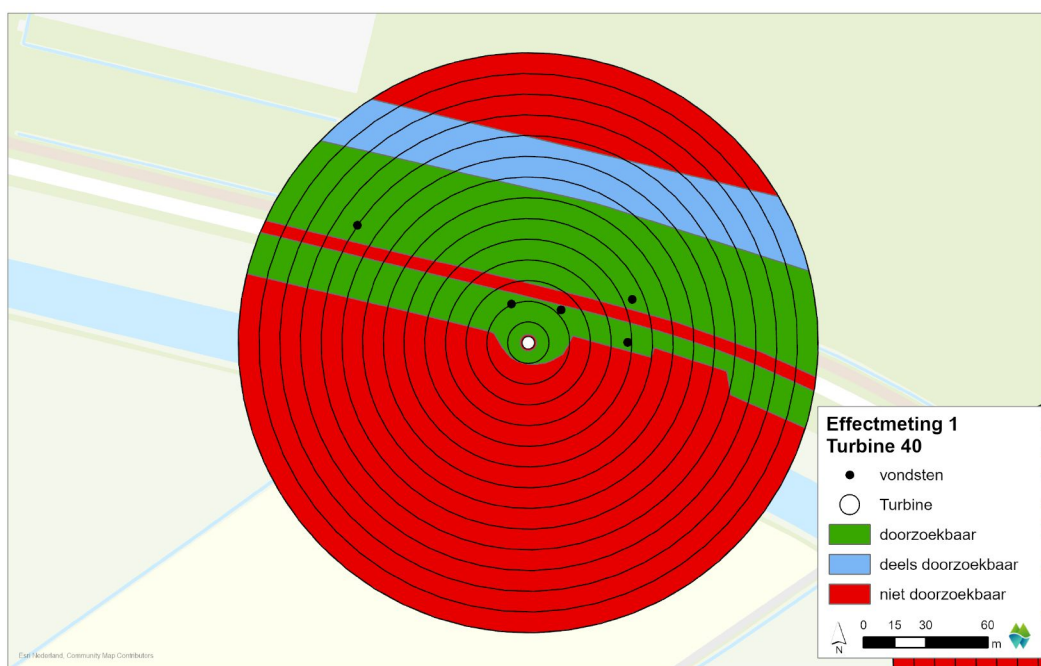
Figuur BI.11 Doorzocht oppervlak per ring in het eerste jaar effectmeting bij windturbines 26 en 27 (set 4), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



Figuur BI.12 Doorzocht oppervlak per ring in het eerste jaar effectmeting bij windturbines 28 en 29 (set 5), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.

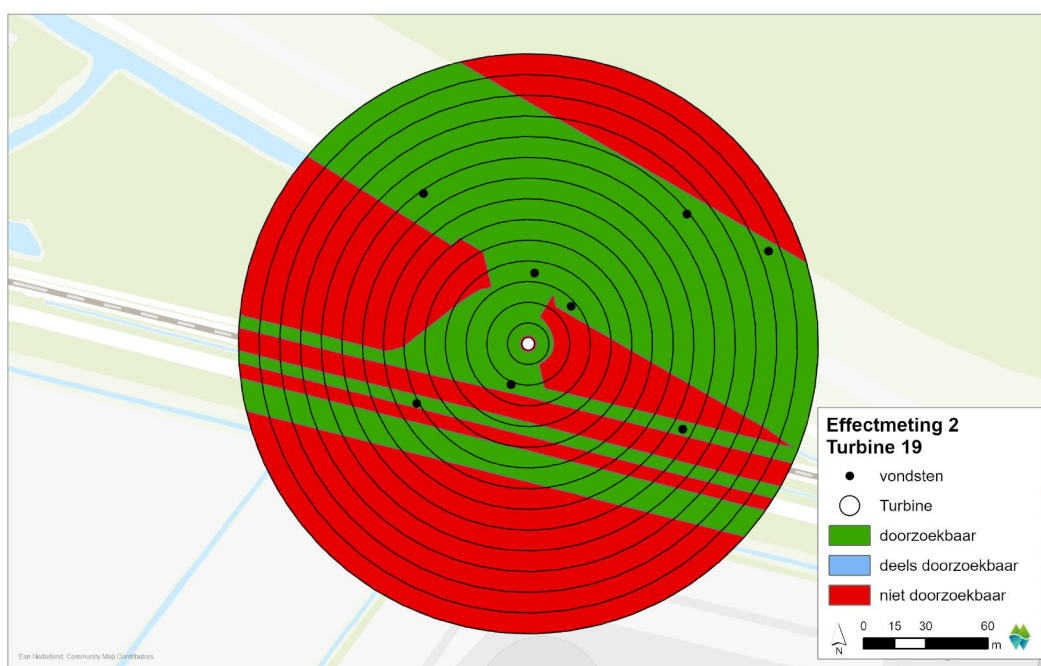
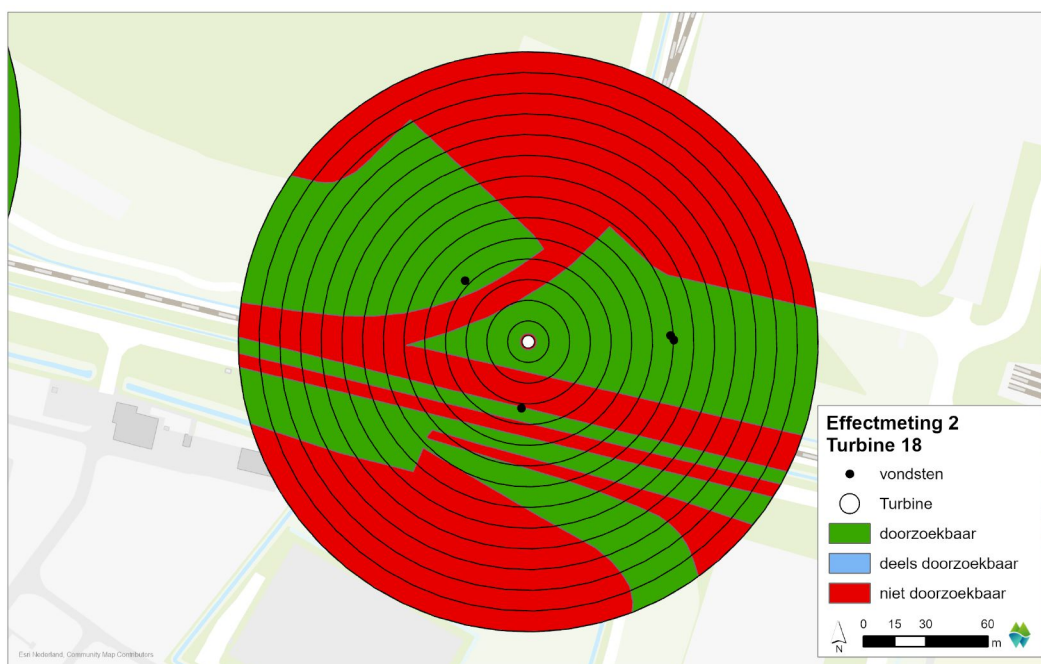


Figuur BI.13 Doorzocht oppervlak per ring in het eerste jaar effectmeting bij windturbines 32 en 33 (set 5), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.

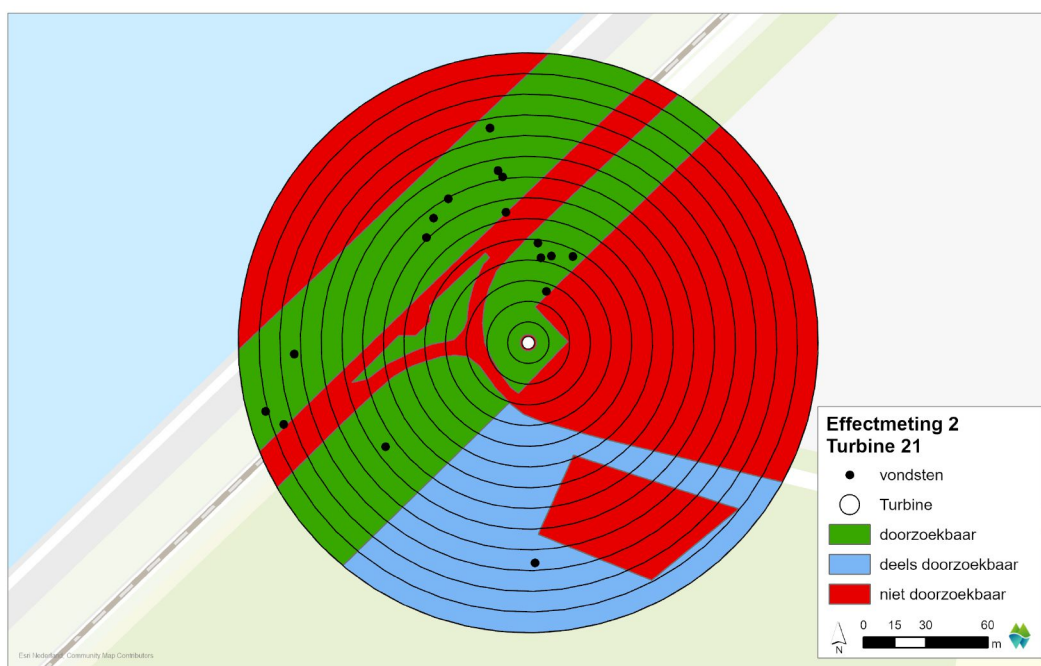
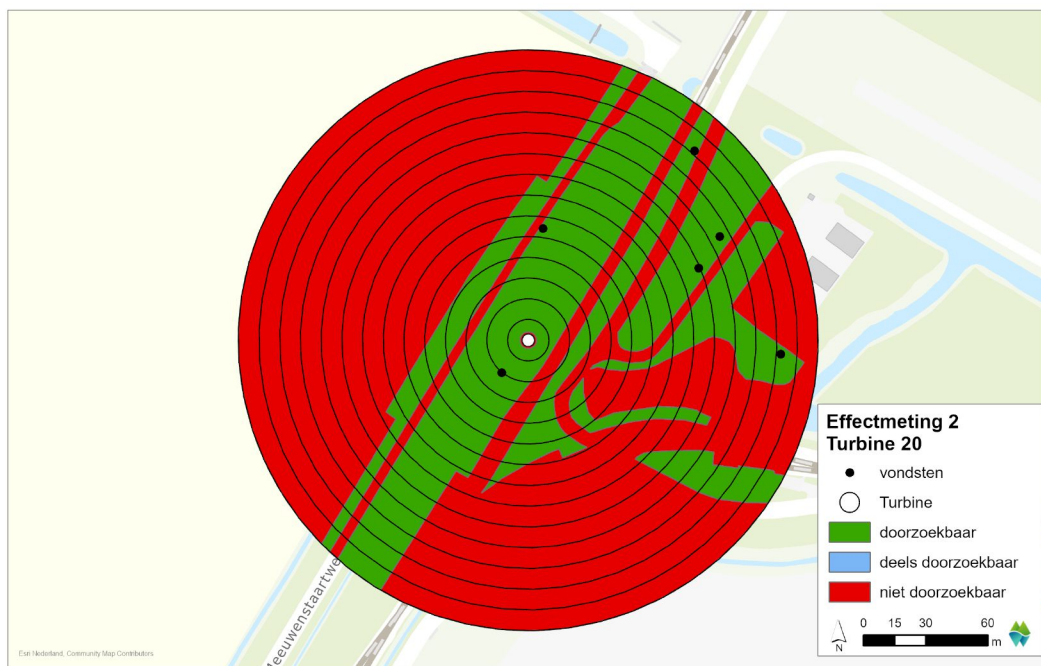


Figuur BI.14 Doorzocht oppervlak per ring in het eerste jaar effectmeting bij windturbines 39 en 40 (set 6), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.

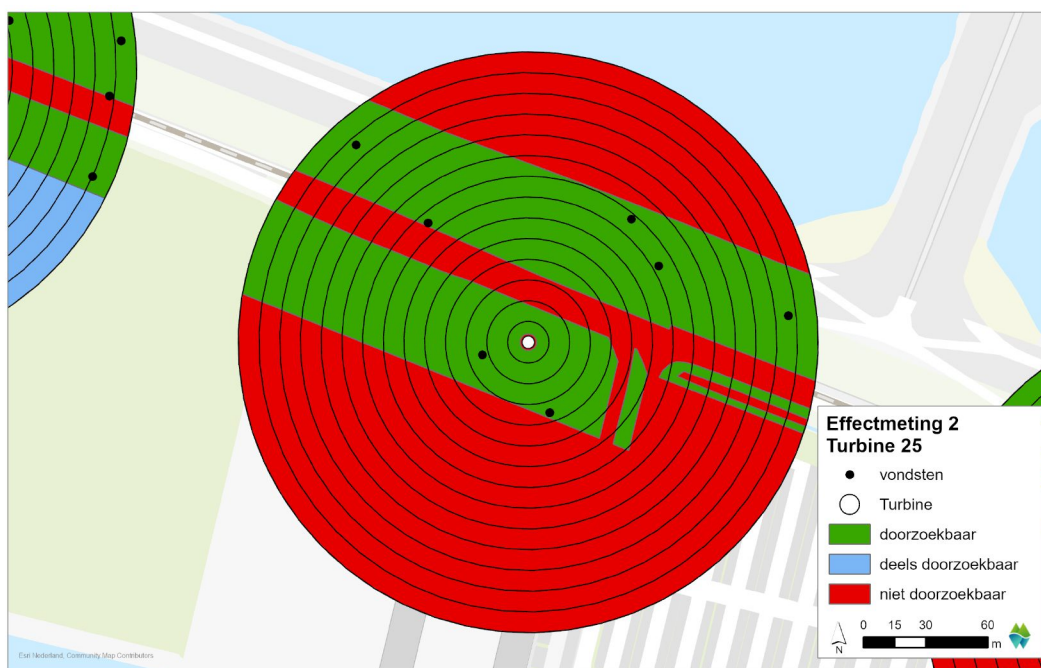
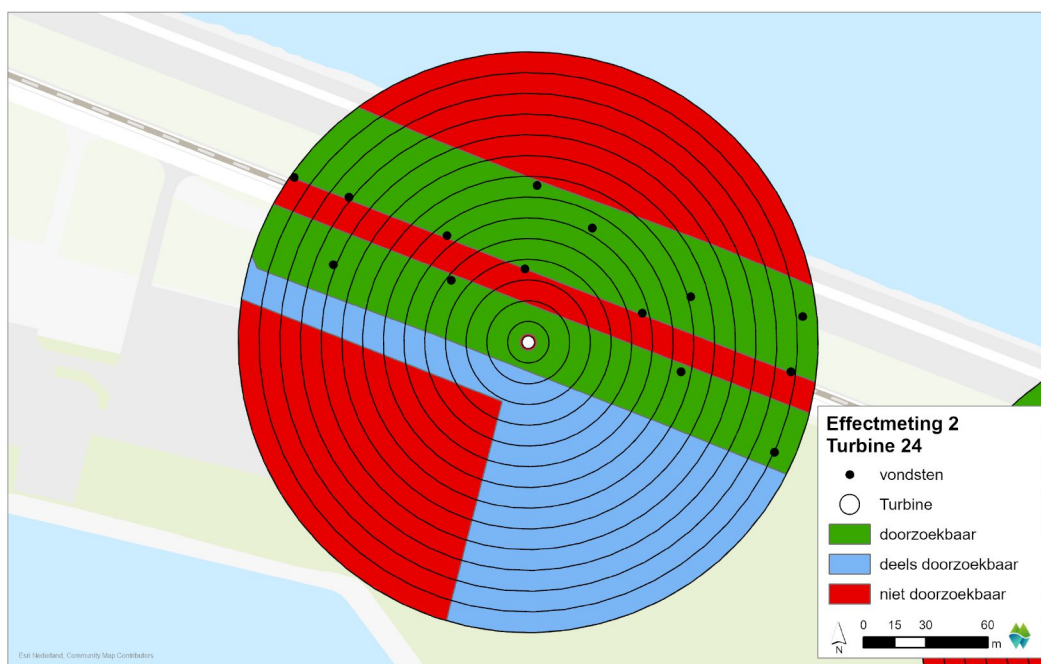
Tweede jaar effectmeting



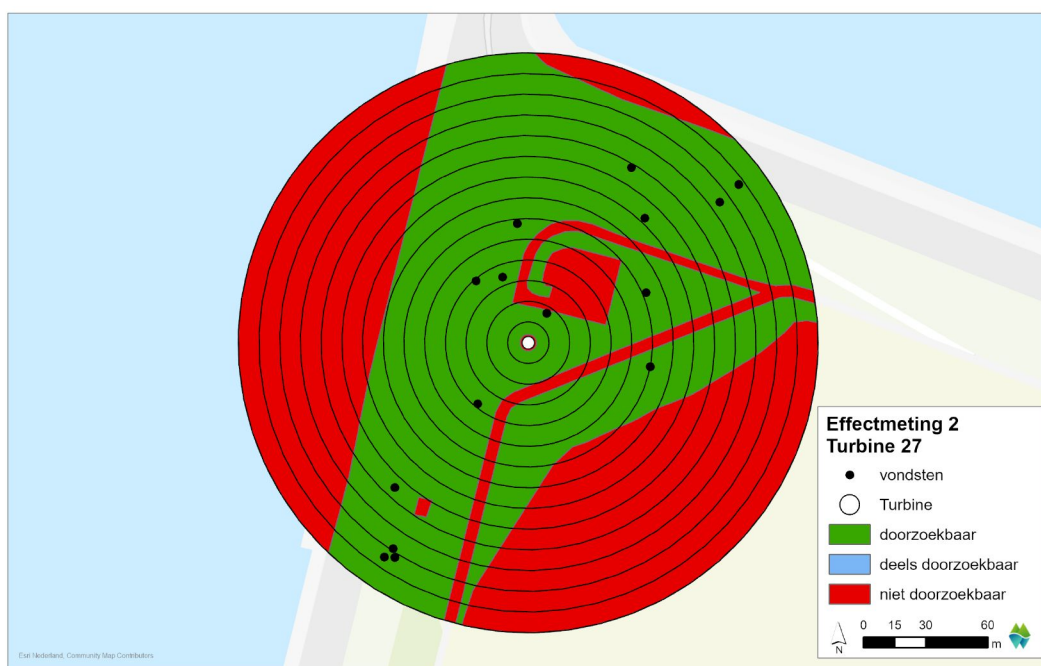
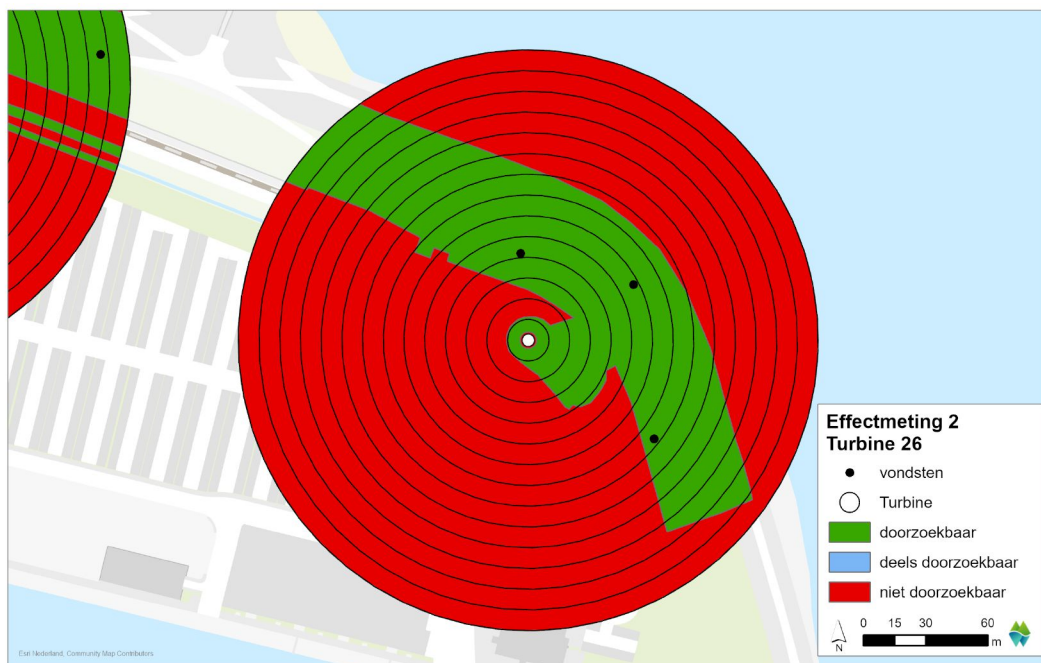
Figuur BI.15 Doorzocht oppervlak per ring in het tweede jaar effectmeting bij windturbines 18 en 19 (set 1), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



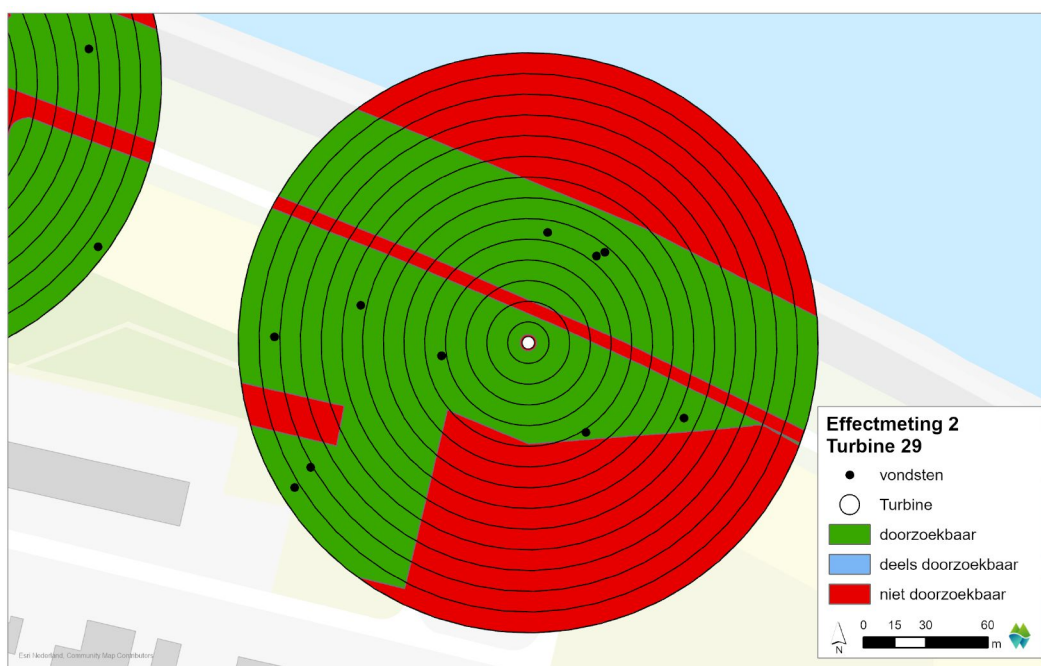
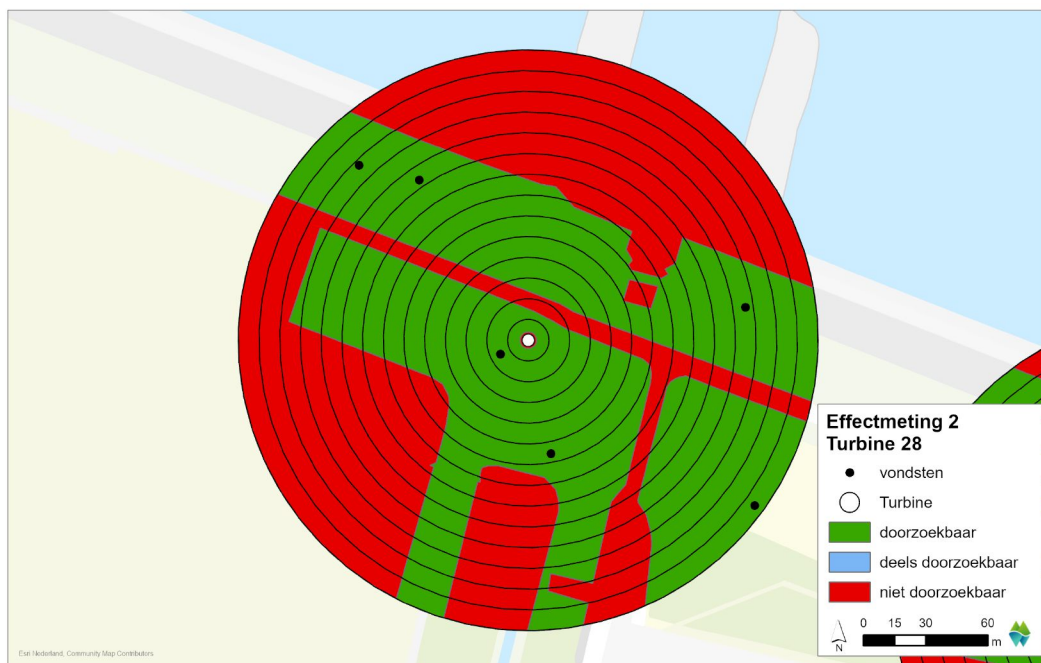
Figuur BI.16 Doorzocht oppervlak per ring in het tweede jaar effectmeting bij windturbines 20 en 21(set 2), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



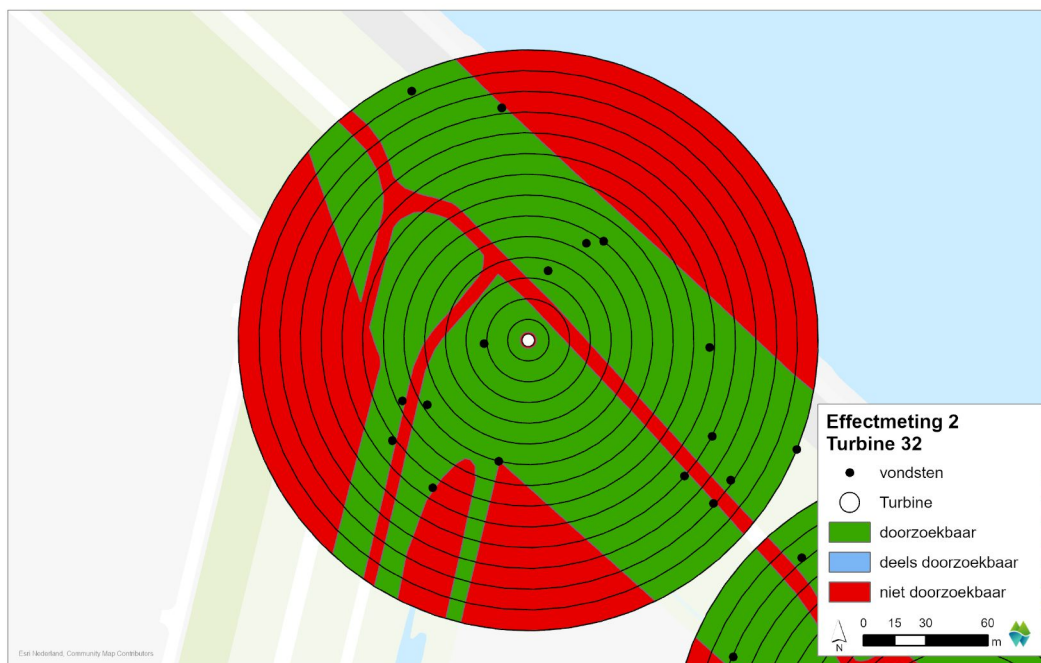
Figuur BI.17 Doorzocht oppervlak per ring in het tweede jaar effectmeting bij windturbines 24 en 25 (set 3), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



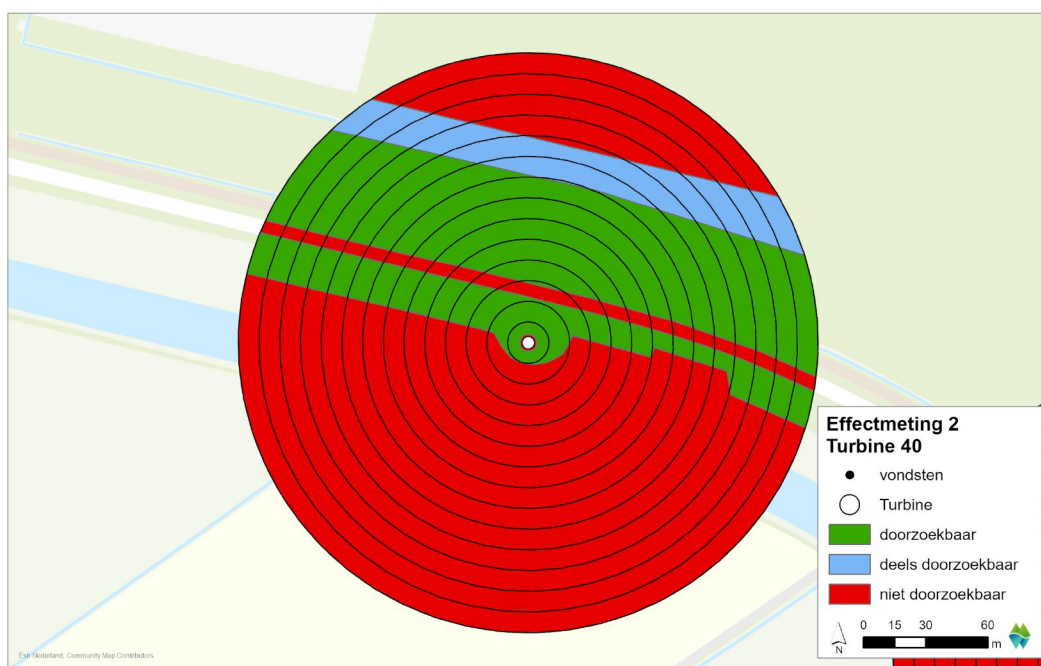
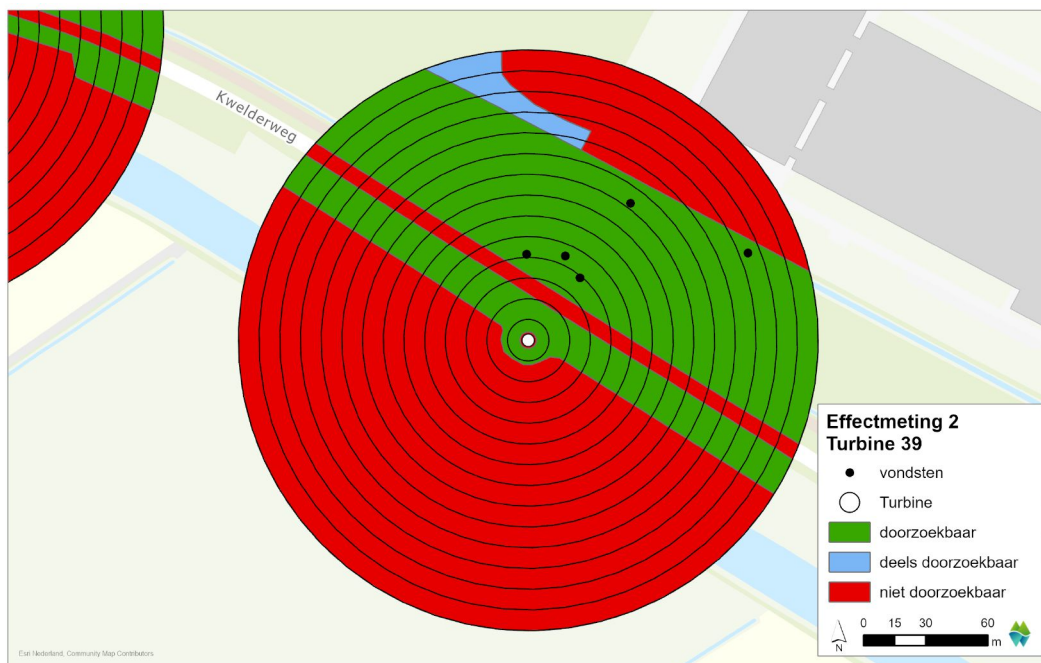
Figuur BI.18 Doorzocht oppervlak per ring in het tweede jaar effectmeting bij windturbines 26 en 27 (set 4), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



Figuur BI.19 Doorzocht oppervlak per ring in het tweede jaar effectmeting bij windturbines 28 en 29 (set 5), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



Figuur BI.20 Doorzocht oppervlak per ring in het tweede jaar effectmeting bij windturbines 32 en 33 (set 5), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



Figuur BI.21 Doorzocht oppervlak per ring in het tweede jaar effectmeting bij windturbines 39 en 40 (set 6), in de rondes waarin de slachtoffers (punten) bij deze windturbines zijn gevonden.



Bijlage II Vondsten in nulmeting en eerste en tweede jaar effectmeting

Tabel BII.1 Overzicht van alle vondsten die als mogelijk of zeker turbineslachtoffer zijn geclassificeerd tijdens de nulmeting (B0) en het eerste (A1) en tweede (A2) jaar van de effectmeting. WT = windturbine. C = Control, I = Impact. De afstand is in meters vanaf het middelpunt van de zoekcirkel. In de laatste kolom staat de correctie voor het doorzocht oppervlak.

Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
1	Kokmeeuw	7-9-2021	B0	T25	C	49,3	1,85
2	Kokmeeuw	7-9-2021	B0	T33	I	133,5	3,03
3	Torenvalk	7-9-2021	B0	T24	I	10,1	1,04
4	Zilvermeeuw	7-9-2021	B0	T27	I	105,9	2,26
5	Zilvermeeuw	16-9-2021	B0	T27	I	66,7	1,26
6	Zilvermeeuw	16-9-2021	B0	T32	I	54,9	1,08
7	Zilvermeeuw	16-9-2021	B0	T32	I	39,0	1,23
8	Gans spec.	21-9-2021	B0	T32	I	109,5	2,42
9	Kokmeeuw	21-9-2021	B0	T21	C	61,4	1,14
10	Kleine mantelmeeuw	28-9-2021	B0	T32	I	15,2	1,20
11	Bergeend	5-10-2021	B0	T21	C	97,1	1,14
12	Koperwiek	12-10-2021	B0	T33	I	85,2	1,61
13	Spreeuw	12-10-2021	B0	T33	I	73,5	1,32
14	Zilvermeeuw	12-10-2021	B0	T21	C	108,2	1,27
15	Bergeend	19-10-2021	B0	T21	C	71,2	1,11
16	Spreeuw	19-10-2021	B0	T39	C	9,1	1,00
17	Zilvermeeuw	19-10-2021	B0	T32	I	77,3	1,30
18	Zilvermeeuw	19-10-2021	B0	T40	I	135,3	2,03
19	Gauwe gans	28-10-2021	B0	T32	I	55,9	1,08
20	Vuurgoudhaan	28-10-2021	B0	T33	I	120,5	2,77
21	Waterral	28-10-2021	B0	T33	I	89,9	1,61
22	Bergeend	3-11-2021	B0	T21	C	74,7	1,11
23	Bergeend	3-11-2021	B0	T21	C	117,8	1,35
24	Drieteenstrandloper	3-11-2021	B0	T33	I	62,2	1,28



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
25	Kokmeeuw	3-11-2021	B0	T27	I	116,4	2,47
26	Kokmeeuw	3-11-2021	B0	T33	I	113,0	2,50
27	Koperwiek	3-11-2021	B0	T32	I	112,2	2,79
28	Koperwiek	3-11-2021	B0	T32	I	119,3	2,79
29	Koperwiek	3-11-2021	B0	T39	C	93,6	2,37
30	Scholekster	3-11-2021	B0	T27	I	109,6	2,26
31	Spreeuw	3-11-2021	B0	T20	I	92,5	3,83
32	Spreeuw	3-11-2021	B0	T20	I	109,9	3,94
33	Spreeuw	3-11-2021	B0	T20	I	115,6	4,55
34	Vink	3-11-2021	B0	T33	I	112,2	2,50
35	Waterral	3-11-2021	B0	T18	I	24,6	2,01
36	Wulp	3-11-2021	B0	T26	C	54,8	2,21
37	Wulp	3-11-2021	B0	T27	I	46,0	1,25
38	Zanglijster	3-11-2021	B0	T28	C	75,8	1,84
39	Bergeend	10-11-2021	B0	T21	C	87,7	1,10
40	Koperwiek	10-11-2021	B0	T26	C	103,4	5,89
41	Merel	10-11-2021	B0	T33	I	113,5	2,50
42	Spreeuw	10-11-2021	B0	T19	C	67,2	1,57
43	Spreeuw	10-11-2021	B0	T20	I	113,3	4,55
44	Spreeuw	10-11-2021	B0	T20	I	84,1	3,75
45	Zanglijster	10-11-2021	B0	T32	I	92,5	2,12
46	Brandgans	17-11-2021	B0	T27	I	50,8	1,16
47	Merel	17-11-2021	B0	T26	C	65,3	2,05
48	Smient	17-11-2021	B0	T21	C	134,5	1,44
49	Spreeuw	17-11-2021	B0	T20	I	29,7	1,37
50	Spreeuw	17-11-2021	B0	T20	I	39,2	1,47
51	Zilvermeeuw	17-11-2021	B0	T26	C	94,8	4,90
52	Zilvermeeuw	17-11-2021	B0	T33	I	108,5	2,23
53	Brandgans	23-11-2021	B0	T25	C	83,9	2,64
54	Grauwe gans	23-11-2021	B0	T27	I	120,5	2,77
55	Houtsnip	23-11-2021	B0	T29	C	21,1	1,12



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
56	Kleine meeuw <i>spec.</i>	23-11-2021	B0	T32	I	36,3	1,23
57	Smient	23-11-2021	B0	T27	I	96,5	2,07
58	Spreeuw	23-11-2021	B0	T19	C	12,0	1,45
59	Zangvogel <i>spec.</i>	23-11-2021	B0	T33	I	139,7	3,03
60	Gans <i>spec.</i>	30-11-2021	B0	T21	C	101,9	1,27
61	Kolgans	30-11-2021	B0	T32	I	39,3	1,23
62	Koperwiek	30-11-2021	B0	T18	I	8,7	1,00
63	Spreeuw	30-11-2021	B0	T20	I	109,8	3,94
64	Stormmeeuw	30-11-2021	B0	T18	I	54,0	1,60
65	Bonte strandloper	7-12-2021	B0	T29	C	128,0	2,70
66	Kauw	7-12-2021	B0	T27	I	29,1	1,46
67	Spreeuw	7-12-2021	B0	T20	I	52,1	1,98
68	Wulp	7-12-2021	B0	T28	C	52,2	1,19
69	Bergeend	14-12-2021	B0	T24	I	103,5	1,22
70	Kanoet	14-12-2021	B0	T26	C	65,0	2,05
71	Kleine meeuw <i>spec.</i>	14-12-2021	B0	T29	C	75,5	1,55
72	Steenloper	14-12-2021	B0	T28	C	41,0	1,09
73	Zilvermeeuw	14-12-2021	B0	T28	C	101,6	2,28
74	Brandgans	21-12-2021	B0	T39	C	105,8	2,79
75	Drieteenstrandloper	28-12-2021	B0	T21	C	104,3	1,27
76	Koperwiek	28-12-2021	B0	T29	C	127,0	2,70
77	Zilvermeeuw	28-12-2021	B0	T27	I	39,4	1,35
78	Zilvermeeuw	28-12-2021	B0	T33	I	117,9	2,50
79	Brandgans	4-1-2022	B0	T24	I	102,2	1,22
80	Grote mantelmeeuw	4-1-2022	B0	T29	C	53,4	1,35
81	Zwarte kraai	4-1-2022	B0	T27	I	48,3	1,25
82	Bergeend	11-1-2022	B0	T24	I	137,0	1,53
83	Brandgans	11-1-2022	B0	T21	C	97,3	1,14
84	Brandgans	11-1-2022	B0	T27	I	101,7	2,26
85	Drieteenstrandloper	11-1-2022	B0	T24	I	126,5	1,50
86	Sperwer	11-1-2022	B0	T19	C	98,6	1,89



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
87	Spreeuw	11-1-2022	B0	T20	I	54,6	1,98
88	Wintertaling	11-1-2022	B0	T20	I	30,6	1,47
89	Zilvermeeuw	11-1-2022	B0	T29	C	40,0	1,07
90	Brandgans	18-1-2022	B0	T21	C	77,8	1,11
91	Brandgans	18-1-2022	B0	T27	I	113,8	2,47
92	Grote meeuw <i>spec.</i>	18-1-2022	B0	T26	C	121,0	10,86
93	Kramsvogel	18-1-2022	B0	T29	C	65,0	1,38
94	Merel	18-1-2022	B0	T18	I	30,0	1,85
95	Brandgans	25-1-2022	B0	T19	C	60,8	1,57
96	Smient	25-1-2022	B0	T28	C	38,2	1,10
97	Steenloper	25-1-2022	B0	T24	I	70,3	1,12
98	Gans <i>spec.</i>	9-2-2022	B0	T19	C	92,6	1,89
99	Grote meeuw <i>spec.</i>	9-2-2022	B0	T28	C	87,7	1,95
100	Kokmeeuw	9-2-2022	B0	T40	I	58,4	2,31
101	Bonte strandloper	15-2-2022	B0	T19	C	72,7	1,78
102	Duif <i>spec.</i>	15-2-2022	B0	T19	C	97,9	1,89
103	Holenduif	15-2-2022	B0	T21	C	75,0	1,11
104	Wilde eend	22-2-2022	B0	T20	I	139,0	6,96
105	Bonte strandloper	3-3-2022	B0	T21	C	131,7	1,44
106	Bonte strandloper	3-3-2022	B0	T21	C	131,7	1,44
107	Grote lijster	9-3-2022	B0	T19	C	91,4	1,89
108	Stadsduif	9-3-2022	B0	T27	I	48,0	1,25
109	Steenloper	9-3-2022	B0	T25	C	114,2	4,47
110	Merel	14-3-2022	B0	T19	C	81,7	1,85
111	Spreeuw	14-3-2022	B0	T26	C	97,8	4,90
112	Brandgans	22-3-2022	B0	T25	C	69,2	2,05
113	Brandgans	22-3-2022	B0	T29	C	86,6	1,86
114	Grote mantelmeeuw	22-3-2022	B0	T32	I	58,9	1,08
115	Kokmeeuw	22-3-2022	B0	T28	C	74,2	1,84
116	Meeuw <i>spec.</i>	22-3-2022	B0	T20	I	82,5	3,75
117	Goudhaan	29-3-2022	B0	T29	C	75,4	1,55



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
118	Merel	29-3-2022	B0	T20	I	135,1	6,96
119	Brandgans	5-4-2022	B0	T32	I	131,5	3,52
120	Bruine kiekendief	5-4-2022	B0	T39	C	23,9	3,22
121	Spreeuw	5-4-2022	B0	T19	C	122,4	3,17
122	Duif spec.	13-4-2022	B0	T27	I	74,6	1,48
123	Grote meeuw spec.	13-4-2022	B0	T27	I	74,7	1,48
124	Waterhoen	13-4-2022	B0	T21	C	43,5	1,19
125	Zilvermeeuw	13-4-2022	B0	T29	C	46,6	1,12
126	Keep	19-4-2022	B0	T24	I	127,6	4,95
127	Kokmeeuw	19-4-2022	B0	T21	C	120,5	1,40
128	Steltloper spec.	19-4-2022	B0	T25	C	124,5	4,94
129	Zilvermeeuw	19-4-2022	B0	T24	I	19,5	1,24
130	Bonte strandloper	27-4-2022	B0	T25	C	NA	1,00
131	Kramsvogel	27-4-2022	B0	T21	C	119,4	1,35
132	Spreeuw	27-4-2022	B0	T24	I	48,1	2,17
133	Vink	27-4-2022	B0	T18	I	84,7	2,05
134	Vink	27-4-2022	B0	T27	I	120,6	2,77
135	Zwarte kraai	4-5-2022	B0	T27	I	101,5	2,26
136	Kleine mantelmeeuw	10-5-2022	B0	T28	C	85,0	1,95
137	Scholekster	10-5-2022	B0	T20	I	90,6	3,83
138	Scholekster	10-5-2022	B0	T28	C	35,6	1,10
139	Tapuit	10-5-2022	B0	T27	I	23,8	1,46
140	Torenvalk	17-5-2022	B0	T32	I	54,0	1,08
141	Zangvogel spec.	24-5-2022	B0	T29	C	129,1	2,70
142	Vogel spec.	31-5-2022	B0	T19	C	15,0	1,45
143	Wilde eend	31-5-2022	B0	T29	C	50,6	1,35
144	Meeuw spec.	6-6-2022	B0	T19	C	111,1	2,77
145	Wilde eend	15-6-2022	B0	T19	C	70,6	1,78
146	Gans spec.	21-6-2022	B0	T24	I	121,9	4,95
147	Gierzwaluw	21-6-2022	B0	T26	C	78,0	2,28
148	Kauw	21-6-2022	B0	T27	I	86,6	1,78



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
149	Fazant	29-6-2022	B0	T19	C	38,8	1,69
150	Meeuw <i>spec.</i>	29-6-2022	B0	T19	C	45,9	1,77
151	Zilvermeeuw	29-6-2022	B0	T25	C	63,5	2,05
152	Grote mantelmeeuw	5-7-2022	B0	T21	C	117,6	3,88
153	Kneu	5-7-2022	B0	T39	C	104,0	2,79
154	Krakeend	5-7-2022	B0	T19	C	9,6	1,00
155	Spreeuw	5-7-2022	B0	T39	C	107,8	2,79
156	Kokmeeuw	14-7-2022	B0	T24	I	20,6	2,38
157	Kokmeeuw	20-7-2022	B0	T20	I	53,7	1,98
158	Vink	20-7-2022	B0	T33	I	49,4	1,19
159	Vogel <i>spec.</i>	20-7-2022	B0	T19	C	47,4	1,77
160	Zilvermeeuw	20-7-2022	B0	T24	I	69,5	2,07
161	Kleine mantelmeeuw	26-7-2022	B0	T19	C	88,8	1,85
162	Kokmeeuw	26-7-2022	B0	T20	I	46,6	1,71
163	Kokmeeuw	26-7-2022	B0	T28	C	43,3	1,09
164	Kokmeeuw	26-7-2022	B0	T32	I	62,0	1,10
165	Kokmeeuw	26-7-2022	B0	T33	I	133,5	3,03
166	Roofvogel <i>spec.</i>	26-7-2022	B0	T21	C	105,5	3,32
167	Kleine mantelmeeuw	2-8-2022	B0	T27	I	108,5	2,26
168	Meeuw <i>spec.</i>	2-8-2022	B0	T29	C	130,1	2,84
169	Zilvermeeuw	2-8-2022	B0	T32	I	73,6	1,30
170	Bonte strandloper	25-10-2022	A1	T21	C	112,8	3,88
171	Kokmeeuw	25-10-2022	A1	T39	C	78,4	2,43
172	Kokmeeuw	25-10-2022	A1	T40	I	54,3	2,31
173	Koperwiek	25-10-2022	A1	T32	I	116,2	2,79
174	Torenvalk	25-10-2022	A1	T32	I	72,4	1,30
175	Zilvermeeuw	25-10-2022	A1	T27	I	112,7	2,47
176	Waterral	2-11-2022	A1	T25	C	71,5	2,12
177	Waterral	2-11-2022	A1	T32	I	63,6	1,10
178	Zanglijster	2-11-2022	A1	T32	I	62,6	1,10
179	Zanglijster	2-11-2022	A1	T33	I	81,4	1,61



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
180	Zilvermeeuw	2-11-2022	A1	T32	I	98,2	2,12
181	Bergeend	8-11-2022	A1	T19	C	16,9	1,45
182	Kokmeeuw	8-11-2022	A1	T26	C	123,4	10,86
183	Kokmeeuw	8-11-2022	A1	T32	I	110,9	2,79
184	Waterral	16-11-2022	A1	T18	I	61,2	1,54
185	Zanglijster	16-11-2022	A1	T18	I	30,5	1,85
186	Zanglijster	16-11-2022	A1	T19	C	59,9	1,67
187	Zanglijster	16-11-2022	A1	T24	I	51,4	2,10
188	Houtsnip	22-11-2022	A1	T32	I	64,7	1,10
189	Merel	22-11-2022	A1	T29	C	105,0	2,42
190	Spreeuw	22-11-2022	A1	T25	C	41,2	1,85
191	Stormmeeuw	22-11-2022	A1	T32	I	40,5	1,12
192	Kokmeeuw	5-12-2022	A1	T28	C	47,6	1,09
193	Kramsvogel	5-12-2022	A1	T20	I	134,6	6,96
194	Merel	5-12-2022	A1	T28	C	78,1	1,84
195	Merel	5-12-2022	A1	T32	I	65,3	1,10
196	Spreeuw	5-12-2022	A1	T33	I	24,6	1,34
197	Watersnip	5-12-2022	A1	T26	C	29,0	2,38
198	Wulp	5-12-2022	A1	T21	C	109,5	3,32
199	Zilvermeeuw	5-12-2022	A1	T24	I	0,0	1,00
200	Zwarte roodstaart	5-12-2022	A1	T32	I	117,0	2,79
201	Bergeend	20-12-2022	A1	T33	I	68,4	1,28
202	Bonte strandloper	20-12-2022	A1	T27	I	10,4	1,05
203	Graspieper	20-12-2022	A1	T27	I	96,8	2,07
204	Spreeuw	20-12-2022	A1	T24	I	57,0	2,10
205	Spreeuw	20-12-2022	A1	T27	I	36,9	1,35
206	Steltloper spec.	20-12-2022	A1	T21	C	127,1	4,38
207	Kokmeeuw	29-12-2022	A1	T26	C	61,5	2,05
208	Kokmeeuw	29-12-2022	A1	T33	I	72,0	1,32
209	Lijster spec.	29-12-2022	A1	T18	I	91,0	2,28
210	Bergeend	3-1-2023	A1	T21	C	100,6	3,32



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
211	Houtduif	3-1-2023	A1	T32	I	100,8	2,42
212	Kokmeeuw	3-1-2023	A1	T27	I	46,3	1,25
213	Stadsduif	3-1-2023	A1	T33	I	99,0	1,94
214	Steenloper	3-1-2023	A1	T27	I	52,3	1,16
215	Stormmeeuw	3-1-2023	A1	T32	I	70,1	1,30
216	Zilvermeeuw	3-1-2023	A1	T24	I	64,3	2,07
217	Zilvermeeuw	3-1-2023	A1	T25	C	80,8	2,64
218	Spreeuw	18-1-2023	A1	T32	I	128,6	3,16
219	Steenloper	18-1-2023	A1	T25	C	124,6	4,94
220	Toendrarietgans	18-1-2023	A1	T20	I	123,8	5,21
221	Zilvermeeuw	18-1-2023	A1	T27	I	96,3	2,07
222	Zilvermeeuw	18-1-2023	A1	T32	I	110,1	2,79
223	Grote meeuw spec.	24-1-2023	A1	T28	C	63,4	1,45
224	Kokmeeuw	24-1-2023	A1	T27	I	62,5	1,26
225	Koperwiek	24-1-2023	A1	T32	I	72,6	1,30
226	Wulp	24-1-2023	A1	T33	I	13,7	1,17
227	Bergeend	1-2-2023	A1	T21	C	71,2	2,34
228	Steenloper	14-2-2023	A1	T24	I	117,2	4,49
229	Zilvermeeuw	14-2-2023	A1	T32	I	103,9	2,42
230	Grauwe gans	22-2-2023	A1	T21	C	127,5	4,38
231	Kokmeeuw	7-3-2023	A1	T33	I	78,7	1,32
232	Eend spec.	15-3-2023	A1	T33	I	30,1	1,17
233	Graspieper	15-3-2023	A1	T39	C	120,6	3,66
234	Grauwe gans	15-3-2023	A1	T21	C	80,8	2,31
235	Grote meeuw spec.	15-3-2023	A1	T27	I	76,2	1,48
236	Grote meeuw spec.	15-3-2023	A1	T32	I	67,2	1,10
237	Rotgans	15-3-2023	A1	T21	C	90,8	2,54
238	Stadsduif	15-3-2023	A1	T25	C	68,3	2,05
239	Grote meeuw spec.	21-3-2023	A1	T39	C	93,8	2,37
240	Kokmeeuw	21-3-2023	A1	T29	C	55,0	1,35
241	Spreeuw	21-3-2023	A1	T32	I	62,9	1,10



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
242	Spreeuw	21-3-2023	A1	T33	I	67,1	1,28
243	Houtduif	28-3-2023	A1	T27	I	54,6	1,16
244	Kramsvogel	28-3-2023	A1	T32	I	27,9	1,19
245	Merel	28-3-2023	A1	T33	I	121,6	2,77
246	Blauwe reiger	3-4-2023	A1	T32	I	122,1	3,16
247	Grote meeuw spec.	11-4-2023	A1	T27	I	56,5	1,16
248	Brandgans	2-5-2023	A1	T33	I	26,0	1,34
249	Fazant	2-5-2023	A1	T32	I	98,6	2,12
250	Koereiger	2-5-2023	A1	T33	I	20,5	1,34
251	Kuifeend	2-5-2023	A1	T20	I	114,5	4,55
252	Nijlgans	2-5-2023	A1	T32	I	78,2	1,30
253	Stormmeeuw	2-5-2023	A1	T33	I	20,5	1,34
254	Brandgans	9-5-2023	A1	T29	C	101,7	2,42
255	Stadsduif	9-5-2023	A1	T21	C	83,3	2,31
256	Stormmeeuw	9-5-2023	A1	T20	I	102,9	3,94
257	Wilde eend	9-5-2023	A1	T19	C	138,2	3,52
258	Zwartkop	9-5-2023	A1	T24	I	136,2	5,44
259	Kokmeeuw	16-5-2023	A1	T27	I	101,8	2,26
260	Brandgans	23-5-2023	A1	T27	I	130,6	3,86
261	Zwarte kraai	23-5-2023	A1	T28	C	133,1	3,09
262	Kauw	31-5-2023	A1	T25	C	27,6	1,36
263	Kauw	31-5-2023	A1	T29	C	34,1	1,07
264	Patrijs	31-5-2023	A1	T19	C	4,4	1,00
265	Houtduif	6-6-2023	A1	T39	C	53,5	2,23
266	Steenloper	6-6-2023	A1	T21	C	134,0	4,85
267	Bonte vliegenvanger	20-6-2023	A1	T20	I	98,0	3,83
268	Brandgans	20-6-2023	A1	T19	C	119,1	2,77
269	Kokmeeuw	28-6-2023	A1	T28	C	65,6	1,45
270	Kokmeeuw	28-6-2023	A1	T39	C	62,3	2,19
271	Spreeuw	28-6-2023	A1	T33	I	54,4	1,28
272	Holenduif	4-7-2023	A1	T19	C	16,3	1,45



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
273	Holenduif	4-7-2023	A1	T32	I	47,2	1,12
274	Spreeuw	4-7-2023	A1	T24	I	52,3	2,10
275	Visdief	4-7-2023	A1	T33	I	102,6	2,23
276	Wulp	4-7-2023	A1	T20	I	123,6	5,21
277	Kokmeeuw	12-7-2023	A1	T27	I	50,6	1,16
278	Kokmeeuw	12-7-2023	A1	T29	C	60,4	1,38
279	Spreeuw	12-7-2023	A1	T20	I	102,3	3,94
280	Zilvermeeuw	12-7-2023	A1	T25	C	85,8	2,64
281	Zilvermeeuw	12-7-2023	A1	T25	C	20,9	1,36
282	Zilvermeeuw	12-7-2023	A1	T25	C	35,1	1,62
283	Kleine mantelmeeuw	18-7-2023	A1	T21	C	106,2	3,32
284	Kokmeeuw	18-7-2023	A1	T18	I	40,5	1,65
285	Kokmeeuw	18-7-2023	A1	T32	I	51,9	1,08
286	Kokmeeuw	18-7-2023	A1	T40	I	47,9	2,43
287	Kokmeeuw	18-7-2023	A1	T40	I	22,4	3,31
288	Kokmeeuw	18-7-2023	A1	T40	I	20,3	3,31
289	Stormmeeuw	18-7-2023	A1	T25	C	95,3	3,38
290	Visdief	18-7-2023	A1	T25	C	79,7	2,12
291	Torenvalk	25-7-2023	A1	T27	I	43,5	1,25
292	Zilvermeeuw	25-7-2023	A1	T32	I	24,4	1,19
293	Wulp	1-8-2023	A1	T21	C	115,3	3,88
294	Aalscholver	8-8-2023	A1	T19	C	34,8	1,69
295	Kokmeeuw	8-8-2023	A1	T27	I	11,8	1,05
296	Aalscholver	15-8-2023	A1	T32	I	69,2	1,10
297	Kokmeeuw	15-8-2023	A1	T24	I	40,0	2,54
298	Kokmeeuw	15-8-2023	A1	T32	I	43,9	1,12
299	Kokmeeuw	15-8-2023	A1	T33	I	35,7	1,17
300	Visdief	15-8-2023	A1	T27	I	72,8	1,48
301	Zilvermeeuw	15-8-2023	A1	T21	C	99,8	2,54
302	Graspieper	21-8-2023	A1	T40	I	100,2	2,80
303	Spreeuw	18-9-2023	A1	T32	I	107,3	2,42



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
304	Zilvermeeuw	18-9-2023	A1	T28	C	132,1	3,09
305	Kleine mantelmeeuw	27-9-2023	A1	T29	C	74,7	1,55
306	Aalscholver	10-10-2023	A1	T26	C	24,6	2,38
307	Bergeend	10-10-2023	A1	T21	C	127,1	4,38
308	Duif <i>spec.</i>	10-10-2023	A1	T27	I	89,2	1,78
309	Zanglijster	10-10-2023	A1	T18	I	113,1	2,79
310	Zilvermeeuw	10-10-2023	A1	T29	C	85,4	1,86
311	Kauw	16-10-2023	A1	T39	C	91,2	2,37
312	Stadsduif	16-10-2023	A1	T19	C	22,9	1,54
313	Stadsduif	16-10-2023	A1	T21	C	129,4	4,38
314	Zilvermeeuw	16-10-2023	A1	T29	C	128,0	2,70
315	Duif <i>spec.</i>	24-10-2023	A2	T21	C	131,1	4,85
316	Grote meeuw <i>spec.</i>	24-10-2023	A2	T29	C	83,4	1,86
317	Kokmeeuw	24-10-2023	A2	T20	I	54,3	1,98
318	Kokmeeuw	24-10-2023	A2	T27	I	82,3	1,78
319	Spreeuw	24-10-2023	A2	T32	I	67,5	1,10
320	Stadsduif	24-10-2023	A2	T19	C	21,4	1,54
321	Zangvogel <i>spec.</i>	24-10-2023	A2	T29	C	51,5	1,35
322	Zilvermeeuw	31-10-2023	A2	T25	C	126,3	4,94
323	Bontbekplevier	7-11-2023	A2	T27	I	57,7	1,16
324	Bonte strandloper	7-11-2023	A2	T29	C	54,1	1,35
325	Gierzwaluw	7-11-2023	A2	T24	I	63,1	2,07
326	Steenloper	7-11-2023	A2	T25	C	75,1	2,12
327	Tapuit	7-11-2023	A2	T28	C	106,1	2,28
328	Waterral	7-11-2023	A2	T28	C	135,3	3,09
329	Zanglijster	7-11-2023	A2	T29	C	122,5	2,70
330	Zangvogel <i>spec.</i>	7-11-2023	A2	T27	I	127,2	2,77
331	Spreeuw	15-11-2023	A2	T28	C	117,3	2,79
332	Zanglijster	15-11-2023	A2	T29	C	82,8	1,86
333	Bonte strandloper	21-11-2023	A2	T33	I	98,3	1,94
334	Houtsnip	21-11-2023	A2	T28	C	93,4	2,08



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
335	Merel	21-11-2023	A2	T32	I	132,6	3,52
336	Spreeuw	21-11-2023	A2	T32	I	99,9	2,12
337	Steenloper	21-11-2023	A2	T25	C	126,3	4,94
338	Zanglijster	21-11-2023	A2	T33	I	119,4	2,50
339	Zangvogel spec.	21-11-2023	A2	T33	I	112,5	2,50
340	Houtsnip	28-11-2023	A2	T32	I	84,9	1,87
341	Bonte strandloper	6-12-2023	A2	T27	I	39,1	1,35
342	Tureluur	6-12-2023	A2	T32	I	118,8	2,79
343	Waterral	6-12-2023	A2	T27	I	34,1	1,35
344	Waterral	6-12-2023	A2	T28	C	15,0	1,17
345	Zilvermeeuw	14-12-2023	A2	T39	C	114,2	3,62
346	Bonte strandloper	19-12-2023	A2	T21	C	81,0	1,82
347	Bonte strandloper	19-12-2023	A2	T21	C	46,9	1,89
348	Holenduif	19-12-2023	A2	T18	I	68,8	1,54
349	Tureluur	19-12-2023	A2	T32	I	119,1	2,79
350	Wintertaling	19-12-2023	A2	T19	C	85,3	1,85
351	Wintertaling	2-1-2024	A2	T27	I	61,8	1,26
352	Bergeend	30-1-2024	A2	T21	C	106,4	2,11
353	Drieteenmeeuw	30-1-2024	A2	T29	C	57,2	1,35
354	Fazant	30-1-2024	A2	T33	I	124,3	2,77
355	Gans spec.	30-1-2024	A2	T24	I	130,1	2,35
356	Putter	30-1-2024	A2	T24	I	111,3	2,15
357	Stormmeeuw	30-1-2024	A2	T24	I	101,2	2,03
358	Fazant	13-2-2024	A2	T20	I	122,2	5,21
359	Spreeuw	13-2-2024	A2	T18	I	42,3	1,65
360	Steenloper	13-2-2024	A2	T26	C	42,1	2,32
361	Merel	20-2-2024	A2	T26	C	57,5	2,21
362	Vogel spec.	20-2-2024	A2	T18	I	70,2	1,87
363	Rietgors	27-2-2024	A2	T27	I	16,7	1,05
364	Spreeuw	27-2-2024	A2	T28	C	55,8	1,19
365	Steenloper	27-2-2024	A2	T24	I	64,8	1,35



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
366	Drieteenstrandloper	6-3-2024	A2	T32	I	57,7	1,08
367	Rietgors	6-3-2024	A2	T24	I	133,1	2,35
368	Kramsvogel	12-3-2024	A2	T24	I	75,2	1,43
369	Kramsvogel	12-3-2024	A2	T24	I	81,5	1,71
370	Merel	12-3-2024	A2	T19	C	61,1	1,57
371	Merel	12-3-2024	A2	T32	I	34,9	1,23
372	Spreeuw	12-3-2024	A2	T20	I	121,6	5,21
373	Spreeuw	12-3-2024	A2	T20	I	89,4	3,75
374	Steenloper	12-3-2024	A2	T24	I	138,1	2,35
375	Steenloper	12-3-2024	A2	T24	I	35,5	1,41
376	Steenloper	12-3-2024	A2	T32	I	60,0	1,08
377	Steenloper	12-3-2024	A2	T32	I	100,2	2,42
378	Turkse tortel	12-3-2024	A2	T21	C	63,9	1,81
379	Bonte strandloper	20-3-2024	A2	T21	C	79,4	1,81
380	Bonte strandloper	20-3-2024	A2	T21	C	75,5	1,81
381	Merel	20-3-2024	A2	T33	I	110,2	2,50
382	Rietgors	20-3-2024	A2	T29	C	53,3	1,35
383	Spreeuw	20-3-2024	A2	T24	I	47,8	1,35
384	Spreeuw	20-3-2024	A2	T27	I	95,0	2,07
385	Spreeuw	20-3-2024	A2	T33	I	111,7	2,50
386	Zanglijster	20-3-2024	A2	T21	C	84,4	1,82
387	Zanglijster	20-3-2024	A2	T24	I	56,8	1,35
388	Zilvermeeuw	20-3-2024	A2	T29	C	42,3	1,12
389	Zwarte roodstaart	20-3-2024	A2	T25	C	72,9	2,12
390	Duif <i>spec.</i>	26-3-2024	A2	T39	C	44,5	2,31
391	Roodborst	26-3-2024	A2	T32	I	87,6	1,87
392	Vogel <i>spec.</i>	26-3-2024	A2	T32	I	81,4	1,87
393	Zanglijster	4-4-2024	A2	T32	I	139,9	3,52
394	Zilvermeeuw	9-4-2024	A2	T19	C	98,9	1,89
395	Kokmeeuw	16-4-2024	A2	T32	I	112,8	2,79
396	Merel	24-4-2024	A2	T29	C	132,6	2,84



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
397	Zilvermeeuw	30-4-2024	A2	T19	C	27,5	1,54
398	Kokmeeuw	16-5-2024	A2	T27	I	114,6	2,47
399	Steenloper	16-5-2024	A2	T20	I	105,2	3,94
400	Zilvermeeuw	30-5-2024	A2	T19	C	124,4	3,17
401	Kauw	11-6-2024	A2	T27	I	60,1	1,26
402	Ekster	18-6-2024	A2	T19	C	88,4	1,85
403	Vogel spec.	26-6-2024	A2	T27	I	118,9	2,47
404	Kokmeeuw	2-7-2024	A2	T21	C	70,7	1,81
405	Gierwaluw	11-7-2024	A2	T21	C	48,5	1,89
406	Huiswaluw	11-7-2024	A2	T39	C	41,4	2,31
407	Kleine mantelmeeuw	11-7-2024	A2	T27	I	124,5	2,77
408	Kleine meeuw spec.	11-7-2024	A2	T32	I	60,0	1,10
409	Zilvermeeuw	11-7-2024	A2	T25	C	77,5	2,12
410	Kokmeeuw	24-7-2024	A2	T25	C	22,9	1,36
411	Zilvermeeuw	24-7-2024	A2	T25	C	35,6	1,62
412	Duif spec.	30-7-2024	A2	T27	I	122,0	2,77
413	Torenvalk	30-7-2024	A2	T18	I	32,2	1,85
414	Zilvermeeuw	30-7-2024	A2	T26	C	77,2	2,28
415	Kleine mantelmeeuw	14-8-2024	A2	T21	C	105,2	2,47
416	Kokmeeuw	14-8-2024	A2	T21	C	41,6	1,89
417	Aalscholver	28-8-2024	A2	T24	I	75,6	1,43
418	Grote meeuw spec.	28-8-2024	A2	T33	I	70,5	1,32
419	Gauwe gans	5-9-2024	A2	T33	I	128,6	2,77
420	Kleine mantelmeeuw	5-9-2024	A2	T29	C	121,0	2,70
421	Zilvermeeuw	5-9-2024	A2	T32	I	21,5	1,19
422	Bontbekplevier	10-9-2024	A2	T21	C	113,1	2,80
423	Duif spec.	10-9-2024	A2	T27	I	38,3	1,35
424	Kokmeeuw	10-9-2024	A2	T21	C	43,4	1,89
425	Spreeuw	10-9-2024	A2	T21	C	124,4	3,08
426	Spreeuw	10-9-2024	A2	T21	C	26,3	3,27
427	Buizerd	18-9-2024	A2	T19	C	34,3	1,69



Nr	Soort	Datum	Meting	WT	C/I	Afstand	Gecorrigeerd
428	Kleine mantelmeeuw	18-9-2024	A2	T27	I	98,1	2,07
429	Stadsduif	18-9-2024	A2	T33	I	22,0	1,34
430	Kievit	23-9-2024	A2	T20	I	20,2	1,37
431	Kokmeeuw	23-9-2024	A2	T21	C	85,2	1,82
432	Roodborst	23-9-2024	A2	T24	I	127,6	2,26
433	Sperwer	2-10-2024	A2	T39	C	82,6	2,13
434	Zilvermeeuw	8-10-2024	A2	T32	I	54,5	1,08
435	Roek	16-10-2024	A2	T39	C	39,1	2,50
436	Roodborst	16-10-2024	A2	T33	I	121,5	2,77



Bijlage III Overzicht aantal (gecorrigeerde) vondsten per soort

Tabel BIII.1 Overzicht van het aantal ruwe vondsten en het aantal na correctie voor het doorzoekbaar oppervlak bij zowel de ongeverfde controle windturbines (C) als de impact turbines (I) met een zwarte wiek. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de nulmeting en de effectmeting.

Nr	Soort	Soortgroep	Vondsten		Gecorrigeerd	
			C	I	C	I
1	Aalscholver	Overige watervogels	2	2	4,07	2,53
2	Bergeend	Eenden	10	3	19,38	4,04
3	Blauwe reiger	Overige watervogels	0	1	0,00	3,16
4	Bontbekplevier	Steltlopers	1	1	2,80	1,16
5	Bonte strandloper	Steltlopers	11	3	20,90	4,34
6	Bonte vliegenvanger	Zangvogels	0	1	0,00	3,83
7	Brandgans	Ganzen	9	7	18,35	15,82
8	Bruine kiekendief	Roofvogels	1	0	3,22	0,00
9	Buizerd	Roofvogels	1	0	1,69	0,00
10	Drieteenmeeuw	Meeuwen en sterns	1	0	1,35	0,00
11	Drieteenstrandloper	Steltlopers	1	3	1,27	3,87
12	Duif spec.	Duiven	3	4	9,05	7,38
13	Eend spec.	Eenden	0	1	0,00	1,17
14	Ekster	Kraaiachtigen	1	0	1,85	0,00
15	Fazant	Hoendervogels	1	3	1,69	10,10
16	Gans spec.	Ganzen	2	3	3,17	9,73
17	Gierzwaluw	Overige niet-zangvogels	2	1	4,17	2,07
18	Goudhaan	Zangvogels	1	0	1,55	0,00
19	Graspieper	Zangvogels	1	2	3,66	4,87
20	Grauwe gans	Ganzen	2	3	6,68	6,62
21	Grote lijster	Zangvogels	1	0	1,89	0,00
22	Grote mantelmeeuw	Meeuwen en sterns	2	1	5,22	1,08
23	Grote meeuw spec.	Meeuwen en sterns	5	5	18,50	6,55
24	Holenduif	Duiven	2	2	2,55	2,66

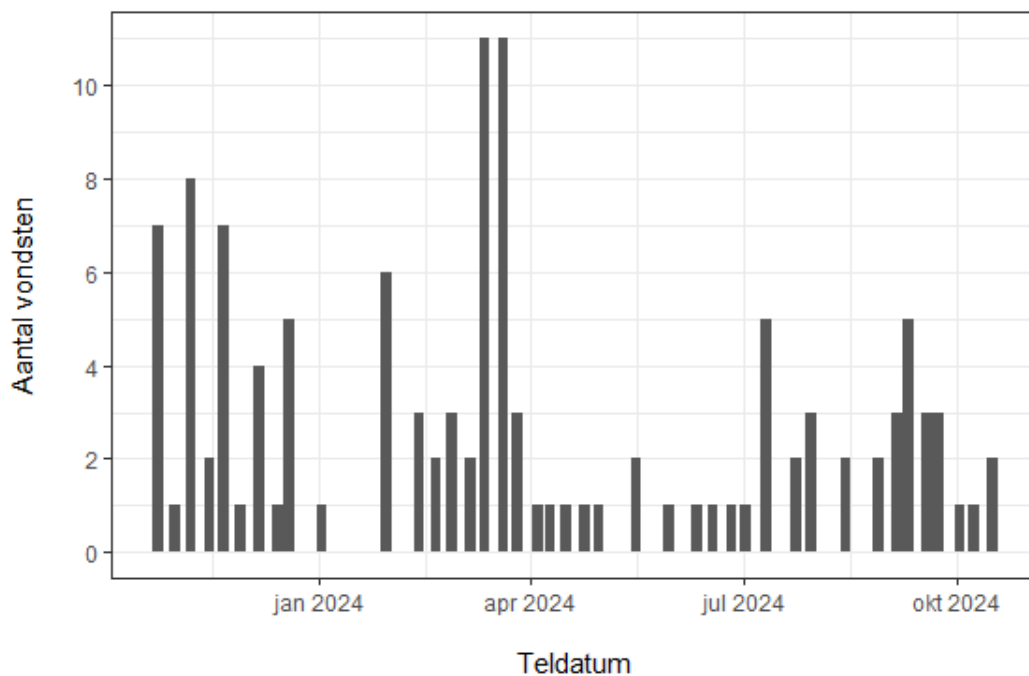


Nr	Soort	Soortgroep	Vondsten		Gecorrigeerd	
			C	I	C	I
25	Houtduif	Duiven	1	2	2,23	3,58
26	Houtsnip	Steltlopers	2	2	3,21	2,97
27	Huiszwaluw	Zangvogels	1	0	2,31	0,00
28	Kanoet	Steltlopers	1	0	2,05	0,00
29	Kauw	Kraaiachtigen	3	3	4,80	4,50
30	Keep	Zangvogels	0	1	0,00	4,95
31	Kievit	Steltlopers	0	1	0,00	1,37
32	Kleine mantelmeeuw	Meeuwen en sterns	6	4	13,83	8,29
33	Kleine meeuw <i>spec.</i>	Meeuwen en sterns	1	2	1,55	2,33
34	Kneu	Zangvogels	1	0	2,79	0,00
35	Koereiger	Overige watervogels	0	1	0,00	1,34
36	Kokmeeuw	Meeuwen en sterns	18	30	38,87	60,83
37	Kolgans	Ganzen	0	1	0,00	1,23
38	Koperwiek	Zangvogels	3	6	10,96	12,28
39	Krakeend	Eenden	1	0	1,00	0,00
40	Kramsvogel	Zangvogels	2	4	2,73	11,29
41	Kuifeend	Eenden	0	1	0,00	4,55
42	Lijster <i>spec.</i>	Zangvogels	0	1	0,00	2,28
43	Meeuw <i>spec.</i>	Meeuwen en sterns	3	1	7,38	3,75
44	Merel	Zangvogels	7	8	14,79	22,43
45	Nijlgans	Ganzen	0	1	0,00	1,30
46	Patrijs	Hoendervogels	1	0	1,00	0,00
47	Putter	Zangvogels	0	1	0,00	2,15
48	Rietgors	Zangvogels	1	2	1,35	3,40
49	Roek	Kraaiachtigen	1	0	2,50	0,00
50	Roodborst	Zangvogels	0	3	0,00	6,90
51	Roofvogel <i>spec.</i>	Roofvogels	1	0	3,32	0,00
52	Rotgans	Ganzen	1	0	2,54	0,00
53	Scholekster	Steltlopers	1	2	1,10	6,09
54	Smient	Eenden	2	1	2,54	2,07

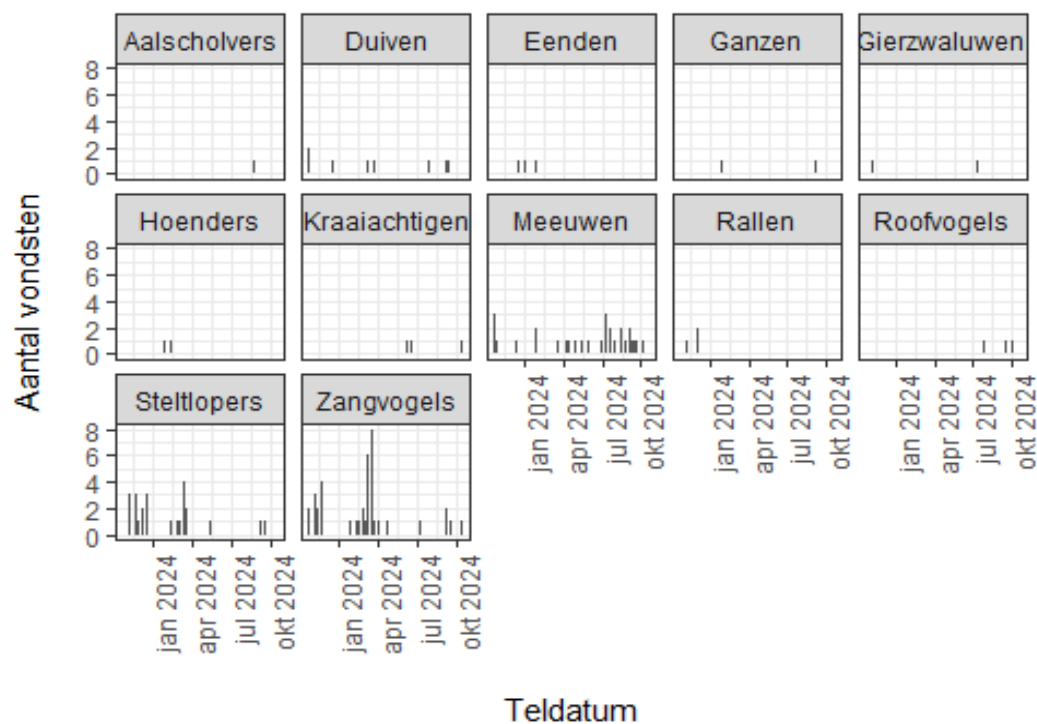


Nr	Soort	Soortgroep	Vondsten		Gecorrigeerd	
			C	I	C	I
55	Sperwer	Roofvogels	2	0	4,03	0,00
56	Spreeuw	Zangvogels	11	30	27,07	74,64
57	Stadsduif	Duiven	5	3	11,80	4,53
58	Steenloper	Steltlopers	7	9	24,72	19,34
59	Steltloper <i>spec.</i>	Steltlopers	2	0	9,32	0,00
60	Stormmeeuw	Meeuwen en sterns	1	6	3,38	11,32
61	Tapuit	Zangvogels	1	1	2,28	1,46
62	Toendrarietgans	Ganzen	0	1	0,00	5,21
63	Torenvalk	Roofvogels	0	5	0,00	6,53
64	Tureluur	Steltlopers	0	2	0,00	5,58
65	Turkse tortel	Duiven	1	0	1,81	0,00
66	Vink	Zangvogels	0	4	0,00	8,50
67	Visdief	Meeuwen en sterns	1	2	2,12	3,71
68	Vogel <i>spec.</i>	Onbekend	2	3	3,21	6,21
69	Vuurgoudhaan	Zangvogels	0	1	0,00	2,77
70	Waterhoen	Overige watervogels	1	0	1,19	0,00
71	Waterral	Overige watervogels	3	5	6,38	7,61
72	Watersnip	Steltlopers	1	0	2,38	0,00
73	Wilde eend	Eenden	3	1	6,65	6,96
74	Wintertaling	Eenden	1	2	1,85	2,73
75	Wulp	Steltlopers	4	3	10,60	7,63
76	Zanglijster	Zangvogels	5	9	9,89	18,94
77	Zangvogel <i>spec.</i>	Zangvogels	2	3	4,04	8,30
78	Zilvermeeuw	Meeuwen en sterns	23	22	53,43	38,26
79	Zwarte kraai	Kraaiachtigen	1	2	3,09	3,50
80	Zwarte roodstaart	Zangvogels	1	1	2,12	2,79
81	Zwartkop	Zangvogels	0	1	0,00	5,44
Totaal			196	240	446,03	512,75

Bijlage IV Resultaten tweede jaar effectmeting



Figuur BIV.1 Het aantal vondsten per teldatum voor het tweede jaar van de effectmeting.



Figuur BIV.2 Het aantal vondsten per soortgroep per teldatum in het tweede jaar van de effectmeting.



Bijlage V Detailresultaten statistische analyses

Correctie voor doorzocht oppervlak

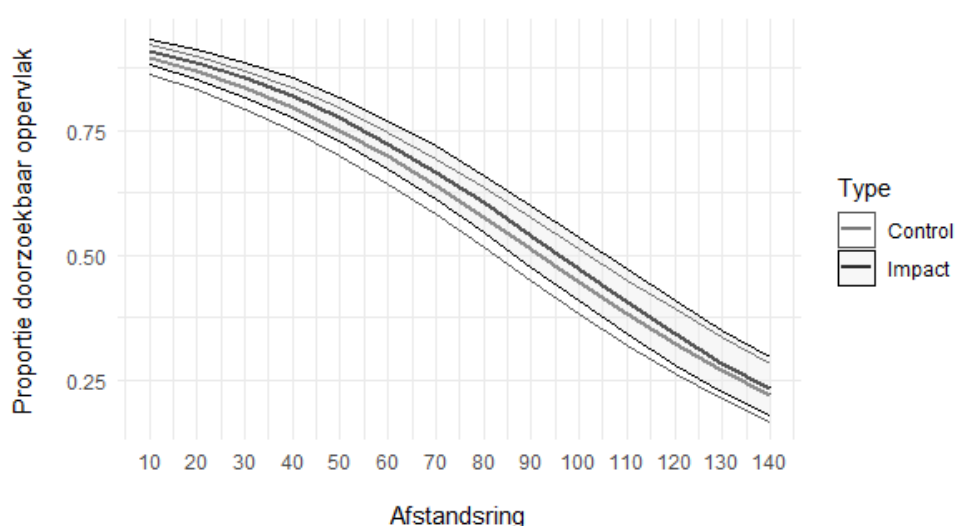
In de statistische toetsing is gewerkt met een offset (correctie) voor het doorzochte oppervlak voor de gehele zoekcirkel rond de turbine. Hierbij is geen rekening gehouden met de afstand van het slachtoffer tot de windturbine. In de figuren in hoofdstuk 3 van dit rapport is wel een correctie toegepast waarin rekening is gehouden met de afstand van het slachtoffer tot de windturbine (zie paragraaf 2.2). Om te voorkomen dat de statistische toetsen onnodig complex zouden worden door veel extra nullen op afstandsringniveau, is onderzocht of het doorzocht oppervlak per afstandsring significant verschilt tussen de windturbines met en zonder zwarte wiek.

Hiervoor is een *Generalized Linear Mixed Model* (GLMM) gebruikt met een *beta error distribution*. De proportie doorzoekbaar gebied per afstandsring per turbine is als respons variabele genomen. Daarnaast zijn een *main effect* van afstandsring, een *main effect* van behandeling (factor CI), een interactieterm daarvan (afstandsring*CI), en een *random intercept* voor turbine (voor gemiddelde verschillen op het niveau van turbines) in het model meegenomen. Er is sprake van een significant verschil in de hoeveelheid doorzoekbaar oppervlak tussen de afstandsringen (dichter bij de windturbines kan een groter deel van het oppervlak doorzocht worden dan op grotere afstand van de windturbines). Er is echter geen sprake van een significant verschil in deze verdeling tussen turbines met en zonder zwarte wiek ($p_{\text{afstandsring}} < 0,001$; $p_{\text{CI}} = 0,46$; $p_{\text{afstandsring*CI}} = 0,74$, zie ook Figuur BV.1 en Tabel BV.1).

Tabel BV.1 Uitkomsten van een GLMM met een beta error distribution. De proportie doorzoekbaar gebied per afstandsring per turbine is als respons variabele genomen. Daarnaast zijn een main effect van afstandsring, een main effect van behandeling (factor CI), een interactieterm daarvan (afstandsring*CI), en een random intercept voor turbine (voor gemiddelde verschillen op het niveau van turbines) in het model meegenomen.

<i>Predictors</i>	Proportie doorzoekbaar oppervlak		
	<i>Estimates</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
(Intercept)	11.08	7.89 – 15.54	<0.001
Afstandsring	0.97	0.97 – 0.98	<0.001
CI [Impact]	1.19	0.75 – 1.89	0.467
Afstandsring x CI [Impact]	1.00	0.99 – 1.00	0.748
Random Effects			
σ^2	-0.09		
τ_{00} Turbine	0.06		
ICC	-2.13		
N Turbine	14		
Observations	350		
Marginal R ² / Conditional R ²	1.025 / 1.079		

Effect van afstandsring*CI op proportie doorzoekbaar oppervlak

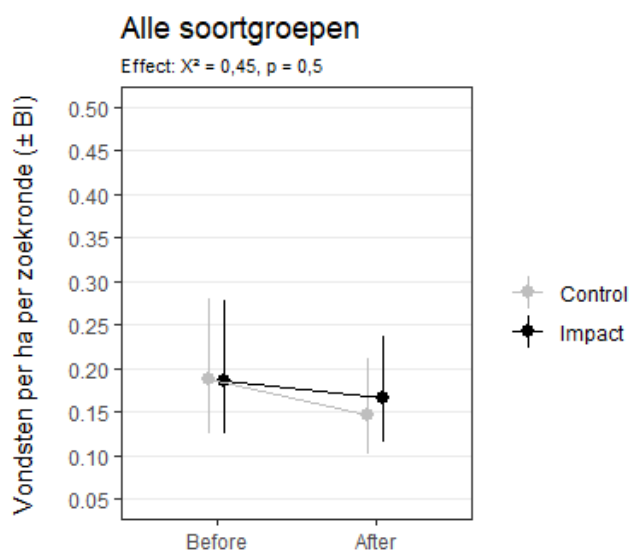


Figuur BV.1 Visualisatie van het effect van afstandsring*CI op de proportie doorzoekbaar oppervlak uit een GLMM met een beta error distribution (zie Tabel BV.1 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wiek voor alle vogelsoorten samen

Tabel BV.2 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten van alle soortgroepen tezamen (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Alle soortgroepen			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.05	0.04 – 0.08	<0.001
BA [Before]	1.28	0.90 – 1.84	0.174
CI [Impact]	1.13	0.71 – 1.80	0.601
BA [Before] × CI [Impact]	0.87	0.59 – 1.29	0.500
Random Effects			
σ^2	2.85		
τ_{00} Zoekronde	0.35		
τ_{00} Turbine	0.14		
ICC	0.15		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.003 / 0.149		

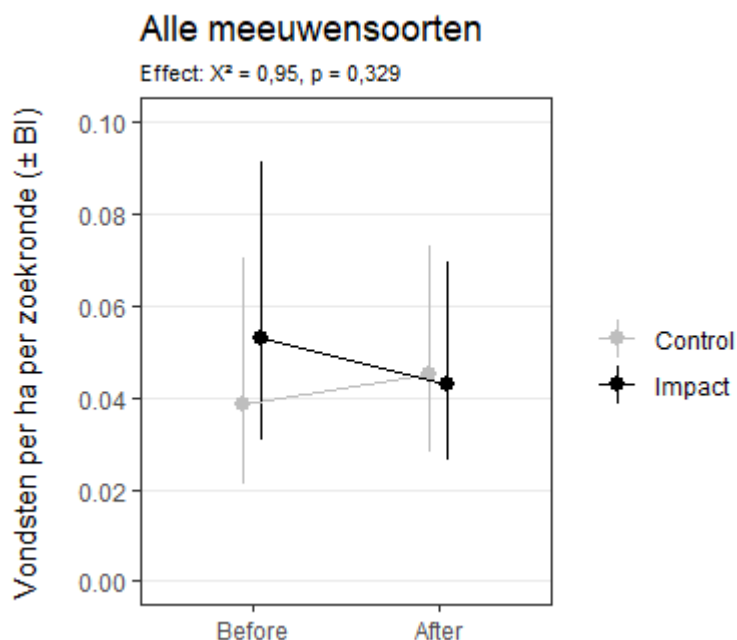


Figuur BV.2 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten uit een GLMM met een Poisson error distribution voor data van alle soorten tezamen (zie Tabel BV.2 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wijk voor meeuwen

Tabel BV.3 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten van alle meeuwensoorten (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Alle meeuwensoorten			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.02	0.01 – 0.03	<0.001
BA [Before]	0.85	0.45 – 1.59	0.614
CI [Impact]	0.95	0.53 – 1.69	0.854
BA [Before] × CI [Impact]	1.45	0.69 – 3.03	0.329
Random Effects			
σ^2	4.13		
τ_{00} Zoekronde	0.54		
τ_{00} Turbine	0.12		
ICC	0.14		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.002 / 0.140		

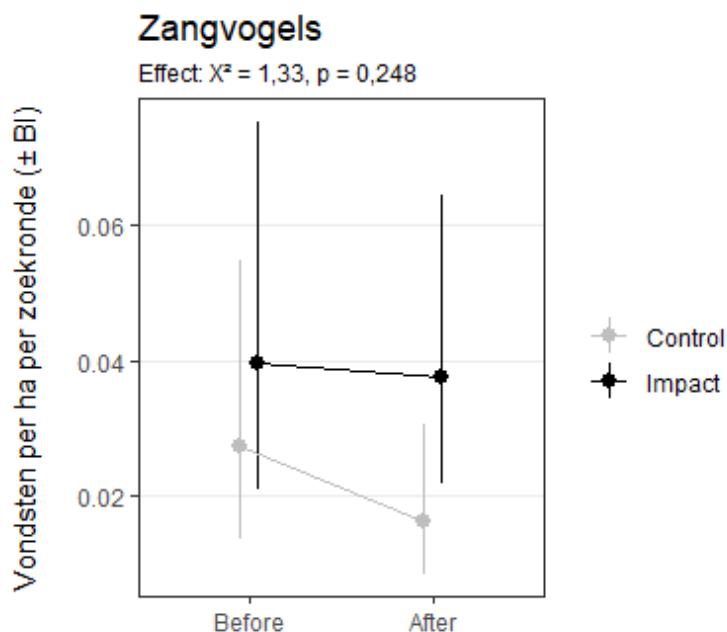


Figuur BV.3 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder alle meeuwensoorten uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.3 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wiek voor zangvogels

Tabel BV.4 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de soortgroep zangvogels (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Zangvogels			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.01	0.00 – 0.01	<0.001
BA [Before]	1.68	0.76 – 3.70	0.197
CI [Impact]	2.31	1.23 – 4.35	0.010
BA [Before] × CI [Impact]	0.63	0.29 – 1.38	0.248
Random Effects			
σ^2	4.60		
τ_{00} Zoekronde	1.25		
τ_{00} Turbine	0.11		
ICC	0.23		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.024 / 0.247		

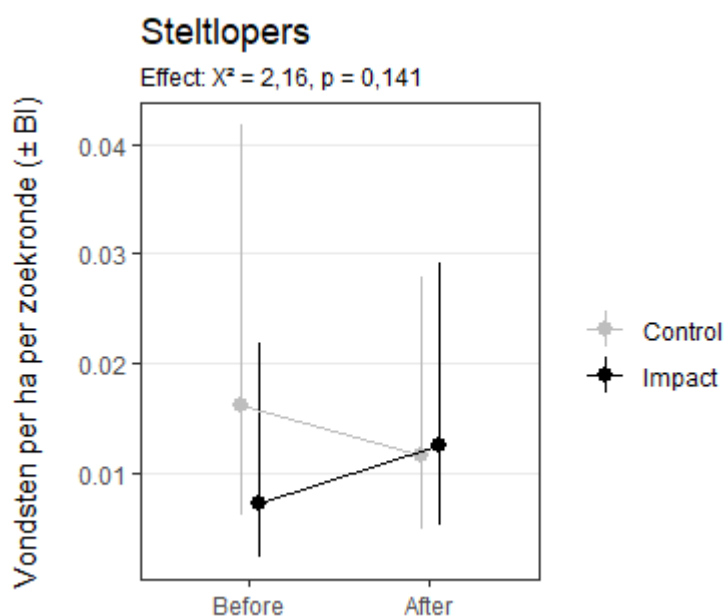


Figuur BV.4 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de zangvogels uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.4 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wiek voor steltlopers

Tabel BV.5 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de soortgroep steltlopers (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Steltlopers			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.00	0.00 – 0.01	<0.001
BA [Before]	1.38	0.57 – 3.34	0.481
CI [Impact]	1.07	0.45 – 2.56	0.882
BA [Before] × CI [Impact]	0.42	0.13 – 1.34	0.141
Random Effects			
σ^2	5.44		
τ_{00} Zoekronde	1.46		
τ_{00} Turbine	0.29		
ICC	0.24		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.008 / 0.249		

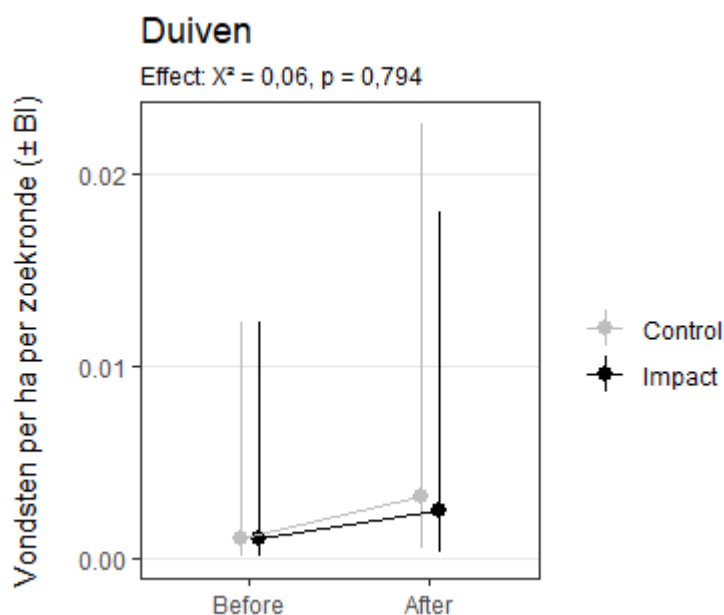


Figuur BV.5 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de steltlopers uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.5 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wiek voor duiven

Tabel BV.6 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de soortgroep duiven (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Duiven			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.00	0.00 – 0.01	<0.001
BA [Before]	0.30	0.05 – 1.84	0.194
CI [Impact]	0.77	0.24 – 2.49	0.666
BA [Before] × CI [Impact]	1.33	0.15 – 11.71	0.794
Random Effects			
σ^2	7.48		
τ_{00} Zoekronde	3.48		
τ_{00} Turbine	0.43		
ICC	0.34		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.022 / 0.358		

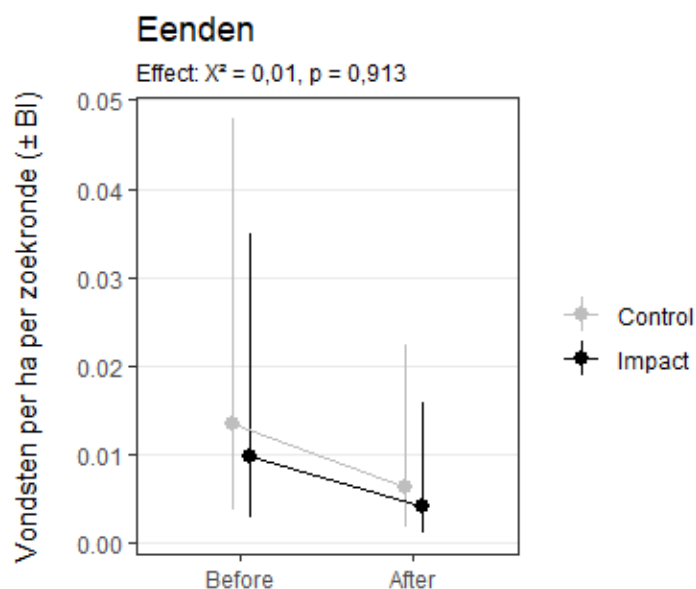


Figuur BV.6 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de duiven uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.6 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wijk voor eenden

Tabel BV.7 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de soortgroep eenden (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). Het random effect “Zoekronde” verklaarde in dit geval geen variantie en is daarom niet opgenomen in het definitieve model. De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Eenden			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.00	0.00 – 0.01	<0.001
BA [Before]	2.16	0.81 – 5.73	0.122
CI [Impact]	0.67	0.12 – 3.73	0.645
BA [Before] × CI [Impact]	1.10	0.21 – 5.64	0.913
Random Effects			
σ^2	5.96		
τ_{00} Turbine	1.02		
ICC	0.15		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.026 / 0.168		

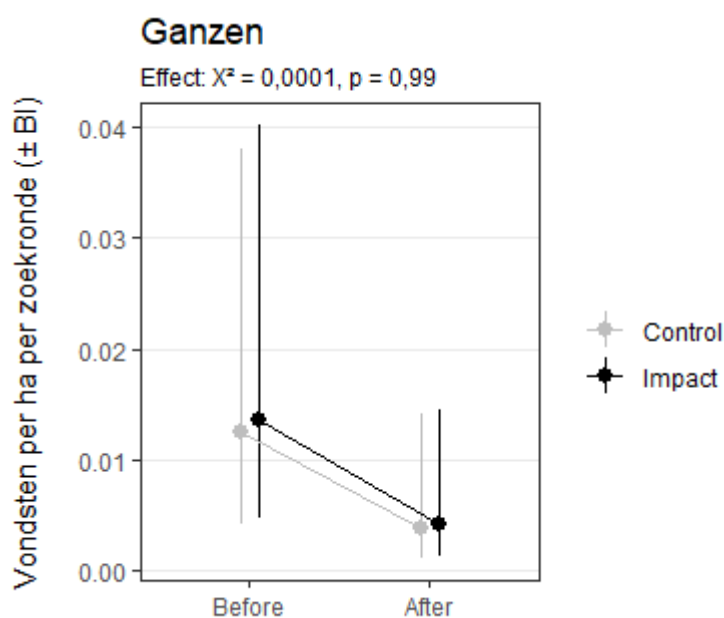


Figuur BV.7 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de eenden uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.7 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wiek voor ganzen

Tabel BV.8 Uitkomsten van een GLMM-model met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de soortgroep ganzen (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Ganzen			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.00	0.00 – 0.01	<0.001
BA [Before]	3.22	0.96 – 10.87	0.059
CI [Impact]	1.08	0.31 – 3.76	0.910
BA [Before] × CI [Impact]	1.01	0.23 – 4.50	0.990
Random Effects			
σ^2	6.17		
τ_{00} Zoekronde	1.43		
τ_{00} Turbine	0.14		
ICC	0.20		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.038 / 0.234		

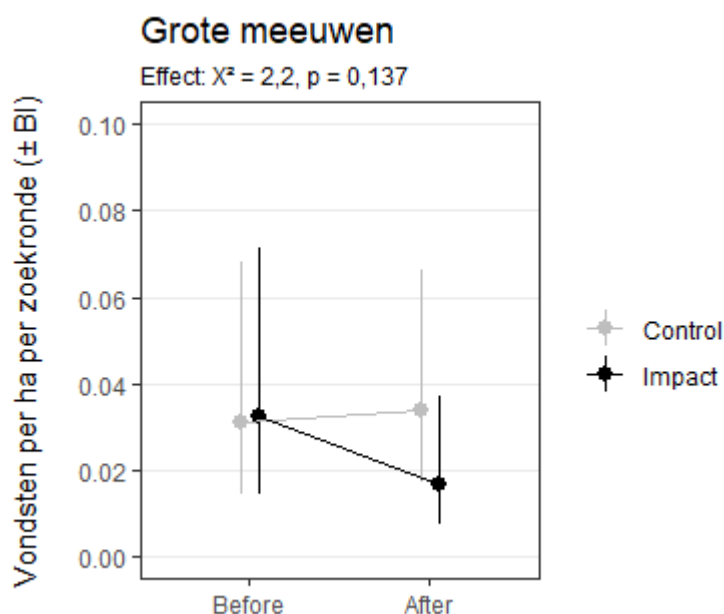


Figuur BV.8 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de ganzen uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.8 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wijk voor grote meeuwen

Tabel BV.9 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de grote meeuwensoorten (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Grote meeuwen			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.01	0.01 – 0.02	<0.001
BA [Before]	0.91	0.45 – 1.84	0.803
CI [Impact]	0.49	0.19 – 1.27	0.142
BA [Before] × CI [Impact]	2.11	0.79 – 5.62	0.137
Random Effects			
σ^2	4.62		
τ_{00} Zoekronde	0.05		
τ_{00} Turbine	0.35		
ICC	0.08		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.020 / 0.097		

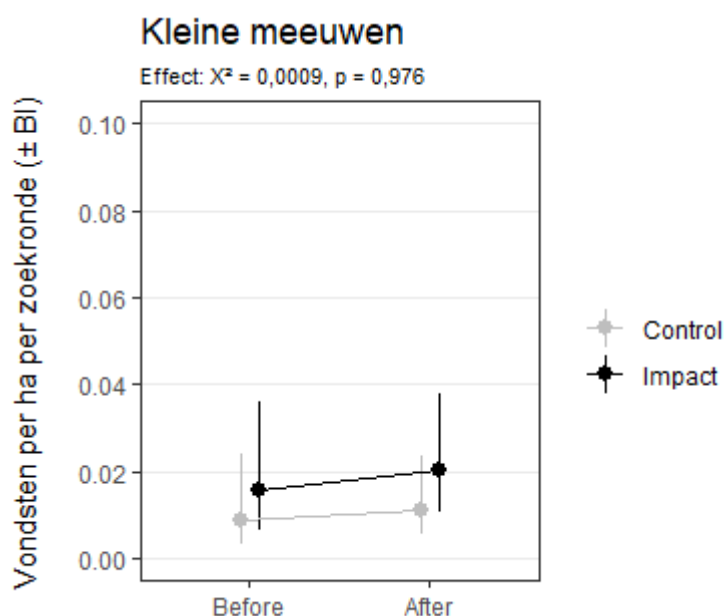


Figuur BV.9 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de grote meeuwensoorten uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.9 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wijk voor kleine meeuwen

Tabel BV.10 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de kleine meeuwensoorten (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). Het random effect "Turbine" verklaarde in dit geval geen variantie en is daarom niet opgenomen in het definitieve model. De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Kleine meeuwen			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.00	0.00 – 0.01	<0.001
BA [Before]	0.78	0.27 – 2.32	0.661
CI [Impact]	1.78	0.94 – 3.40	0.079
BA [Before] × CI [Impact]	0.98	0.30 – 3.22	0.976
Random Effects			
σ^2	5.23		
τ_{00} Zoekronde	1.43		
ICC	0.22		
N Zoekronde	145		
Observations	2022		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.014 / 0.226		

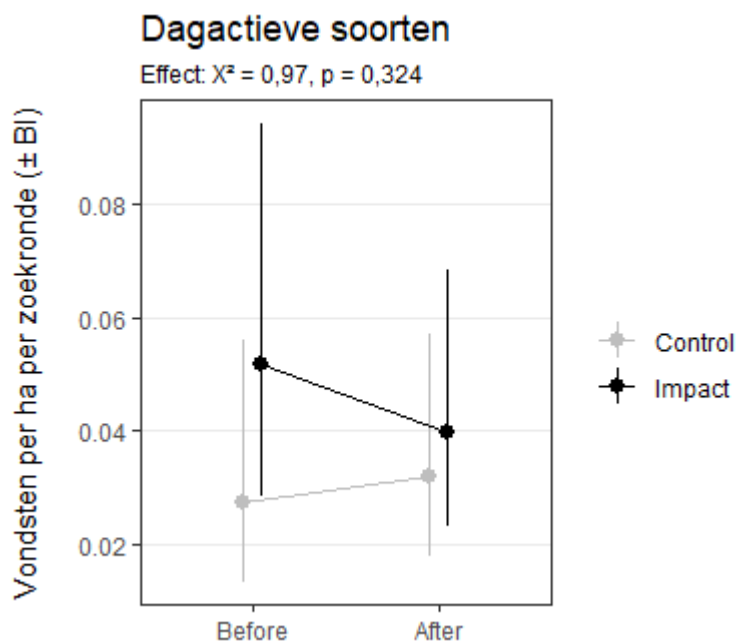


Figuur BV.10 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de kleine meeuwensoorten uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.10 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wiek voor dagactieve soorten

Tabel BV.11 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de dagactieve soorten (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

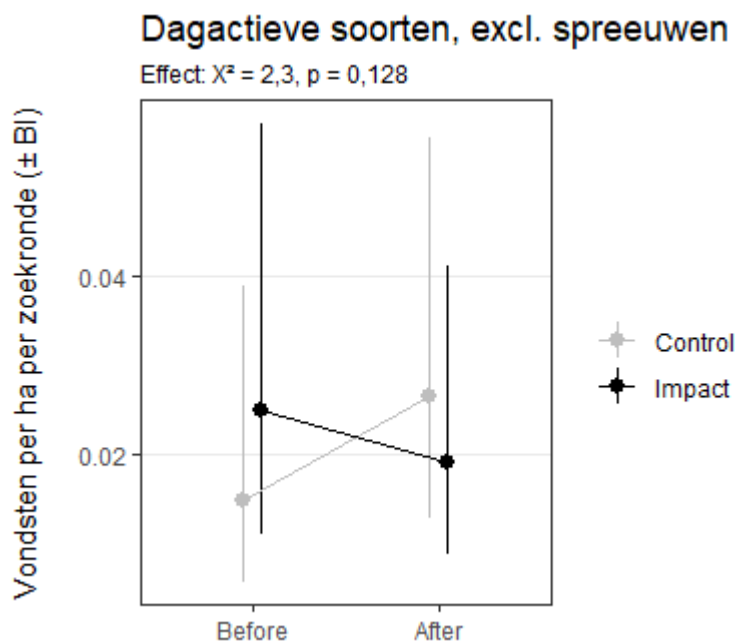
Predictors	Dagactieve soorten		
	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.01	0.01 – 0.02	<0.001
BA [Before]	0.85	0.42 – 1.74	0.664
CI [Impact]	1.25	0.60 – 2.61	0.546
BA [Before] × CI [Impact]	1.52	0.66 – 3.52	0.324
Random Effects			
σ^2	4.33		
τ_{00} Zoekronde	0.42		
τ_{00} Turbine	0.24		
ICC	0.13		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.009 / 0.141		



Figuur BV.11 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de dagactieve soorten uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.11 voor de volledige uitkomsten).

Tabel BV.12 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de dagactieve soorten, exclusief de spreeuwen (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Dagactieve soorten, excl. spreeuwen			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.01	0.00 – 0.02	<0.001
BA [Before]	0.56	0.23 – 1.33	0.187
CI [Impact]	0.71	0.28 – 1.84	0.486
BA [Before] × CI [Impact]	2.36	0.78 – 7.17	0.128
Random Effects			
σ^2	4.84		
τ_{00} Zoekronde	0.23		
τ_{00} Turbine	0.41		
ICC	0.12		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.009 / 0.124		

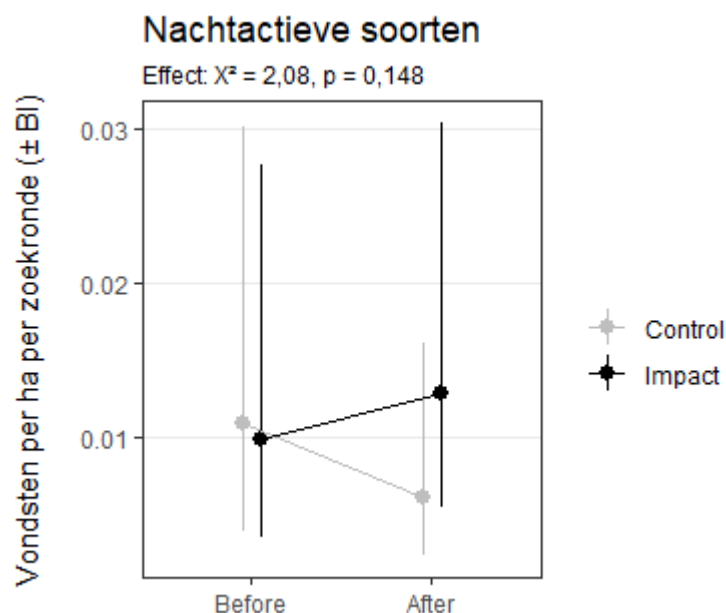


Figuur BV.12 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de dagactieve soorten uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.12 voor de volledige uitkomsten).

Toetsing van het effect van de zwarte wijk voor nachttactieve soorten

Tabel BV.13 Uitkomsten van een GLMM met een Poisson error distribution voor de vondsten onder de nachttactieve soorten (zie paragraaf 2.3 voor meer details over het model). De getoonde schattingen zijn ten opzichte van de referentiecategorieën. De referentiecategorieën voor factorvariabelen zijn [After] voor [BA], [Control] voor [CI], [After x Control] voor [BA*CI].

Nachttactieve soorten			
Predictors	Incidence Rate Ratios	CI	p
(Intercept)	0.00	0.00 – 0.01	<0.001
BA [Before]	1.77	0.61 – 5.17	0.293
CI [Impact]	2.09	0.92 – 4.74	0.078
BA [Before] × CI [Impact]	0.44	0.14 – 1.35	0.148
Random Effects			
σ^2	5.65		
τ_{00} Zoekronde	2.08		
τ_{00} Turbine	0.14		
ICC	0.28		
N Zoekronde	145		
N Turbine	14		
Observations	2022		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.012 / 0.291		



Figuur BV.13 Visualisatie van het effect van BA*CI op het aantal vondsten onder de nachttactieve soorten uit een GLMM met een Poisson error distribution (zie Tabel BV.12 voor de volledige uitkomsten).



Bijlage VI *Machine learning* model om clutter te classificeren

Voor het maken van het machine learning model voor het herkennen van clutter is eerst onderzoek gedaan naar welk algoritme het beste bij de data past. Er bestaat een groot aantal *machine learning* algoritmen. Meerdere van deze algoritmen zijn getoetst op hun effectiviteit om patronen in de data te kunnen vinden en clutter te onderscheiden van vogels. De modellen worden steeds getoetst aan de hand van dezelfde 20% van de gevalideerde tracks, het deel dat niet is gebruikt om het algoritme te trainen. Van deze testdata is bekend welke tracks in het echt vogels waren en welke tracks clutter waren, die door de radar als vogel zijn geclassificeerd. Door het model los te laten op de 20% testdata, kan worden onderzocht hoe vaak de voorspelling van het model ("wel of geen vogel") klopt met de werkelijkheid.

Uit de testen met de verschillende algoritmen kwam het *Random Forest* (Breiman 2001) algoritme als beste voorspeller uit de test. *Random Forest* vergt bovendien relatief weinig rekenkracht en rekentijd, zodat ervoor gekozen is om het model met dit algoritme verder te optimaliseren.

Optimaliseren van het gekozen algoritme

Random Forest is, net als veel andere machine learning algoritmen, gebaseerd op beslisbomen. Dit algoritme bestaat uit zeer veel, kleine en incomplete beslisbomen die in hun eentje niet goed kunnen voorspellen. Doordat de meerderheid beslist, vormen al deze bomen samen toch een sterke voorspeller. Om het model te optimaliseren, kunnen de randvoorwaarden waarop dit algoritme getraind wordt, worden aangepast. Zo kan onder meer een verschillend aantal bomen in het model tijdens iteratiestappen worden getest. Dit zoeken naar de optimale instellingen om het model te trainen, is gedaan door middel van een zogenoemde *five-fold cross validation*, welke drie keer is herhaald.

Na elke iteratiestap is gekeken of het model was verbeterd gebaseerd op de waarden voor verschillende *prestatie-indicatoren* (zie hieronder).

Prestatie-indicatoren

De prestatie van het model kan worden uitgedrukt in verschillende prestatie-indicatoren die iets zeggen over hoe goed de voorspelling van het model overeenkomt met de daadwerkelijke klasse van de tracks. Deze prestatie-indicatoren worden berekend aan de hand van een zogenoemde *confusion matrix* (Tabel BVI.1).

Stel dat een track in het veld door een waarnemer is gevalideerd als vogel en het model voorspelt deze correct als vogel, dan wordt dit in onderstaande tabel neergezet als *True positive* (de klasse die je wilt herkennen, in dit geval vogels, wordt vaak de positieve klasse genoemd). Mocht deze track echter foutief worden geclassificeerd als clutter, dan is dit een *false negative*. Elke track in de testdata, de 20% van de tracks die buiten de training van het model is gelaten, komt dus in onderstaande tabel in één van de vier vakken terecht.



Tabel BVI.1 Confusion matrix zoals deze wordt gebruikt bij het beoordelen van machine learning modellen. Tracks die belanden in de groene vakjes zijn goed voorspeld, tracks die in de rode vakjes belanden zijn foutief voorspeld. 'Voorspelde klasse' staat voor de classificatie gedaan door het model, 'daadwerkelijke klasse' voor de classificatie die gedaan is door de waarnemer in het veld.

		Daadwerkelijke klasse	
		Vogel	Clutter
Voorspelde klasse	Vogel	True positive (TP)	False positive (FP)
	Clutter	False negative (FN)	True negative (TN)

Op basis van Tabel BVI.1 is berekend hoe goed het model presteert. Belangrijke prestatie-indicatoren staan vermeld in Tabel BVI.2. Een belangrijke indicator is de **accuracy**, het deel correct geclassificeerde tracks van het totaal aantal. In Tabel BVI.1 zijn dat de tracks in de groene vakken gedeeld door het totaal aantal tracks ((TP+TN)/alle tracks). De **accuracy** geeft weer hoe goed het model beide klassen kan classificeren. Het gebruikte model voor deze studie had een **accuracy** van 0,9741. Dit komt dus neer op een correcte classificatie van 97% van de tracks in de testdataset (Tabel BVI.2).

De **sensitivity** zegt iets over de klasse 'vogels', namelijk de fractie vogels die daadwerkelijk wordt herkend door het model. In bovenstaande tabel komt dit neer op TP/(TP+FN). Worden er veel vogels foutief aangemerkt als clutter, dan is deze waarde laag. De **sensitivity** van het gebruikte model is 0,9067. Dit betekent dat 91% van de vogeltracks goed geclassificeerd is als vogel.

De andere kant op beredeneerd, wordt de **specificity** genoemd. Dit is de fractie correct geclassificeerde clutter. In bovenstaande tabel is dit TN/(TN+FP). Net als bij de **sensitivity** geldt ook voor de **specificity** dat als veel clutter foutief bij de vogels worden geplaatst, deze waarde laag zal zijn. De **specificity** in het huidige model was 0,9795, wat neerkomt op een correcte classificatie van 98% van alle cluttertracks.

De **Cohen's kappa statistic** is een waarde die vaak wordt gebruikt om de **accuracy** in perspectief te plaatsen door te corrigeren voor toeval. De berekening hiervan gebeurt ook op basis van bovenstaande tabel, maar is erg ingewikkeld en het gaat te diep in op de materie om deze hier uit te leggen. Belangrijk is dat een grove schaal kan worden aangehouden om een betekenis aan deze waarde te geven. Deze schaal is eigenlijk een te simpele weergave van de informatie die deze kappa waarde vertelt, maar levert wel een inzicht op in hoe het model ongeveer scoort. Een waarde van ≤ 0 wijst op geen overeenstemming tussen de voorspellingen en echte waarden, 0,01–0,20 op geen tot weinig, 0,21–0,40 op matig, 0,41–0,60 op redelijk, 0,61–0,80 op substantieel, en 0,81–1,00 als bijna perfect (Landis & Koch, 1977). De **Cohen's kappa** van dit model was 0,8255.



Dit betekent dat de voorspellingen van het model een bijna perfecte overeenkomst hebben met de echte waarde van de tracks.

Het is belangrijk op te merken dat de prestaties van het model gaan over de kracht van het model om gevalideerde vogeltracks te onderscheiden van gevalideerde cluttertracks. Doordat tijdens het veldwerk zoveel mogelijk vogeltracks gevalideerd zijn is het aantal cluttertracks ten opzichte van de vogels hierdoor uit verhouding. Dit zorgt ervoor dat het model vooral leert om vogels te herkennen. Dit kan ertoe leiden dat ook veel clutter foutief als vogel zou worden geclassificeerd. In dit geval is er daarom voor gekozen om de SMOTE-techniek toe te passen (Chawla *et al.* 2002). SMOTE staat voor *synthetic minority oversampling technique* en is een veel gebruikte methode om kunstmatig nieuwe datapunten te maken aan de hand van bestaande datapunten, om zo de data meer gebalanceerd te maken.

In voorliggende studie is met name de *sensitivity* als richtpunt gebruikt om het model te optimaliseren, omdat dit meer zegt over welk deel van de vogels herkend wordt en op die manier zo min mogelijk vogels ten onrechte als clutter geclassificeerd worden.

Tabel BVI.2 Overzicht van de prestaties van het Random Forest model op verschillende prestatie-indicatoren, met de betekenis daarvan.

Statistische waarde	Betekenis	Waarde Random Forest model
Accuracy	Fractie van de tracks dat correct is geclassificeerd.	0,9741
Sensitivity	Fractie 'vogel' die correct als 'vogel' is geclassificeerd.	0,9067
Specificity	Fractie 'clutter' dat correct als 'clutter' is geclassificeerd.	0,9795
Cohen's Kappa	Een overeenstemmingsmaat die wordt gebruikt om aan te geven in hoeverre twee beoordelaars overeenstemmen in hun waarnemingen waarbij gecorrigeerd wordt voor toeval.	0.8255

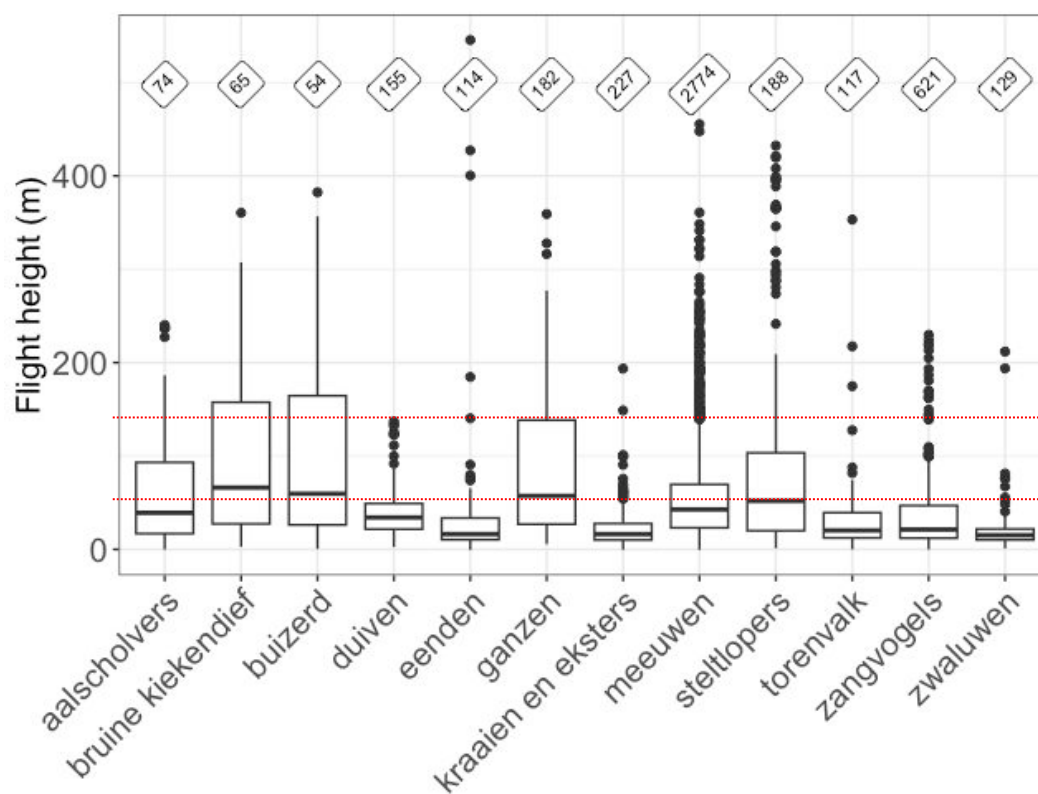
Literatuur

Breiman, L. (2001) Random Forests. Machine Learning, 45, 5-32.

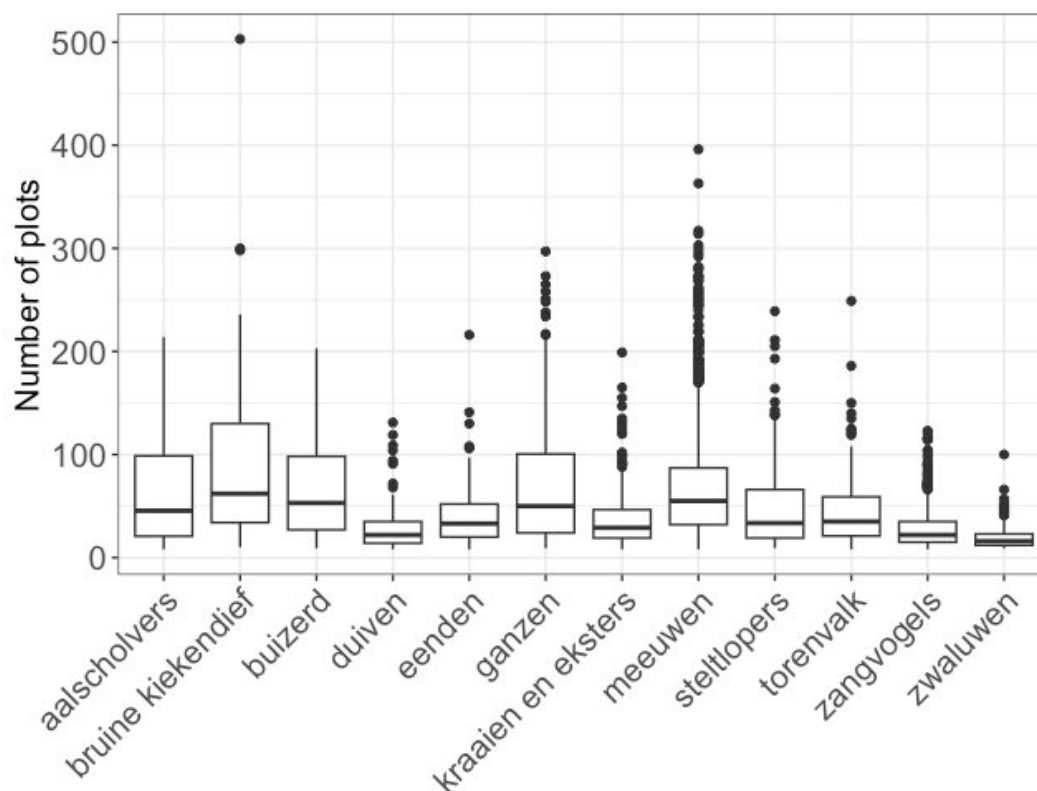
Chawla, N.V., K.W. Bowyer, L.O. Hall, et al., 2002. SMOTE: Synthetic Minority Over-Sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16: 321-357.

Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977 Mar;33(1):159-74. PMID: 843571.

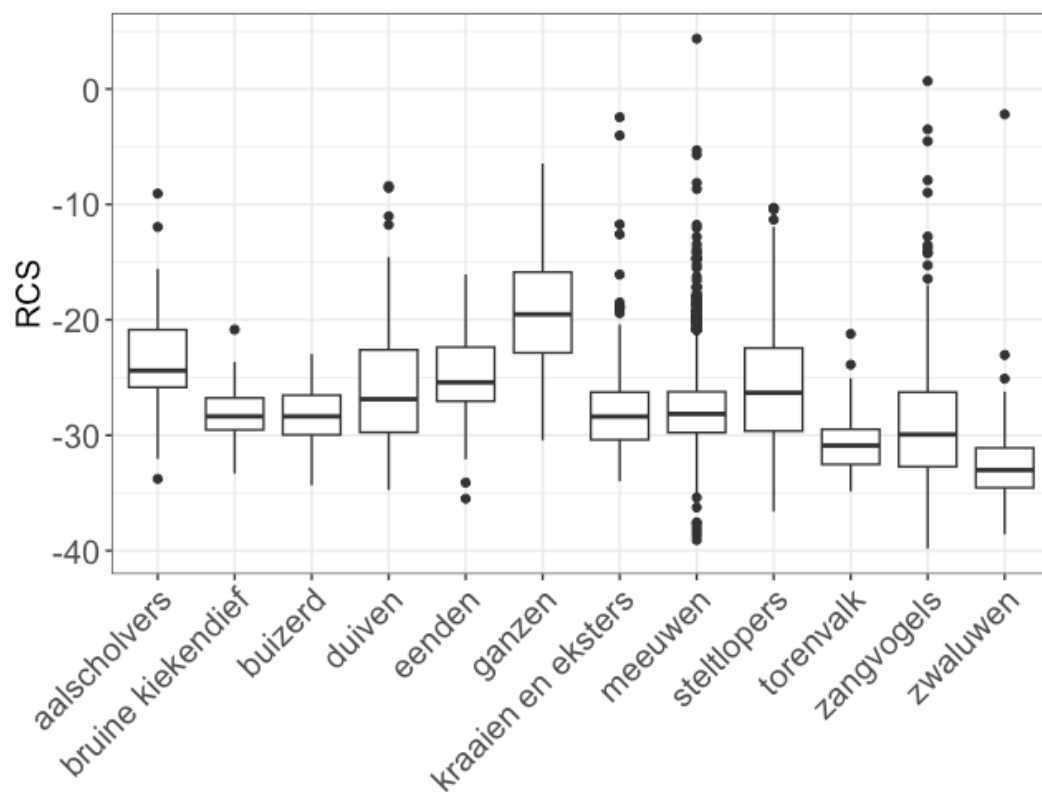
Bijlage VII Eigenschappen van gevalideerde tracks per soort(groep)



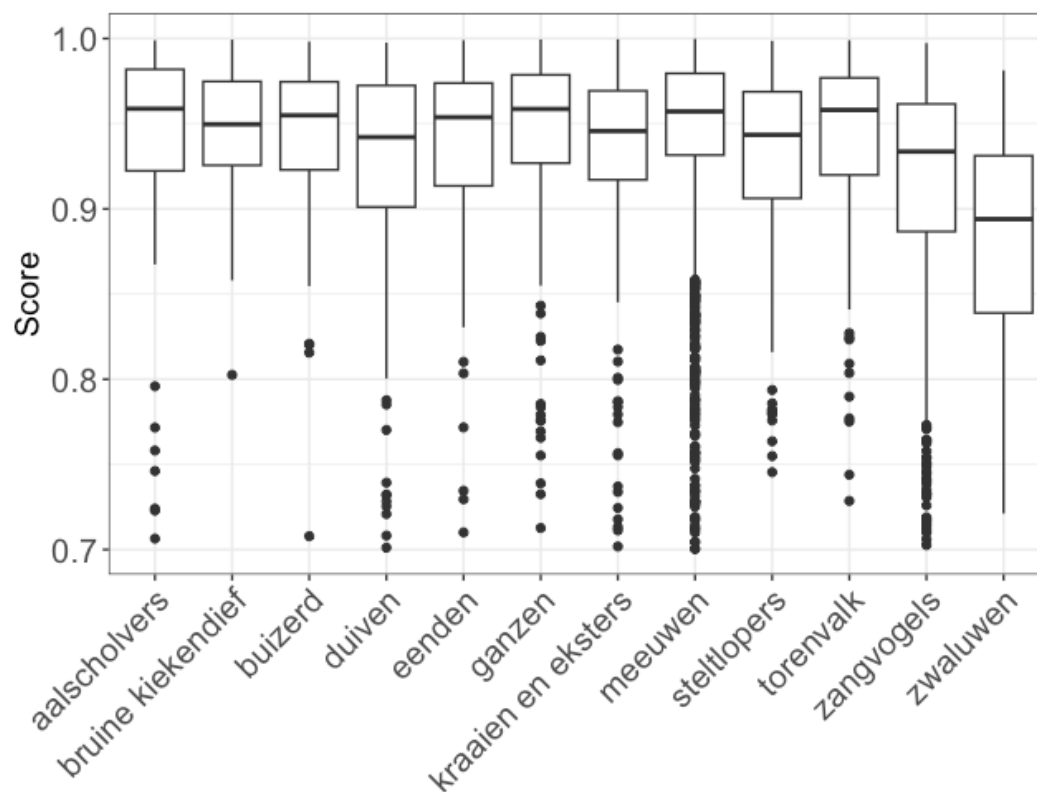
Figuur BVII.1 Gemiddelde vlieghoogte van gevalideerde tracks in de Eemshaven in de periode september 2023 tot en met mei 2024 voor drie soorten roofvogels en een aantal andere soort(groep)en die relatief vaak zijn gevalideerd. De steekproefgrootte is per soort(groep) boven in de figuur weergegeven. Rotorhoogte is indicatief weergegeven met rode stippellijnen.



Figuur BVII.2 Aantal plots per track (een maat voor de lengte van de track) van gevalideerde tracks in de Eemshaven in de periode september 2023 tot en met mei 2024 voor drie soorten roofvogels en een aantal andere soort(groep)en die relatief vaak zijn gevalideerd. De steekproefgrootte is per soort(groep) weergegeven in Figuur BVI.1.



Figuur BVII.3 De gemiddelde RCS van gevalideerde tracks in de Eemshaven in de periode september 2023 tot en met mei 2024 voor drie soorten roofvogels en een aantal andere soort(groep)en die relatief vaak zijn gevalideerd. RCS staat voor Radar Cross Section en is een maat voor de grootte van de reflectie en daarmee enigszins voor de grootte van de vogel. De steekproefgrootte is per soort(groep) weergegeven in Figuur BVI.1.



Figuur BVII.4 De score van gevalideerde tracks in de Eemshaven in de periode september 2023 tot en met mei 2024 voor drie soorten roofvogels en een aantal andere soort(groep)en die relatief vaak zijn gevalideerd. De score is een maat voor de kwaliteit van de track. Alleen tracks met een score >0,7 worden in de database opgeslagen. De steekproefgrootte is per soort(groep) weergegeven in Figuur BVI.1.