Vliegbewegingen van jonge zeearenden in Windpark Zeewolde (Flevoland) in 2019-2022

Variatie in ruimte en tijd van vliegbewegingen door het windpark

Ralph Buij, Sander Moonen, Stef van Rijn, Dirk van Straalen, Jasja Dekker

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

WERKGROEP ZEEAREND

deltamilieu PROJECTEN

Vliegbewegingen van jonge zeearenden in Windpark Zeewolde (Flevoland) in 2019-2022

Variatie in ruimte en tijd van vliegbewegingen door het windpark

Ralph Buij, Sander Moonen, Stef van Rijn, Dirk van Straalen, Jasja Dekker

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door Windpark Zeewolde B.V., op basis van eerder zenderonderzoek gefinancierd door de Provincie Flevoland en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van WUR Kennisbasisprogramma KB36 Biodiversiteit in een Natuurinclusieve Samenleving (projectnummer KB36-5200044844) in samenwerking met Werkgroep Zeearend Nederland en Deltamilieu Projecten.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, maart 2023

Gereviewd door:
Karen Krijgsveld, senior onderzoeker (WEnR)

Akkoord voor publicatie:
Marion Kluivers-Poodt, teamleider van Dierecologie (WEnR)

Rapport 3242
ISSN 1566-7197

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

WERKGROEP ZEEAREND

deltamilieu PROJECTEN

Ralph Buij, Sander Moonen, Stef van Rijn, Dirk van Straalen, Jasja Dekker, 2023. *Vliegbewegingen van jonge zeearenden in Windpark Zeewolde (Flevoland) in 2019-2022; Variatie in ruimte en tijd van vliegbewegingen door het windpark.* Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3242. 50 blz.; 13 fig.; 2 tab.; 32 ref.

In de Provincie Flevoland staat een groot aantal turbines die overlappen met de vliegbewegingen van zeearenden in die provincie. Dat geldt ook voor Windpark Zeewolde, dat in een gebied ligt met een hoge dichtheid aan vliegbewegingen van zeearenden. Er is voor Windpark Zeewolde bepaald wat de ruimtelijk en temporele aspecten van vlieggedrag van jonge (1e-4e jaar) zeearenden (aantal vliegbewegingen en vlieghoogte in relatie tot periode van het jaar, tijd van de dag en weersomstandigheden) zijn ten aanzien van windturbines. Op basis hiervan identificatie van potentieel risicovolle windturbines voor zeearenden in Windpark Zeewolde, en is bepaald wat de daadwerkelijke en in de toekomst te verwachten vliegbewegingen zullen zijn door het park. De analyses zijn gebaseerd op een steekproef van 15 in Nederland geboren zeearenden die zijn uitgerust met gps-zenders en waarvan gps-gegevens zijn verzameld in de periode van zomer 2019 tot en met najaar 2022. Met de behaalde inzichten in vliegbewegingen is duidelijk dat zeearenden in potentie de hoogste risico's lopen op aanvaringen met turbines in de Noordoosthoek van Windpark Zeewolde. De analyses laten een hoge dichtheid aan vliegbewegingen zien van gezenderde zeearenden door Windpark Zeewolde, die in werkelijkheid een kwart betreffen van de daadwerkelijke vliegbewegingen van zeearenden door het gebied.

Trefwoorden: zeearend, *Haliaeetus albicilla*, windturbine, aanvaringsrisico, gps-zenders, Windpark Zeewolde, Flevoland, mitigatie

Dit rapport is gratis te downloaden van https://doi.org/10.18174/590594 of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2023 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.
In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.
Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3242 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Zeearend met zender, Flevoland, 2020 (Ralph Buij)

Inhoud

Verantwoording **5**

Samenvatting **7**

1 Inleiding **9**

1.1 Projectdoelstelling 10
1.2 Methoden 11
1.2.1 Studiegebied 11
1.2.2 Aanbrengen gps-zenders en dataverzameling 12
1.2.3 Bewerking van de dataset voor analyse 13
1.2.4 Analyse van aantal vluchten, vliegtijd en vliegafstand binnen onderzoeksgebied Zeewolde 14
1.2.5 Vlieghoogte en ruimtegebruik van de zeearenden in en rond het projectgebied 14
1.2.6 De relatie tussen weersomstandigheden en vlieghoogte van zeearenden binnen Windpark Zeewolde 15
1.2.7 De ontwikkeling van de zeearend-populatie in de nabijheid van het projectgebied en daadwerkelijk aantal vliegbewegingen nu en in de toekomst 16

2 Resultaten **17**

2.1 Aantal vluchten, vliegtijd en vliegafstand 17
2.2 Vlieghoogte binnen Windpark Zeewolde 19
2.3 Vlieghoogte en ruimtegebruik in en rond het projectgebied 22
2.4 Relatie tussen weersomstandigheden en vlieghoogte binnen Windpark Zeewolde 27
2.5 Trends in zeearend-aantallen in Nederland en de Oostvaardersplassen 29
2.6 Schatting van totaalaantal vliegbewegingen in Windpark Zeewolde 32

3 Discussie en conclusies **34**

Literatuur **37**

Bijlage 1 **40**

Verantwoording

Rapport: 3242
Projectnummer: 5200047692

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Senior onderzoeker

naam: Karen Krijgsveld

datum: 20-3-2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Marion Kluivers-Poodt

datum: 24-3-2023

Samenvatting

Een kleine toename van sterfte door aanvaringen met windturbines kan een groot effect hebben op de populatieomvang van langlevende vogelsoorten, waaronder zeearenden *Haliaeetus albicilla*. Toch is er weinig bekend over de aanvaringsrisico's van soorten zoals zeearenden en waar en wanneer die risico's het grootst zijn. Hierdoor kunnen nauwelijks effectieve maatregelen worden genomen om eventuele sterfte door aanvaringen met windturbines te voorkomen. In de Provincie Flevoland staat een groot aantal turbines die overlappen met de vliegbewegingen van zeearenden in die provincie. Dat geldt ook voor Windpark Zeewolde, dat in een gebied ligt met een hoge dichtheid aan vliegbewegingen van zeearenden, wat inmiddels heeft geleid tot een aanvaringsslachtoffer. Er is voor Windpark Zeewolde behoefte aan meer kennis over aanvaringsrisico's voor zeearenden en de mogelijkheden voor mitigatie.

Dit project kent de volgende doelstellingen:
1. Bepalen van ruimtelijk en temporele aspecten van vlieggedrag van jonge (1e-4e jaar) zeearenden (aantal vliegbewegingen en vlieghoogte in relatie tot periode van het jaar, tijd van de dag en weersomstandigheden) ten aanzien van windturbines in Windpark Zeewolde;
2. Op basis hiervan identificatie van potentieel risicovolle windturbines voor zeearenden in Windpark Zeewolde;
3. Bepalen van de daadwerkelijke en in de toekomst te verwachten vliegbewegingen door het park.

We baseren onze analyses op een steekproef van 15 in Nederland geboren zeearenden die zijn uitgerust met gps-zenders en waarvan gps-gegevens zijn verzameld in de periode van zomer 2019 tot en met najaar 2022. Met de behaalde inzichten in vliegbewegingen is duidelijk dat zeearenden in potentie de hoogste risico's lopen op aanvaringen met turbines in de Noordoosthoek van Windpark Zeewolde. Het voorjaar en de (na)zomer zijn de perioden met de meeste vliegactiviteit van zeearenden in Windpark Zeewolde. In die perioden vonden de meeste vliegbewegingen plaats, werd de grootste afstand afgelegd en de meeste tijd besteed in het park door de gezenderde jonge zeearenden. Wat hierbij opviel, was de grote variatie in totale vliegactiviteit tussen maanden en jaren, maar ook tussen de individuele zeearenden.

Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de arenden in de zomer vaker boven rotorhoogte vlogen en dat vooral in de lente, maar ook in herfst en winter, vaker op rotorhoogte werd gevlogen. De proportie van de vliegtijd binnen de rotorhoogte van de drie turbinetypen varieerde van 0-0.31 voor de V136-turbines, 0-0.64 voor de V110- tot 0.16-0.66 voor de V117- en V126-turbines. Met een Generalized Linear Mixed Model zijn relaties tussen onder andere weer en vlieghoogte berekend. Daaruit komt naar voren dat de kans dat zeearenden op rotorhoogte vlogen binnen Windpark Zeewolde hoger was wanneer er geen sprake is van neerslag dan wanneer er neerslag viel. Ook was de kans op vluchten op rotorhoogte het grootst bij hoge (25-27°C) of lage (<5°C) luchttemperaturen. De kans is ook net na de middag en in ochtend en avond hoger dan in de rest van het etmaal. Tot slot had windsnelheid een significant positief effect op de kans op vluchten op rotorhoogte.

De aantallen zeearenden in Nederland namen toe in de zomer en winter tussen 2016 en 2020, met een piek in het voorjaar. De proportie van de Nederlandse zeearenden dat in de Oostvaardersplassen verbleef, fluctueerde tussen 2016 en 2021 van 5-17%. Van 2019 t/m 2021 was sprake van een sterke stijging van het aantal jonge zeearenden in de Oostvaardersplassen, die in 2022 leek te stabiliseren, hoewel de presentie van zeearenden met zenders vanaf de nazomer van 2022 juist sterk toenam. Gebaseerd op de proportie van gezenderde vogels van het totaal is het werkelijke aantal vliegbewegingen door windpark Zeewolde ruwweg viermaal groter dan het aantal dat via gezenderde vogels is vastgesteld.

De hier gepresenteerde analyses laten een hoge dichtheid aan vliegbewegingen zien van gezenderde zeearenden door Windpark Zeewolde, die in werkelijkheid een kwart betreffen van de daadwerkelijke vliegbewegingen van zeearenden door het gebied. Daarmee lijkt de kans op sterfte van zeearenden door botsingen met windturbines in Windpark Zeewolde substantieel. Dat vraagt om effectieve maatregelen op

korte termijn om die sterfte te minimaliseren, zoals het verven van rotorbladen en cameradetectie. De gps-zenderdata helpen met het vaststellen van de turbines die in dat verband prioriteit verdienen. Aangezien de gezenderde zeearenden steeds ouder worden en zich de komende 1-2 jaar definitief gaan vestigen in broedterritoria, wordt het voortzetten van het zenderonderzoek met nieuw te zenderen jonge zeearenden sterk aangeraden. Doel van de voortzetting van het zenderonderzoek zou dan zijn het evalueren van de effectiviteit van de eventueel genomen mitigatiemaatregelen en inzicht krijgen in vliegbewegingen die op termijn zullen veranderen, o.a. door het ontstaan van nieuw foerageerhabitat in de omgeving.

1 Inleiding

In Nederland en internationaal krijgt het effect van windparken op vogels steeds meer aandacht, omdat blijkt dat het effect van sterfte door aanvaringen met windturbines kan leiden tot achteruitgang van kwetsbare soorten (Schaub, 2012; Roscioni et al., 2013; Bastos et al., 2016). Roofvogels zijn relatief vaak slachtoffer van windturbines in vergelijking met andere vogels (Thaxter et al., 2017). Daar komt bij dat de impact van die sterfte op populaties van langlevende, traag reproducerende roofvogels relatief groot is in vergelijking met andere soorten (Carrete et al., 2009). In Noorwegen wordt op het eiland Smøla al jaren het effect van een windpark onderzocht op overleving en broedsucces van zeearenden *Haliaeetus albicilla*. Een derde van de sterfte van adulte zeearenden was te wijten aan aanvaringen met windturbines en een overlevingsanalyse toonde een extra sterfte van ca. 10% aan, waardoor de cumulatieve overleving tot het derde levensjaar afnam van 84% naar 74% (Nygård et al., 2010). 4 van 36 gezenderde zeearenden kwamen om door windturbineaanvaringen binnen 5 jaar na zenderen en het aantal broedparen in de omgeving daalde van 13 naar 5 paren als gevolg van de bouw van het windpark (Nygård et al., 2010). In Duitsland werden van 1980 tot 2021 al 211 zeearenden gerapporteerd als windturbineslachtoffer (388 zeearenden in heel Europa; Dürr, 2021). In Nederland is sinds 2008 driemaal een dode zeearend vastgesteld als slachtoffer van een windturbine (De Roder en Bijlsma, 2009; Buij en Jansman, 2019; Van Rijn et al., 2022). Dit waren alle drie onvolwassen zeearenden in windparken in oostelijk/zuidelijk Flevoland. Eén daarvan betrof een aanvaring op 31 januari 2022 met een van de noordoostelijke windturbines van het Windpark Zeewolde. Voor Nederlandse begrippen lijkt een dergelijke sterfte substantieel, omdat relatief weinig zeearenden aanwezig zijn (ca. 21 paren en 30-40 ongepaarde vogels in 2021; Van Rijn et al., 2022).

In veel gevallen worden zeldzame of schaarse soorten als zeearenden niet beschouwd in effectrapportages voor energieprojecten, veelal omdat hun sterfte zou vallen in de categorie 'te verwaarlozen' of 'incidentele' sterfte. Wanneer dergelijke sterfte door aanvaringen wel wordt geschat in Milieu Effect Rapportages (MER's), zoals met de daarvoor gebruikelijke Flux-collision- of BAND-, is de onzekerheid van het geschatte aantal groot (Ferrer et al., 2012; Grünkorn et al., 2017). Het gaat hierbij om inschattingen op basis van zichtwaarnemingen van vogels in het plangebied. Toepassing van moderne zendertechnieken bij vogels (gps-telemetrie) voor het onderzoek naar ontwijkings- en vlieggedrag helpt om deze onzekerheid te verkleinen. Metingen van uitwijking voor turbines en kennis over vlieghoogte per seizoen en bij variërende weersomstandigheden, verbeteren inschattingen van aanvaringsrisico's en gevoeligheidsanalyses, vooral voor roofvogels (Schuster et al., 2015). Op basis hiervan kunnen effectieve mitigatiemaatregelen tegen relatief geringe kosten worden ingezet in hoog-risicogebieden. Het gaat dan bijvoorbeeld om contrasterende kleuren op turbinerotoren (succesvol getest in Noorwegen; May et al., 2020), stilstandvoorziening met cameradetectie (McClure et al., 2022) of gerichte stilstand van turbines alleen wanneer de aanvaringsrisico's het hoogst zijn, zodat minimaal verlies optreedt van energieproductie.

Flevoland is in Nederland de provincie met de meeste zeearenden en met een grote ambitie op het gebied van windenergie. Een recente analyse in opdracht van de provincie Flevoland liet zien dat jonge zeearenden regelmatig op en neer pendelen tussen de Oostvaardersplassen en de Randmeren, waarbij vooral Windpark Zeewolde regelmatig doorkruist wordt (Buij et al., 2022). Dat onderzoek was mogelijk met gegevens van vijftien zeearenden die tussen 2019 en 2021 werden gezenderd met gps-/gsm-zenders van Ornitela (https://www.ornitela.com), werk dat werd gecoördineerd en uitgevoerd door de Werkgroep Zeearend Nederland, deels in samenwerking met Wageningen Environmental Research. Alle zeearenden werden als nestjong gezenderd rond een leeftijd van 50-60 dagen in Flevoland (Eemmeer, Lepelaarplassen, Oostvaardersplassen, Spijk-Bremerberg) en in andere Nederlandse regio's (Makkumerwaard, Dordtse en Brabantse Biesbosch, Zuid-Veluwe, Haringvliet, Hellegatsplaten, Lauwersmeer, Betuwe); de meeste van deze vijftien arenden bezochten Flevoland.

Buij et al. (2022) analyseerden de vliegbewegingen van deze jonge zeearenden in de provincie Flevoland van 2019 tot 2021 en stelden vast dat zeearenden 34% van de tijd op de rotorhoogte van bestaande turbines vlogen in de provincie. De vliegtijd op rotorhoogte nam toe bij hoge windsnelheden en rond de middag en

wanneer de arenden boven landbouwgebied vlogen. De dichtheid aan vliegbewegingen was vooral hoog in de herfst en besloeg een groot deel van Windpark Zeewolde, waar regelmatig in de buurt van turbines werd gevlogen. De risico's op aanvaringen in dit park worden bevestigd door aanvaringen van twee jonge zeearenden in en op de grens van het plangebied van Windpark Zeewolde sinds 2018.

Daarmee is het Windpark Zeewolde een aandachtsgebied voor aanvaringsrisico's van zeearenden in de provincie Flevoland. In het buitengebied van Zeewolde staan drie windparken met één gedeelde vergunning. Dat betreft Windpark Zeewolde van Windpark Zeewolde BV met 83 windturbines, vertegenwoordigd door meer dan 200 initiatiefnemers, Windpark de Kleine Trap met 4 turbines van Pure Energie (in het noorden) en Windpark Bosruitertocht met 4 turbines van Eneco (in het zuiden). In het rapport, dat diende als onderbouwing bij het aanvragen van de vergunningen (Van der Wind et al., 2016), werd verondersteld dat er zeer incidenteel zeearenden in het gebied voorkwamen en geen maatregelen nodig waren.

Dat er sprake is van frequente vliegbewegingen door het windpark is inmiddels aangetoond (Buij et al., 2022). Er zijn echter regelmatig grote verschillen, ook binnen windparken, in het aantal aanvaringen met specifieke turbines (De Lucas et al., 2008). Windturbines bestaan er bovendien in allerlei verschillende groottes. Tegelijkertijd zijn de vliegbewegingen van de arenden niet evenredig in de verticale ruimte verdeeld. Daarom hebben de grootte en de hoogte van windturbines potentieel een grote invloed op het aanvaringsrisico. De nieuwe windturbines van Windpark Zeewolde in de provincie Flevoland hebben een gemiddelde rotordiameter van 132 m, tegenover 52 m bij de oude (gesaneerde en te saneren) turbines. Een tweede belangrijke parameter die zowel bij nieuwe als bij oude turbines sterk kan variëren, is de hoogte van de rotor boven het maaiveld, wat door de tiplaagte (het laagste punt van de rotor boven het maaiveld) uitgedrukt kan worden. In het projectgebied Zeewolde hebben de nieuwe windturbines tiplaagtes tussen 28 en 78 m. Van belang is daarbij de sanering die plaatsvindt in het park, waarbij oude, kleine turbines met een lage tiplaagte worden vervangen door een kleiner aantal grotere turbines met een hogere tiplaagte. Het effect van deze *repowering* voor de aanvaringsrisico's met zeearenden in Flevoland is onderzocht (Buij et al., 2022), op basis van de overlap in vlieghoogte van de zeearenden met de rotorbladen. Bij de vergelijking van de windenergiesituatie in de provincie van 2019 met de toekomstige situatie van 2027 bleek dat de toename van het totale vermogen gepaard gaat met een toename van het absolute aanvaringsrisico voor zeearenden. Het aanvaringsrisico per eenheid energievermogen van de turbines is echter lager geworden. Dus hoewel het aanvaringsrisico per windturbine lager is met de toekomstige turbines dan met de bestaande turbines, wordt het aanvaringsrisico over het geheel genomen groter, omdat het totale vermogen (of rotoroppervlak?) met de toekomstige turbines sterk toeneemt. De toename van het aanvaringsrisico is daarbij wel beperkt gebleven door de inzet van grotere, hogere turbines in plaats van de lagere, oudere turbinemodellen.

Behalve de verschillen in aanvaringsrisico's tussen turbines, variëren die risico's ook gedurende het jaar, met allerlei factoren die van invloed zijn op vlieggedrag en -hoogte (Nygård et al., 2010; Murgatroyd et al., 2021). Weersomstandigheden kunnen van grote invloed zijn op het vlieggedrag bij roofvogels, die bijvoorbeeld op warme dagen veel meer gebruik kunnen maken van thermiek dan op koudere dagen en daardoor gemiddeld hoger zullen vliegen (Sergio, 2003).

Tot slot kunnen na verloop van tijd (in jaren) de aantallen slachtoffers binnen een windpark toenemen met het aantal vliegbewegingen als het aantal vogels in de nabijheid groeit. Het aantal broedparen van zeearenden in Nederland nam pas vier jaar na het eerste broedgeval in 2006 toe tot 2-3 paren, waarna de broedpopulatie sneller toenam vanaf 2014 en werd aangevuld met een groeiend aantal niet-broeders (Van Rijn et al., 2019). Die groei van de aantallen is ook van grote invloed op de vliegbewegingen van zeearenden binnen het Windpark Zeewolde, nu en in de toekomst.

1.1 Projectdoelstelling

Windpark Zeewolde BV wil in detail weten hoe frequent, waar en wanneer zeearenden in het windpark voorkomen, en dan met name wanneer ze op rotorhoogte en in de risicovolle zone van turbines vliegen, zodat inzichtelijk wordt wat de aanvaringsrisico's zijn.

Om het aanvaringsrisico met windturbines te bepalen, worden het vlieggedrag en het ruimtegebruik van zeearenden in Windpark Zeewolde in kaart gebracht door de vliegbewegingen van individuele arenden in detail (in tijd en ruimte) te analyseren. De arenden zijn daartoe uitgerust met gps-loggers die over een lange periode, van meerdere jaren, hoog-resolutie-locatiegegevens verzamelen, zodat vlieggedrag in detail kan worden bestudeerd in relatie tot windturbines en landschapseigenschappen. De zenders bieden gegevens over bewegingen van de vogels die worden gemodelleerd in relatie tot weersomstandigheden en etmaal- en seizoensinvloeden.

Verschillen in aanvaringsrisico's met turbines kunnen worden bepaald door de gedetailleerde informatie over vliegbewegingen van de gezenderde zeearenden te combineren met de ashoogte, rotordiameter en locatie van windturbines. We bepalen om die reden de vlieghoogte van de zeearenden en vergelijken die met de rotorhoogte van de turbines binnen het Windpark Zeewolde. Op basis van die informatie kan geëvalueerd worden of en welke maatregelen getroffen kunnen worden om de kans op aanvaringen te beperken, zoals cameradetectie van arenden op locaties waar aanvaringen het waarschijnlijkst zijn. Een dergelijke benadering voor het beperken van potentiële slachtoffers bij minimaal verlies van energieproductie, is ook al in andere landen met succes toegepast (bijvoorbeeld door Reid et al., 2015 en Vasilakis et al., 2017).

Het project bestaat uit een fase waarin de zenderdata voor de periode 2019-2022 voor Windpark Zeewolde is opgeschoond (gps-locaties met een grote onnauwkeurigheid worden uitgesloten van analyse) en een selectie is gemaakt van de benodigde gedetailleerde informatie over vliegbewegingen in het Windpark Zeewolde. Vervolgens zijn die ruimtelijke gegevens gebruikt voor het kwantificeren van vliegbewegingen in ruimte en tijd binnen het windpark. Tot slot is een evaluatie gemaakt van de huidige en te verwachten zeearend-populatie rond het windpark en de potentie en/of wens voor toekomstig zenderonderzoek.

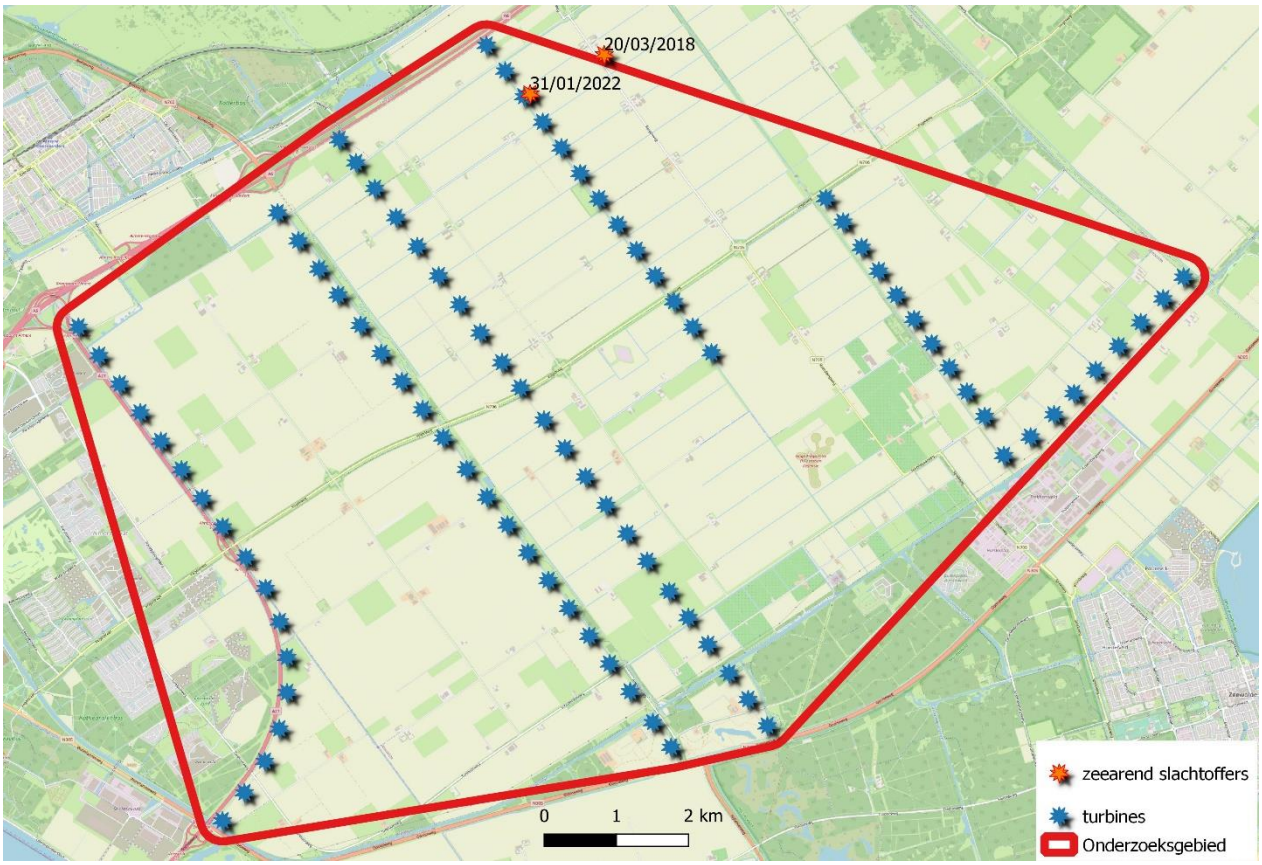
In het kort kozen we een onderzoeksstrategie waarmee een antwoord wordt gegeven op de volgende vragen:
- Hoeveel vliegbewegingen van gezenderde zeearenden zijn in en rondom het projectgebied van Windpark Zeewolde gedetecteerd?
- Hoe vertaalt zich dit in een totaal aantal geschatte/verwachte vliegbewegingen door of over het windpark, op basis van de tracks van de jonge zeearenden?
- Op welke hoogte vliegen zeearenden binnen het windpark?
- Hoe zijn de vliegbewegingen op rotorhoogte verdeeld gedurende een etmaal, periode van het jaar in een etmaal en over het jaar?
- Hoe zijn de vliegbewegingen in het projectgebied ruimtelijk verdeeld en welke turbines zijn het risicovolst?
- Gebruiken de zeearenden het Windpark ook om te foerageren, d.w.z. zijn ze er ook zittend en gedurende langere perioden te vinden?
- Wat is de relatie tussen windsnelheid, temperatuur, wolkbedekking, windrichting en vlieghoogte en aanwezigheid van zeearenden binnen Windpark Zeewolde?
- Hoe ontwikkelt de zeearend-populatie zich in Nederland en buitenland en wat is op basis daarvan de komende jaren in het projectgebied te verwachten wat betreft vliegbewegingen van zeearenden?
- Is er een meerwaarde voor windpark Zeewolde om het zenderonderzoek te continueren?

1.2 Methoden

1.2.1 Studiegebied

Voor deze analyse richten we ons op de nieuwe turbines die geplaatst zijn tussen 29 september 2021 en 1 juli 2022 (zie Figuur 1). Dit betreft 91 turbines van het type V110, V117, V126 en V136. Deze turbines zijn voor de analyses opgedeeld in drie categorieën:
- turbines van type V136 (tiplaagte = 84, tiphoogte 220)
- turbines van type V110 (tiplaagte = 46, tiphoogte 156)
- windturbine van type V117 en V126 (tiplaagte = 33, tiphoogte 160)

Deze 91 turbines hebben een gezamenlijk vermogen van 239.50 Mw. Op dit moment staan er ook nog oudere turbinemodellen die geen deel uitmaken van het Windpark Zeewolde en de komende jaren uit bedrijf zullen worden genomen of dat al zijn. Het gaat in totaal om 315 turbines.



Figuur 1 *Begrenzing van Windpark Zeewolde met de positie van de 91 turbines. De twee locaties van zeearenden die sneuvelden na aanvaringen met windturbines in het onderzoeksgebied zijn ook aangegeven.*

1.2.2 Aanbrengen gps-zenders en dataverzameling

Tussen 2019 en 2021 werden 15 zeearenden gezenderd met gps-gsm-zenders (verder: gps-zenders) van Ornitela© (https://www.ornitela.com/) (Van Rijn et al., 2020; Buij et al., 2022). Voor het zenderen van de zeearenden zijn zowel de OT-50B- als de OT-E50-modellen van de fabrikant gebruikt. Alle zeearenden waren jonge vogels die rond hun 50ste dag werden gezenderd op het nest. De gps-zenders werden op de zeearenden bevestigd met behulp van een geprepareerd harnas of 'rugzak' van Teflon, dat de zender op zijn plaats houdt op de rug van de vogel. Naast het zenderen werden de vogels geringd en gemeten (vleugellengte, gewicht etc.). De jonge zeearenden werden op het nest teruggezet. Op basis van eerdere ervaringen kan redelijkerwijs worden aangenomen dat het ongerief veroorzaakt door het aanbrengen van een zender laag is, d.w.z. er lijkt geen sprake van een verlaagde levensverwachting, een verhoogde kans op predatie, directe schade door het harnas of op een verlaagde reproductie als gevolg van het zenderen. Ook zijn de zenders lichter dan zenders voorheen gebruikt in andere landen, hoewel met zwaardere zenders in Duitsland en Noorwegen bij zeearenden ook geen negatieve effecten konden worden vastgesteld (O. Krone, pers. comm. 2019). De gebruikte zenders (incl. tuigje) wogen <3-5% van het lichaamsgewicht van de vogels. De zeearenden zijn gezenderd onder de projectontheffing van Sovon Vogelonderzoek (CCD-projectnummer AVD250002015200) voor de Wet op Dierproeven en onder ontheffing in het kader van Wet natuurbescherming van het Vogeltrekstation. In overleg met provincie en terreineigenaren (Stichting Flevo-landschap, Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten) zijn vergunningen aangevraagd voor het zenderen op hun terreinen.

De gps-zenders registreerden de volgende gegevens: breedtegraad, lengtegraad, hoogte boven zeeniveau zowel op basis van luchtdruk (hierna barometrische hoogte) als gps-locatie (hierna gps-locatiehoogte), momentane tweedimensionale snelheid, datum en tijd. Om hoge-resolutiegegevens te verzamelen in windparken werden zogenaamde virtuele geografische zones, zogenaamde *geofences* gebruikt. Dit zijn door de onderzoekers gedefinieerde gebieden waarbinnen gps-zenders automatisch de instellingen wijzigen naar een hogere frequentie van locatiebepalingen (fixes), doorgaans elke 3 seconden. Deze gegevens werden gebruikt om gegevens met een hoge resolutie te verzamelen in en rond windparken. Het onderzoeksgebied Zeewolde valt binnen een geofence en bij voldoende batterijspanning verzamelden de zenders dus data met hoge resolutie.

Daarnaast werden hoge-resolutiedata met een interval van 3 seconden ook tijdens blokken van 0,5-3 h verzameld, die op willekeurige momenten van de dag werden toegepast. Er waren ook perioden waarin de tussenpozen tussen fixes langer moesten zijn dan 5 minuten. Bij een lagere batterijspanning verzamelt een zender namelijk minder of tijdelijk geen data, wat met name voorkomt in de winter met weinig zonlicht.

Tabel 1 *Gps-trackingdata van zeearenden binnen Windpark Zeewolde, zoals gebruikt voor deze studie. De positiegegevens verkregen met hoge resolutie en bij intervallen van 30 en 5 minuten zijn weergegeven.*

Individu	Aantal posities per interval		
	Totaal	Hoge resolutie	Lage resolutie
Dordtse_Biesbosch_2019	651	648	3
Eemmeer_2020_man	5370	5306	64
Eemmeer_2020_vrouw	5861	5853	8
Hellegatsplaten_2019	6		6
Lauwersmeer_2020	729	720	9
Lepelaarplassen_2019	5051	4991	60
Makkum_2021_man	23		23
Makkum_2021_vrouw	133	119	14
Oostvaardersplassen_2020	8159	8141	18
Spijk-Bremerberg_2019	8710	8650	60
Spijk-Bremerberg_2020	5184	5161	23
Zuid-Veluwe	118		118
Brabantse Biesbosch	4038	3955	43

1.2.3 Bewerking van de dataset voor analyse

De gegevens verzameld gedurende de periode van 4 augustus 2019 tot en met 29 augustus 2022 werden geselecteerd voor de analyses. Alleen de data binnen onderzoeksgebied Windpark Zeewolde zijn gebruikt voor de analyses. We hebben de beschikking over gegevens die verzameld zijn met hoge en lage resolutie (Buij et al., 2022; zie methoden). De gebruikte definitie voor hoog-resolutie-zenderdata waren die posities met een tijdsinterval van < 20 sec, waarbij de gps-module aan blijft staan en de nauwkeurigheid van de locatie en hoogtebepaling hoger is dan bij lagere frequentie van data. Laag-resolutiedata zijn dan die gegevens die verkregen zijn met een langer tijdsinterval dan 20 sec. We maakten ook een onderscheid tussen de posities in de vlucht en in zit, zodat alle analyses betrekking hadden op de posities in de vlucht. De posities in de vlucht werden onderscheiden van die in zit op basis van door de gps gemeten snelheid (Buij et al., 2022).

Bepaling van de vlieghoogte

Vlieghoogte kan worden bepaald aan de hand van de berekeningen van de gps of aan de hand van de barometrische druk. Op basis van de barometrische druk kan de vlieghoogte worden berekend wanneer rekening wordt gehouden met de heersende luchtdrukomstandigheden. De barometrische druk-data waren beschikbaar voor alle individuen, behalve drie zeearenden uit 2019. Bij een vierde zeearend uit 2019 werden grotere afwijkingen in barometrische hoogten vastgesteld, die waarschijnlijk veroorzaakt werd door een defecte sensor in zender; deze is daarom ook niet meegenomen bij de bepalingen van de barometrische hoogten. De zenders van Ornitela gebruiken een barometrische hoogteformule om de hoogte in meters te verkrijgen uit de gemeten luchtdruk, gebaseerd op een referentieluchtdrukwaarde op zeeniveau van

1013,25 hPa (P_0). Toch is de onbewerkte barometrische hoogtemeting erg onnauwkeurig, omdat er geen rekening wordt gehouden met de lokale luchtdruk en temperatuur ten tijde van de meting. Daarom is verdere gegevensverwerking noodzakelijk die gebruikmaakt van weergegevens ten tijde van de metingen. Deze bewerkingen zijn in detail beschreven in Buij et al. (2022). De hoogte die wordt bepaald door de gps is vooral nauwkeurig als deze veel momenten kort na elkaar een positie bepaalt. Om deze redenen is ervoor gekozen om de gps-hoogte te gebruiken van de zenders wanneer er sprake was van hoog-resolutiedata. Voor laag-resolutiedata werden de barometrische hoogtewaardes gebruikt, die weliswaar een kleine afwijking vertonen voor gemeten hoogte, maar dan alleen tijdens stationaire periodes (hier niet meegenomen in de analyses, zie ook Buij et al., 2022). Voor de zenders waarvoor geen barometer hoogtemeting aanwezig was en wanneer er geen sprake was van hoog-resolutiedata, is ervoor gekozen om de data niet mee te nemen in de analyse.

1.2.4 Analyse van aantal vluchten, vliegtijd en vliegafstand binnen onderzoeksgebied Zeewolde

We bepalen de aantallen vliegbewegingen binnen en rond het park voor de gehele periode waarbinnen gps-tracks werden verzameld. Voor het kwantificeren van 'vliegbewegingen' is uitgegaan van de lengte van individuele gps-tracks door de verschillende individuen. Alleen punten die zijn gecategoriseerd als 'in de vlucht' zijn voor deze analyses gebruikt. Om het aantal vluchten, de vliegtijd en de vliegafstand binnen het onderzoeksgebied te bepalen, zijn allereerst de individuele vluchten gedefinieerd. Voor iedere vogel is het eerste gps-punt waarbij sprake is van vliegen, de start van een vlucht, en ieder opvolgend punt is deel van dezelfde vlucht. Wanneer een vogel stopt met vliegen gedurende langer dan 3 sec of het gebied verlaat, wordt het laatste gps-punt als eindpunt gedefinieerd. Dit proces is voor de gehele dataset herhaald, waarbij alle gps-punten tussen het start- en eindpunt hetzelfde unieke vluchtnummer krijgen. Hierna is het aantal vluchten per maand binnen het gebied bepaald door unieke vluchtnummers op te sommen per maand en per individu.

Door lage batterijspanning worden gedurende sommige periode minder gps-punten verzameld; in die gevallen zit er een tijdsinterval van 5 minuten of meer tussen opeenvolgende gps-punten. Deze data worden lage-resolutiedata genoemd. Omdat er ook perioden zijn waarbij de batterijspanning zo laag is dat de zender tijdelijk met intervallen van langer dan 5 minuten of helemaal geen data verzameld, wordt een maximum interval van 5 minuten tussen punten genomen door middel van de R-functie 'track_resample' (R package amt). Hierdoor worden opeenvolgende punten met een tijdsinterval van langer dan 5 minuten uitgesloten, omdat binnen een tijdsinterval langer dan 5 minuten de gezenderde vogel tussendoor gestopt kan zijn met vliegen of het gebied kan hebben verlaten.
Voor de data met lage resolutie is het startpunt het eerste gps-punt in vlucht; wanneer een vogel stopt met vliegen voor een periode van langer dan 5 minuten of wanneer de vogel het gebied verlaat, wordt het laatste gps-punt in vlucht als eindpunt gedefinieerd.

Om vervolgens te bepalen hoeveel tijd er door zeearenden vliegend in het onderzoeksgebied werd doorgebracht, werd de tijd tussen twee opeenvolgende gps-punten berekend. Hierbij werd de som van alle tijden binnen een vluchtnummer genomen, vanaf de eerste meting van de vlucht. Daarna zijn alle vluchttijden gesommeerd. De gevlogen afstand is bepaald door de afstand tussen opeenvolgende gps-punten binnen een vlucht te berekenen. Hierbij zijn alle afstanden binnen ieder individueel vluchtnummer opgesomd en daarna zijn alle vluchten opgeteld.

Op basis van de gedetecteerde vliegbewegingen is een inschatting gemaakt van het aantal te verwachten vliegbewegingen van alle in Flevoland aanwezige zeearenden. Hierbij is uitgegaan van de arenden waarvoor vliegbewegingen beschikbaar zijn (steekproef) en van de niet-gezenderde arenden van alle leeftijden waarvan het aantal bewegingen in het Windpark is bijgeschat.

1.2.5 Vlieghoogte en ruimtegebruik van de zeearenden in en rond het projectgebied

De verdeling van de vlieghoogten over het park in de tijd is onderzocht, zodat duidelijk wordt hoe aanvaringsrisico's worden beïnvloed door rotorhoogte in Windpark Zeewolde. Op basis van de gps-tracks van de gezenderde zeearenden is onderzocht of gebieden binnen het windpark frequenter doorkruist worden dan

andere, welke vluchten op rotorhoogte plaatsvonden en hoe die verschillen tussen de seizoenen. Zo wordt duidelijk of en zo ja welke turbines meer of minder risicovol zijn voor aanvaringen met jonge zeearenden.

Om te bepalen hoe de ruimtelijke verdeling van die vliegbewegingen er per seizoen uitziet, zijn de hoge- en lage-resolutie-positiedata gebruikt. Hierbij is de vlieghoogte voor de hoge-resolutiegegevens bepaald aan de hand van de hoogtemeting door de gps en voor de lage-resolutiegegevens door de barometrische hoogte. Met de functie ifelse()(R-pakket base) is vervolgens voor alle gps-locaties bepaald of de hoogte viel binnen of buiten de rotorhoogte. Hierbij worden gps-locaties met hoogten lager dan de tiplaagte en hoger dan tiphoogte van een windturbine gedefinieerd als buiten rotorhoogte. Gps-locaties waarbij hoogten vallen binnen tiplaagte en tiphoogte worden gedefinieerd als binnen rotorhoogte. Deze stap is uitgevoerd voor alle drie categorieën turbines.

De ruimtelijke data zijn door middel van de functie write.csv() als een .csv-bestand opgeslagen, waarna de punten per seizoen in Qgis zijn geplot op topografische ondergronden van Open Street Map (©OpenStreetMap contributors. In Qgis zijn de punten vervolgens onderscheiden op basis van 'binnen en buiten rotorhoogte' waardoor inzichtelijk wordt waar op rotorhoogte gevlogen werd.

De gps-gegevens zijn toegewezen aan het seizoen waarin ze werden geregistreerd en op kaarten is de vlieghoogte weergegeven in relatie tot rotorhoogte variërend gedurende het jaar. De locaties zijn onderverdeeld naar seizoenen en wel als volgt: (1) lente: 1 maart tot en met 31 mei, (2) zomer: 1 juni tot en met 31 augustus, (3) herfst: 1 september tot en met 30 november en (4) winter: 1 december tot en met 28 februari (of 29 februari in 2020). Voor ieder seizoen is een aparte dataset aangemaakt.

Om te bepalen welke turbines het risicovolst zijn voor de gezenderde zeearenden, is voor iedere gps-locatie bepaald of die zich binnen een afstand van vier keer de rotorlengte van een windturbine bevond. De specifieke rotorlengte voor iedere individuele windturbine is voor deze analyse gebruikt. Vervolgens is bepaald hoe vaak ieder individu binnen een straal van vier keer de rotorlengte aanwezig was. Hetzelfde is gedaan voor vluchten die een uur of langer van elkaar plaatsvonden; zo ontstaat een duidelijker beeld van herhaalde risicovolle vluchten in plaats van (mogelijk) een serie vluchten van een enkele zeearend binnen korte tijd.

Tot slot is voor de zeearenden onderzocht wanneer ze zittend en voor langere perioden in het gebied aanwezig waren. Dit om aan te geven waar en of de zeearenden het gebied ook gebruiken voor rusten en/of foerageren en er niet slechts overheen vliegen. Deze analyse richtte zich op het lokaliseren van clusters van gps locaties in de movebank platform MoveApps (door middel van de applicatie Daily Rest/Foraging Sites). Een zitlocatie had de volgende criteria: een cluster van gps-punten die een verblijf van ten minste 15 minuten vertegenwoordigt, met een verplaatsing van maximaal 20 m binnen die periode en een snelheid van maximaal 1 m/s tussen punten. De locaties die aan die voorwaarden voldeden, zijn vervolgens geplot op een kaart.

1.2.6 De relatie tussen weersomstandigheden en vlieghoogte van zeearenden binnen Windpark Zeewolde

Om te evalueren hoe de vlieghoogte van de zeearenden is beïnvloed door weersomstandigheden, zijn alle gps-fixes in vlucht (hoge en lage resolutie) gekoppeld aan variabelen die de weersomstandigheden beschrijven. Voor deze analyse zijn weergegevens op uurbasis (temperatuur, windsnelheid, -richting en neerslag) gebruikt van het weerstation Lelystad van het KNMI, waarbij de relaties tussen aanwezigheid en vlieghoogte en de weersomstandigheden duidelijk worden.

Om te bepalen welke weersomstandigheden van invloed zijn op de vlieghoogte van zeearenden en of deze binnen algehele rotorhoogte (33 tot en met 220 meter) van windturbines valt, is gebruikgemaakt van binominale Generalized Linear Mixed Models (GLMMs, in de implementatie in de functie "glmer" van het "lme4" pakket binnen statistiekpakket R). De afhankelijke variabele voor deze modellen is vlieghoogte binnen of buiten rotorhoogte (binnen = 1, buiten = 0). De verklarende variabele windsnelheid is gestandaardiseerd (gemiddelde van 0 en standaarddeviatie van 1). Neerslag is meegenomen als binaire variabele (0 = geen regen, 1 = regen). Vanwege de cyclische distributie van de variabelen temperatuur en

tijd op de dag, zijn van deze variabelen orthogonale polynomen meegenomen in de modelering door middel van de functie poly() (R-pakket stats). Seizoen is meegenomen als categorische variabele (lente, zomer, herfst, winter). Individu is meegenomen als willekeurig effect.

Door middel van de functie "dredge" (package MuMln) zijn er statistische modellen gemaakt van alle mogelijke combinaties van verklarende variabelen, waarna op basis van Akaikes informatiecriteria een selectie is gemaakt van de modellen die met zo min mogelijk variabelen de beste voorspelling van de gegevens maken (modellen met delta AICc ≤2 van het topmodel). Naast tabellen van deze modellen zijn van het best verklarende model effectgrafieken berekend, die de invloed van verschillende verklarende variabelen op de kans van vliegen op rotorhoogte weergeven.

1.2.7 De ontwikkeling van de zeearend-populatie in de nabijheid van het projectgebied en daadwerkelijk aantal vliegbewegingen nu en in de toekomst

Bij het bepalen van de risico's op aanvaringen moet rekening worden gehouden met het feit dat niet alle zeearenden in Flevoland gezenderd waren, maar slechts een proportie van de populatie en dan alleen jonge vogels uit 2019-2021. Het totaalaantal vliegbewegingen door het Windpark Zeewolde is dus hoger dan op basis van gezenderde individuen is geregistreerd, net als de totale vliegtijd en het aantal vliegbewegingen. Om een indicatie te krijgen van het daadwerkelijke aantal vliegbewegingen, moet worden vastgesteld welke proportie van de arenden gezenderd was tijdens de studie. Hiervoor zijn maandelijkse tellingen van RWS gebruikt die zijn opgenomen in de NDFF-dataset (Sovon), aangevuld met gegevens uit waarneming.nl. Omdat de tellingen van RWS doorgaans zo dicht mogelijk bij de 15^{e} van elke maand zijn uitgevoerd is, om het percentage gezenderde vogels te bepalen, het aantal aanwezige arenden met zenders op de 15^{e} van elke maand gebruikt.

Vanwege een waarschijnlijk sterke onderschatting van de getelde aantallen in de Oostvaardersplassen vanaf mei 2022 en mogelijk ook van de eerdere tellingen (mond. mededeling RWS), is als test het aantal zeearenden geschat op basis van het aantal gezenderde arenden in de nazomer van 2022. Van het aandeel in Nederland gezenderde arenden dat in de Oostvaardersplassen verbleef, is aangenomen dat dit aandeel representatief is voor alle in Nederland geboren jongen uit 2019-2022, waarbij vogels van 0-3 jaar uit de regio Flevoland en vogels van 1-3 jaar van buiten de regio Flevoland de Oostvaarderplassen kunnen bereiken. Op basis van de gedetecteerde vliegbewegingen van zendervogels en de proportie van de arenden met zenders is een inschatting gemaakt van het werkelijke aantal vliegbewegingen.

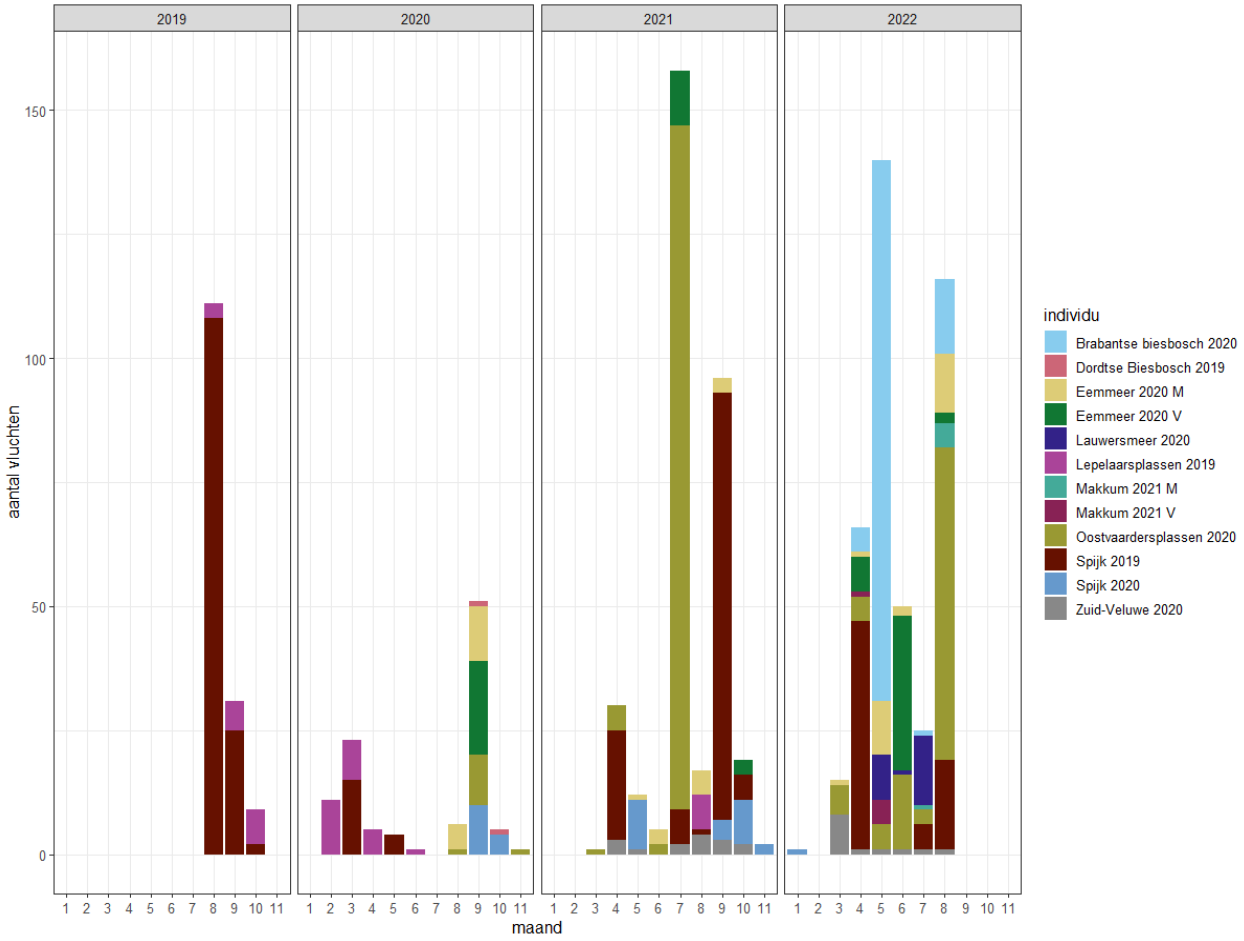
Daarnaast zijn de recente ontwikkeling van het aantal broedparen in Nederland, de regio Flevoland en Randmeren en de actuele dichtheden van broedparen van gebieden in Duitsland en Kroatië gebruikt om een inschatting te maken van het aantal broedparen dat de komende jaren in en rondom het windpark te verwachten is. We maken daarvoor een inschatting (via expert judgement) van de gebieden die de komende jaren waarschijnlijk bezet zullen raken op basis van de ligging van geschikte broedlocaties (bos) en de natuurontwikkelingsprojecten in de regio Flevoland, waaronder Nationaal Park Nieuwland. Op basis van de proportie zeearenden met zenders, de te verwachten ontwikkeling van het aantal zeearenden dat in de Oostvaardersplassen verblijft en de ontwikkeling van het aantal broedparen in de regio Flevoland hebben we ingeschat hoe groot het aantal vliegbewegingen door Windpark Zeewolde in de komende jaren zal zijn.

2 Resultaten

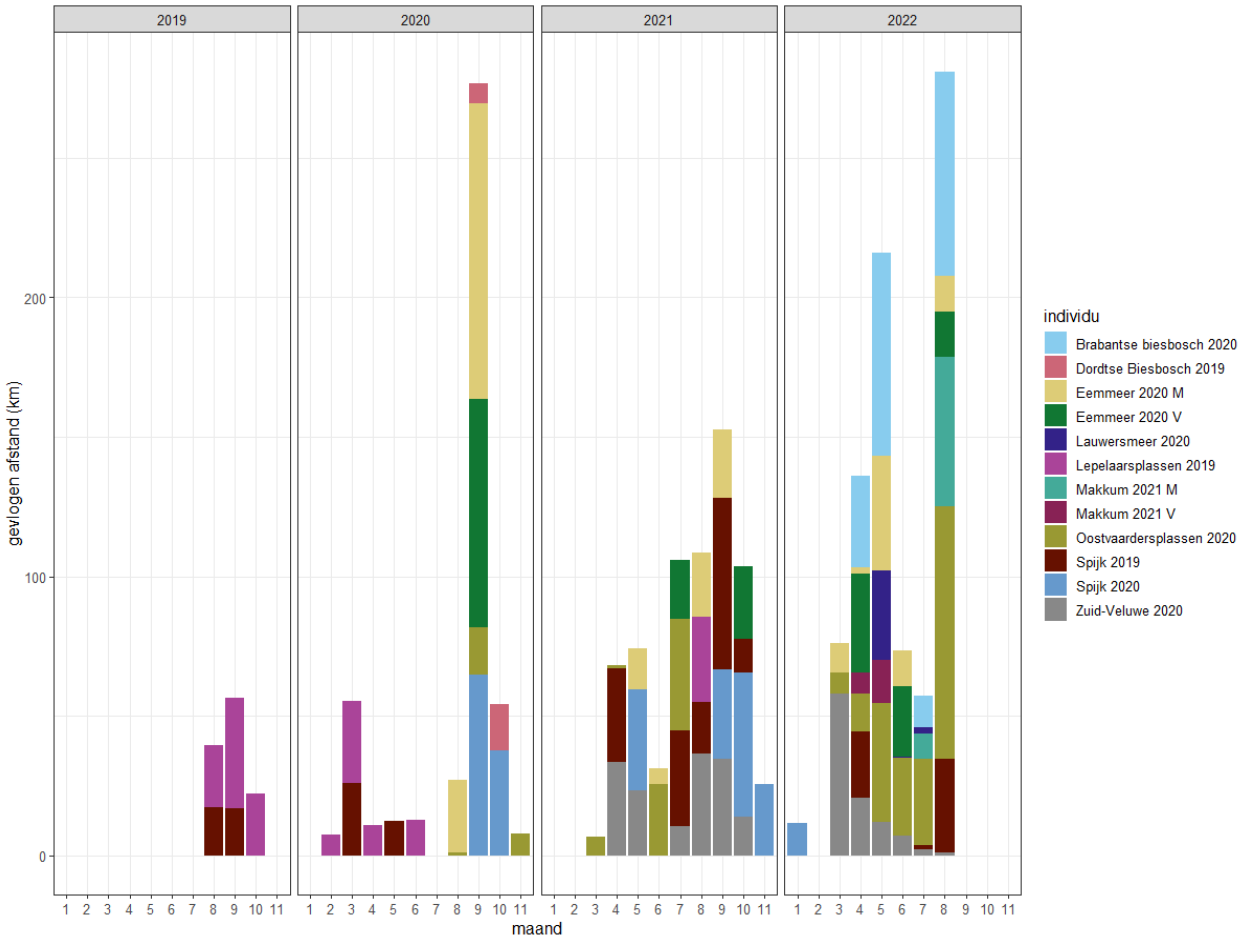
2.1 Aantal vluchten, vliegtijd en vliegafstand

In Figuur 2a is het aantal vluchten weergegeven binnen het windpark voor de gehele periode waarbinnen gps-tracks werden verzameld. De meeste vluchten vonden plaats in de maand mei van 2022 (140 vliegbewegingen), juli 2021 (158) en augustus 2022 (116) en in mindere mate in de maand september 2021 (96), maar er was sprake van een aanzienlijke variatie tussen jaren. Ook waren de meeste vluchten van een enkel individu in iedere maand waarin er veel vluchten werden gedetecteerd.

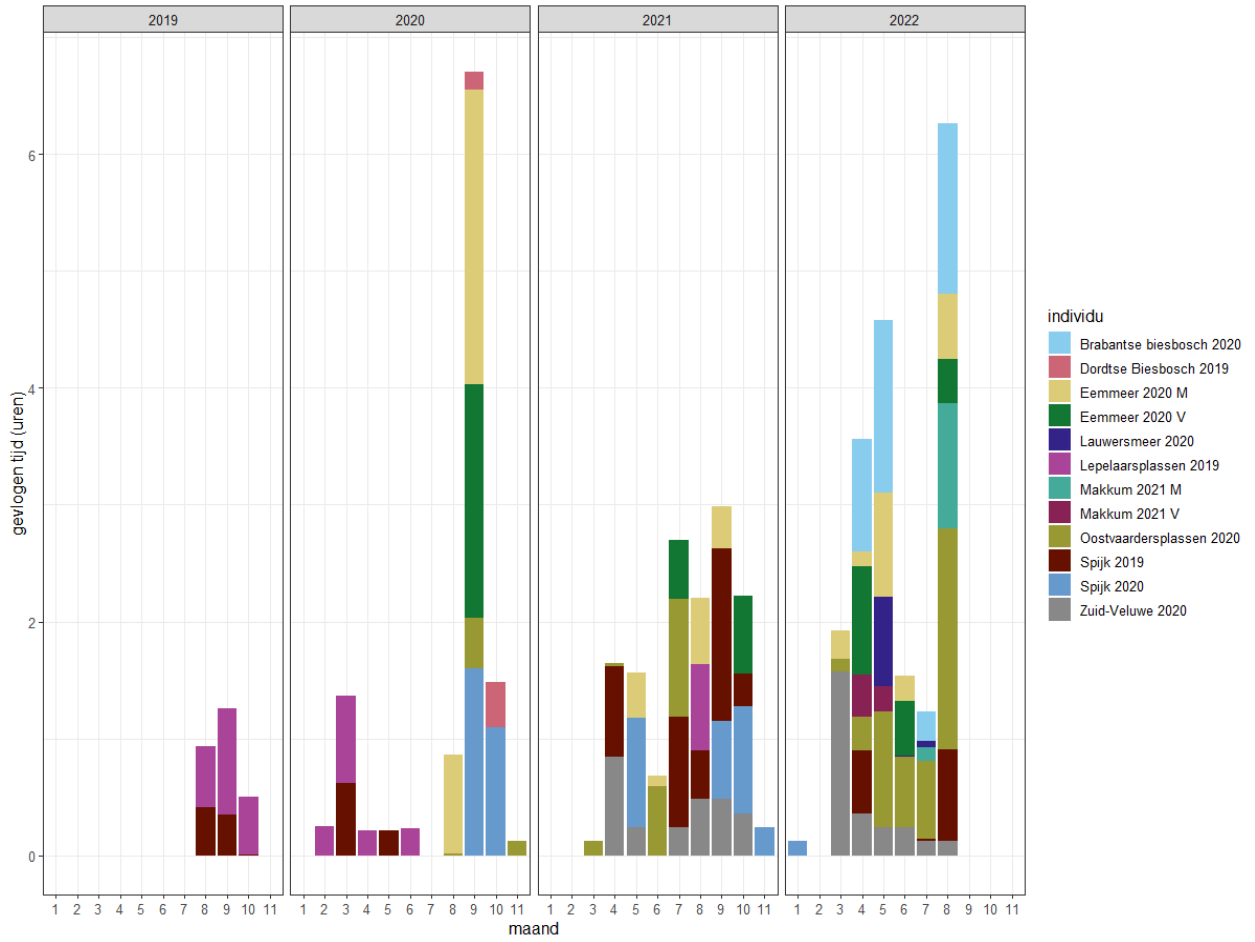
De grootste afstand binnen het windpark werd afgelegd in de maanden mei, augustus en september, maar ook hier was er sprake van veel variatie tussen jaren (Figuur 2b). In september 2020 en in augustus 2022 werd er opgeteld in totaal 277 km en 281 km gevlogen door respectievelijk vijf en zeven gezenderde onvolwassen zeearenden in het windpark. Het ging om meer dan 6 uur totale vliegtijd in september 2020 en meer dan 4 uur in augustus 2022 (Figuur 2c). In mei 2022 werd er in totaal 215 km afgelegd, door zes gezenderde zeearenden. In de meeste maanden werd er echter (veel) minder dan 100 km gevlogen door de arenden (Figuur 2b), in minder dan 2 uur totale vliegtijd (Figuur 2c).



Figuur 2a *Het aantal vluchten, per individu en voor alle individuen opgeteld, voor ieder van de vier jaren van de studie. Het gaat hier om vluchten die begonnen en eindigden in het windpark. De eerste zenderdieren waren in augustus 2019 zelfstandig. Er waren geen vluchten in de maand december.*



Figuur 2b *De gevlogen afstand, per individu en voor alle individuen opgeteld, voor ieder van de vier jaren van de studie binnen het Windpark Zeewolde. Er waren geen vluchten in de maand december.*

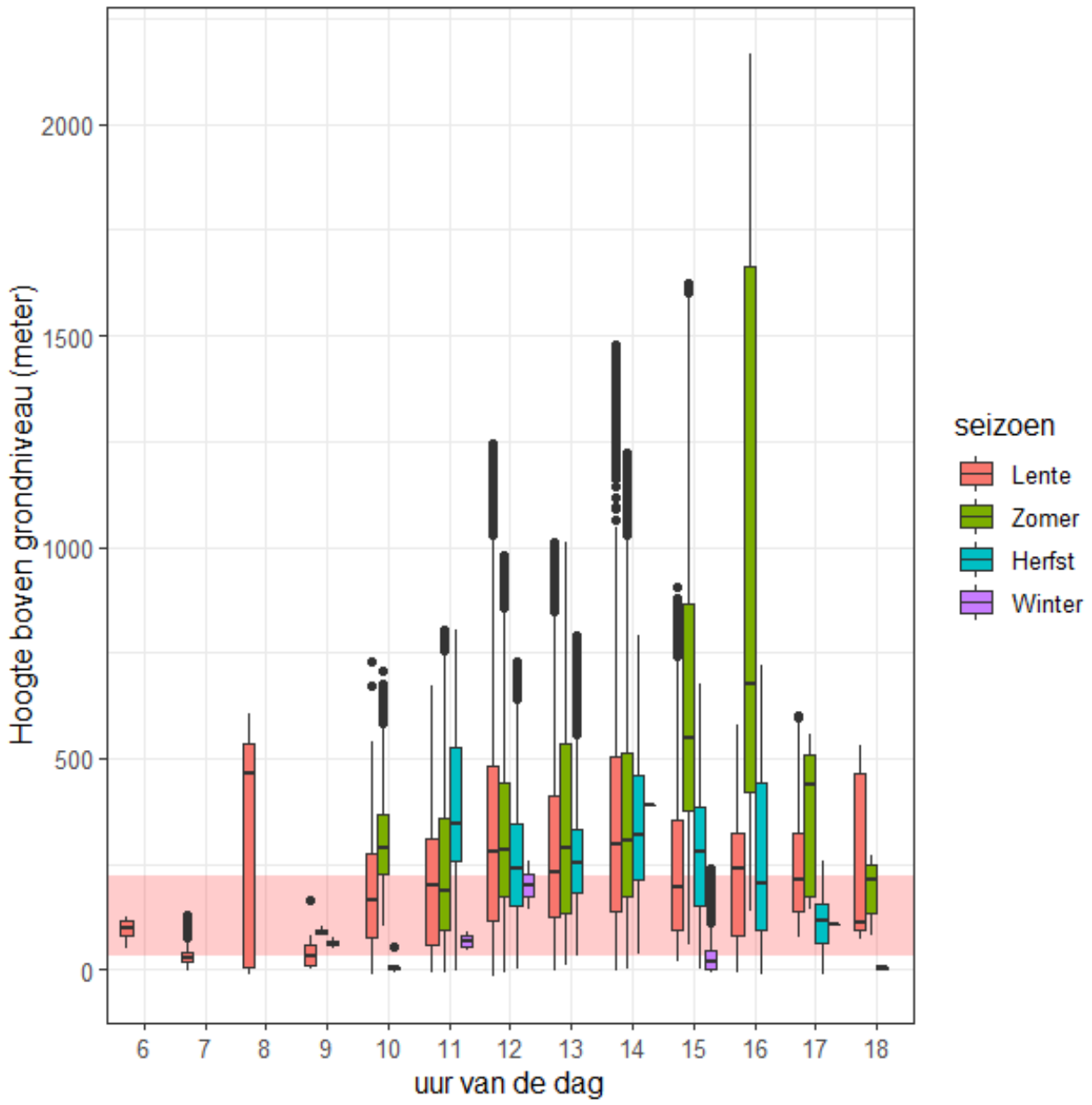


Figuur 2c *De gevlogen tijd, per individu en voor alle individuen opgeteld, voor ieder van de vier jaren van de studie. Het gaat hier om vluchten die begonnen en eindigden in het windpark. Er waren geen vluchten in de maand december.*

2.2 Vlieghoogte binnen Windpark Zeewolde

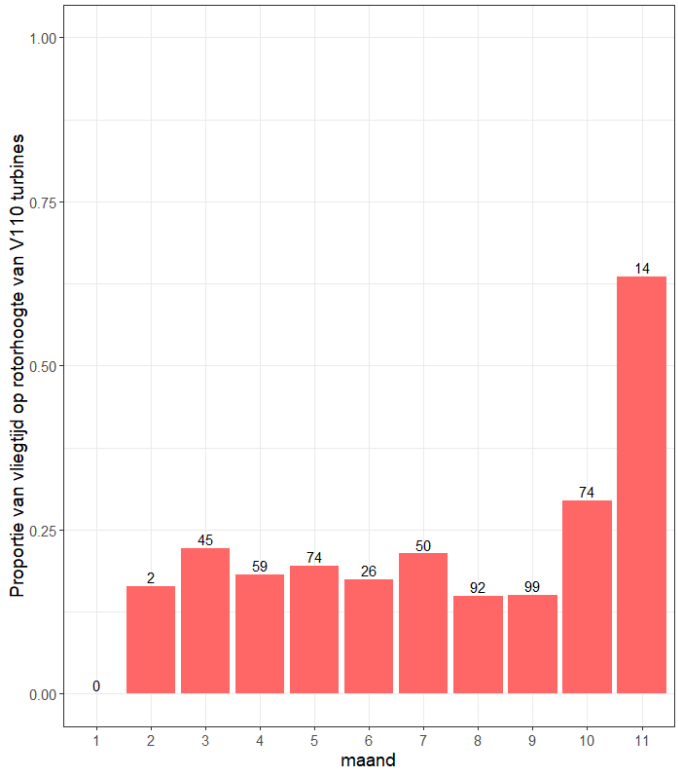
Er was sprake van aanzienlijke variatie in vlieghoogte in Windpark Zeewolde tussen seizoenen, voor alle jaren gecombineerd (Figuur 3). Het hier besproken algemene patroon verschilde sterk tussen de jaren, vooral door verschillen in weersomstandigheden en databeschikbaarheid (Bijlage 1, Figuur B1.1d).

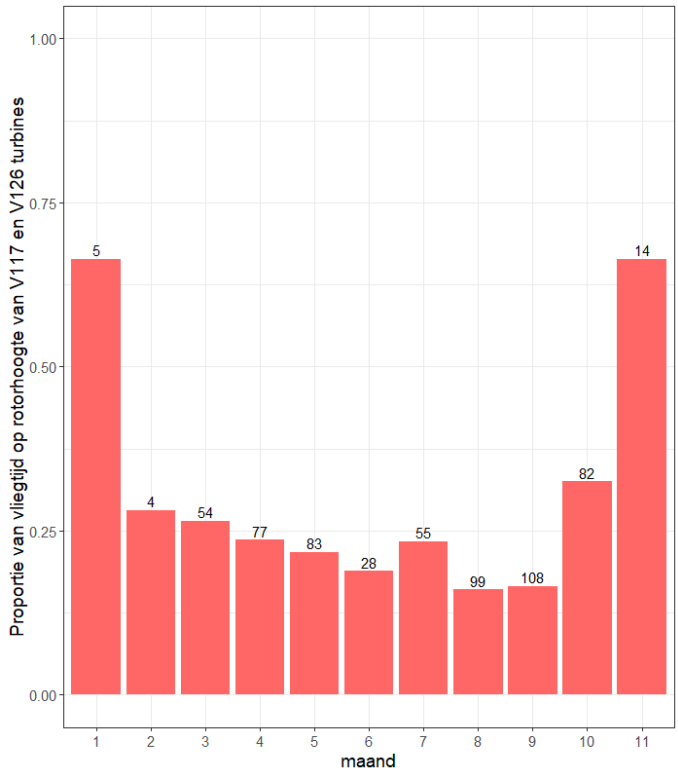
De jonge zeearenden vlogen gemiddeld het hoogst in de zomerperiode, waarin de hoogste mediane hoogte van de vliegbewegingen 545 en 672 meter was (respectievelijk om 15 en 16 uur). De verschillen over de dag waren niet significant, gelet op de spreiding in vlieghoogten. De mediane vlieghoogte van de zeearenden viel het vaakst binnen de rotorhoogte van de turbines in het Windpark Zeewolde in de lente (Figuur 3). De beperkte gegevens van de winterperiode laten een lagere vlieghoogte zien dan in de andere seizoenen, die meestal binnen turbinehoogte lag. Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de arenden in de zomer vaker boven rotorhoogte vlogen, en dat tijdens vooral de lente, maar dat ook in herfst en winter vaker op rotorhoogte werd gevlogen.

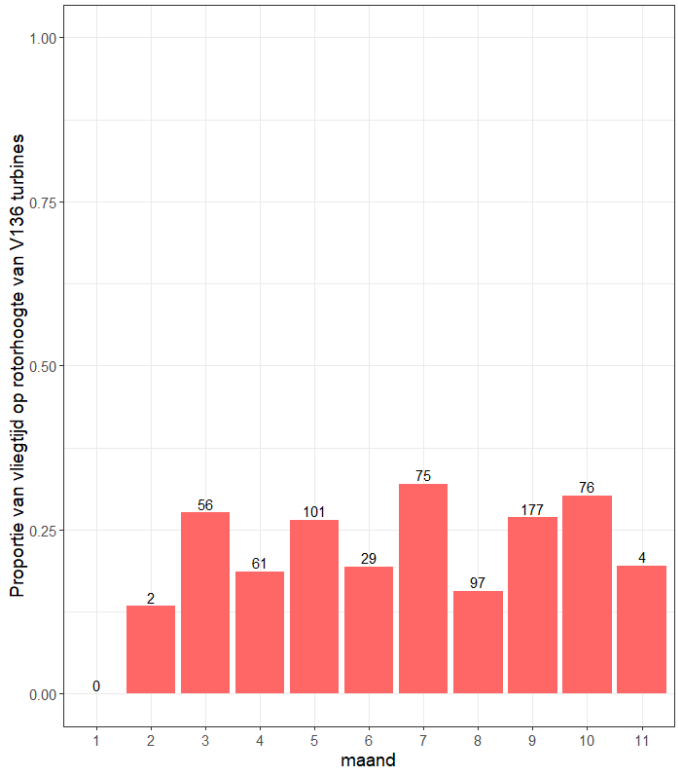


Figuur 3 *Vlieghoogte boven grondniveau per uur van de dag van gezenderde zeearenden, per seizoen. Het betreft hier alle vlieghoogten voor alle locaties binnen het Windpark Zeewolde, voor twaalf gezenderde jonge zeearenden in 2019-2022. De vlieghoogten zijn de gps-gemeten vlieghoogten voor hoog-resolutiedata, en de barometer-vlieghoogte voor laag-resolutiedata. De balken geven per seizoen de spreiding aan van 50% van de vlieghoogten rond de mediaan, de lijnen daaronder en boven (met uitschieters als zwarte punten) geven de minimum- en maximumwaarden aan. De roze balk geeft het gebied aan tussen de hoogste en laagste tiphoogte van de turbines in het Windpark Zeewolde.*

De proportie van de vliegtijd binnen de rotorhoogte van de drie turbinetypen varieerde van 0-0.31 voor de V136-turbines (Figuur 4a), 0-0.64 voor de V110- (Figuur 4b) tot 0.16-0.66 van de V117/V126-turbines (Figuur 4c). De hoge proportie van de vliegtijd op rotorhoogte van de V110- en V117/V126-turbines in de maanden januari en november is opvallend en wordt mogelijk deels bepaald door een kleine hoeveelheid data in die maanden. Tien gezenderde zeearenden vlogen gedurende de studieperiode op rotorhoogte binnen het windpark, en ook hier was de variatie tussen maanden en jaren groot (Bijlage 1, Figuur B1.1a-c). Sommige vogels vlogen een groot deel van de tijd, of bijna uitsluitend, op rotorhoogte van de turbines in bepaalde maanden (bv. 'Lauwersmeer 2020', voor windturbine types V117/V126 en V110, in juni 2022; Bijlage 1, Figuur B1.1b-c).


Proportie van vliegtijd op rotorhoogte van V110 turbines
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
0
2
45
59
74
26
50
92
99
74
14
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
maand

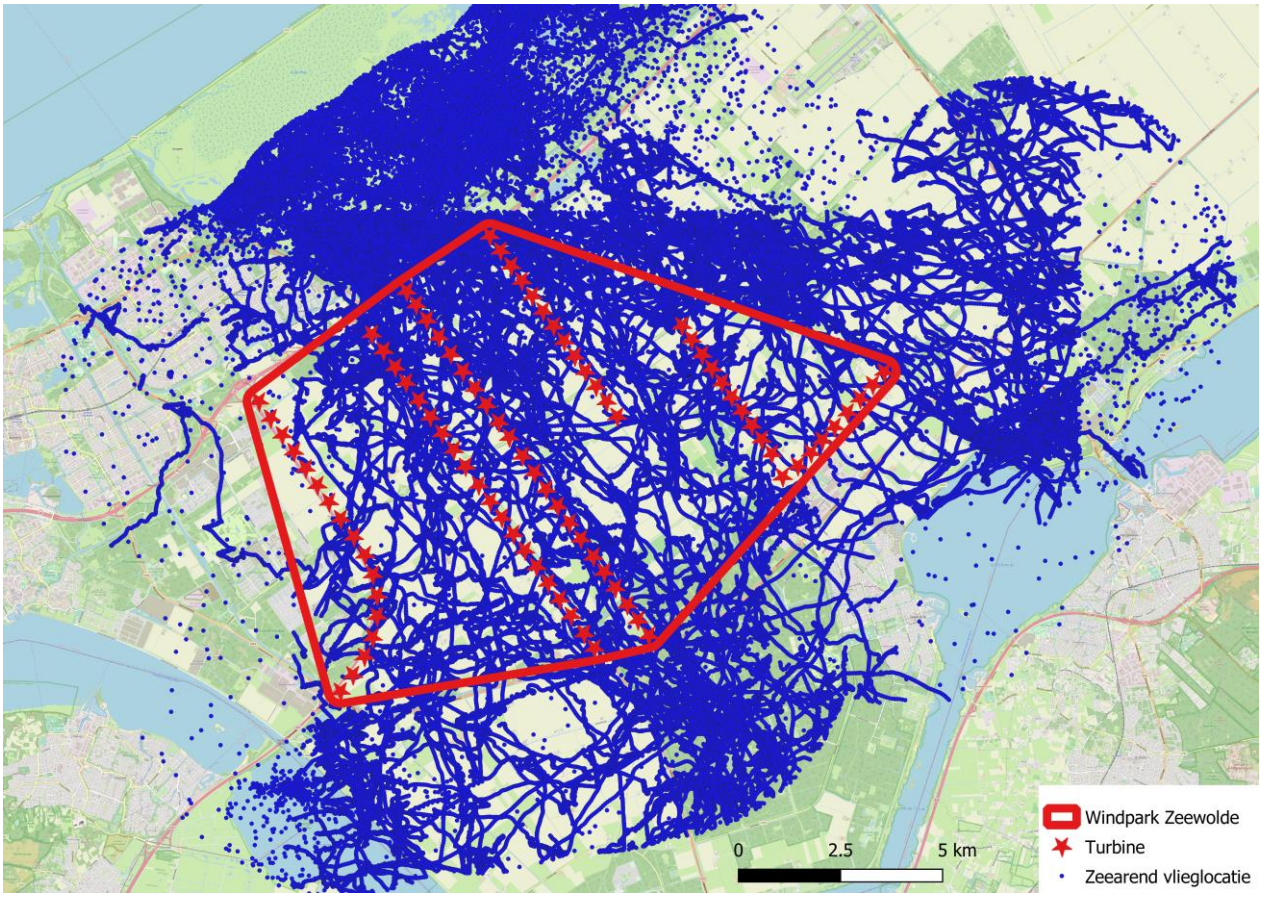

Proportie van vliegtijd op rotorhoogte van V117 en V126 turbines
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
5
4
54
77
83
28
55
99
108
82
14
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
maand



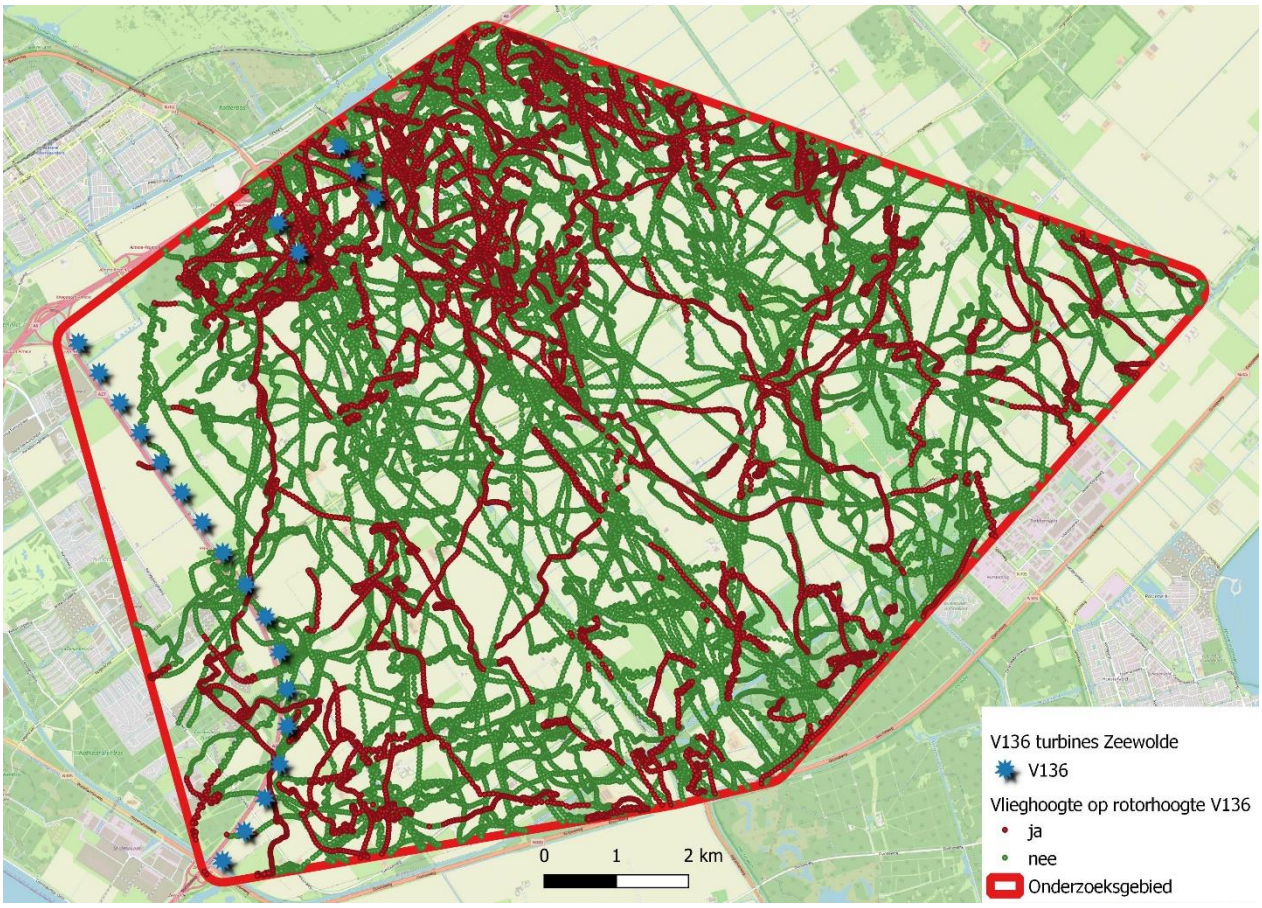
Figuur 4a-c *De proportie van de totale tijd in de vlucht op rotorhoogte van (a) V110- (tiplaagte = 46, tiphoogte 156), (b) V117/V126-turbines (tiplaagte = 33, tiphoogte 160), en (c) V136- (tiplaagte = 84, tiphoogte 220). De vliegtijd is hier voor de tien jonge zeearenden opgeteld, met per maand de proportie van die vliegtijd binnen de rotorhoogte van het betreffende turbinetype. Het aantal vlieguren is weergegeven boven de staven. Er waren geen vluchten in de maand december.*

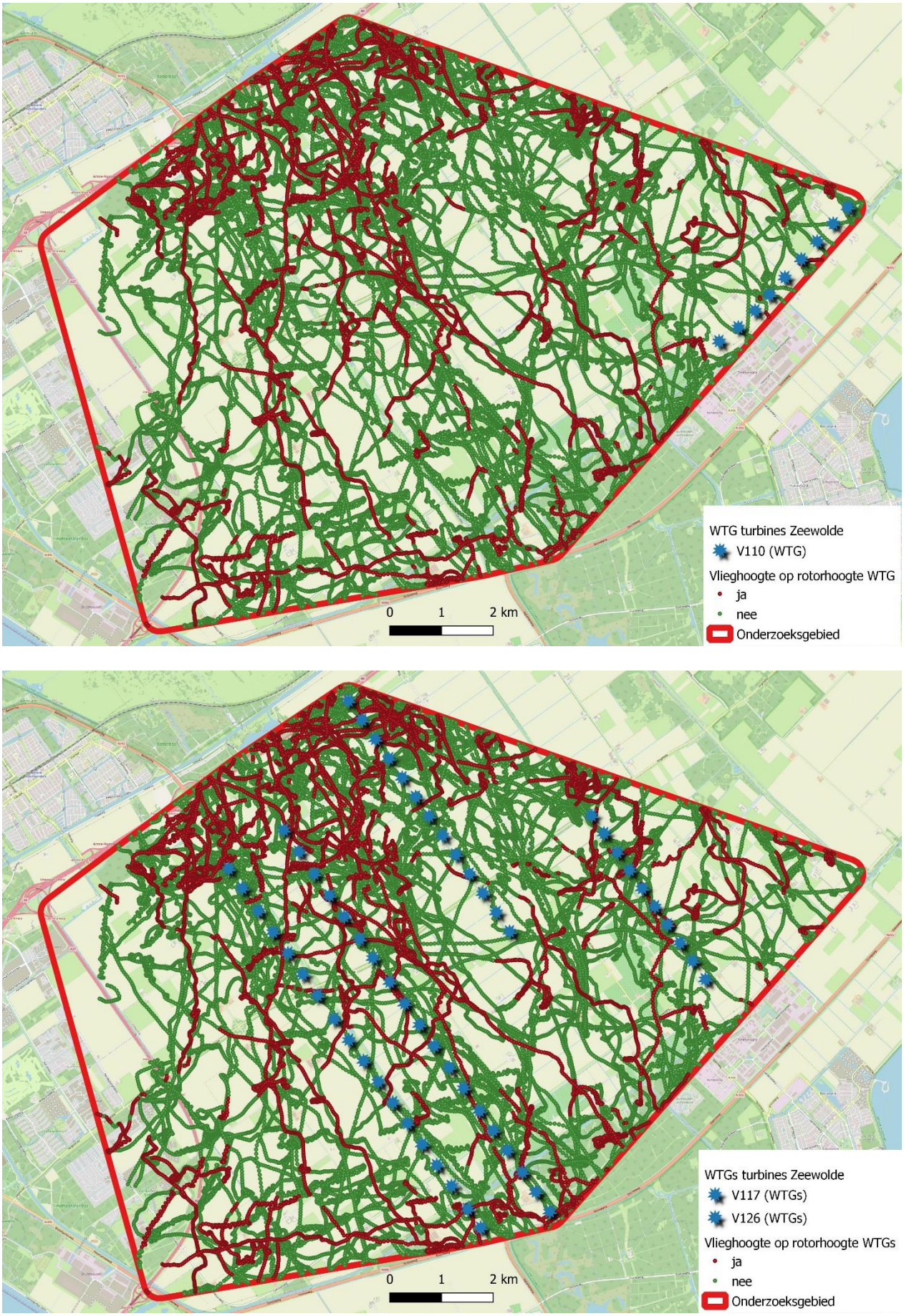
2.3 Vlieghoogte en ruimtegebruik in en rond het projectgebied

Figuur 5 toont de vliegbewegingen van zeearenden rond het Windpark Zeewolde, waarbij duidelijk naar voren komt dat aan de noordkant van het park, in de Oostvaardersplassen, de hoogste dichtheid aan vluchten plaatsvonden. Verder werden de natuurgebieden ten zuiden van het windpark (Horsterwold) en het Harderbroek druk bezocht. Gedurende de looptijd van dit zenderonderzoek doorkruisten de gezenderde arenden het gehele windpark (Figuur 6a-c). Dat leverde vooral ruimtelijke overlap op tussen de vliegbewegingen van de arenden en de lage V136- (Figuur 6a) en hogere V117/V126-turbines (Figuur 6c). Daarbij is vooral opvallend dat het noordelijk deel van het windpark, aan de kant van de Oostvaardersplassen, een gebied is met de hoogste dichtheid aan risicovolle vluchten. Langs het westelijke deel van het windpark (een rij turbines langs de A27) waren relatief weinig vliegbewegingen.



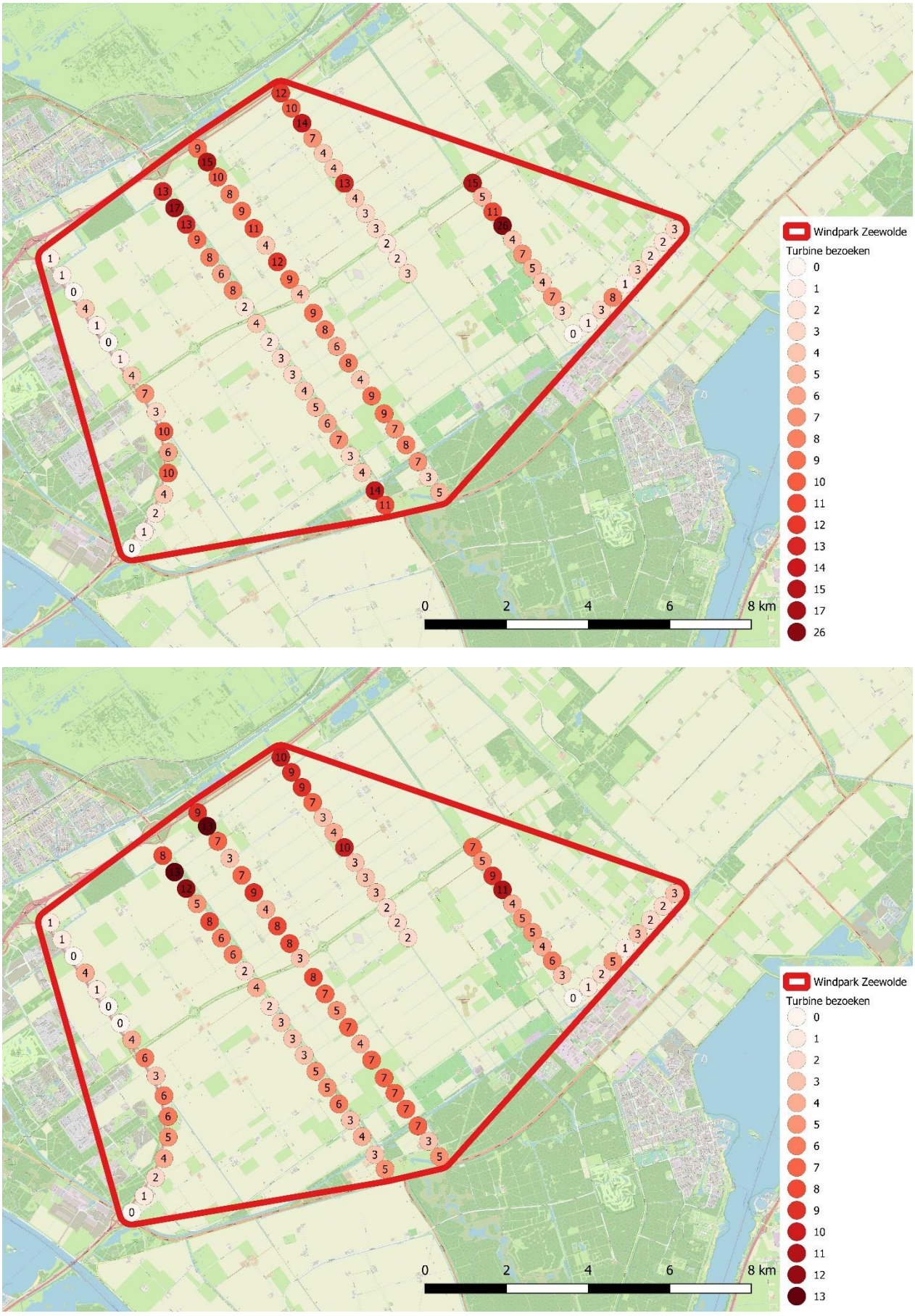
Figuur 5 *Vliegbewegingen van gezenderde zeearenden rondom en in het Windpark Zeewolde, in 2019-2022. Alle locaties in de vlucht gedurende de gehele studieperiode (2019-2022) en voor alle zeearenden zijn hierin geplot, binnen een straal van 5 km rond de turbines.*



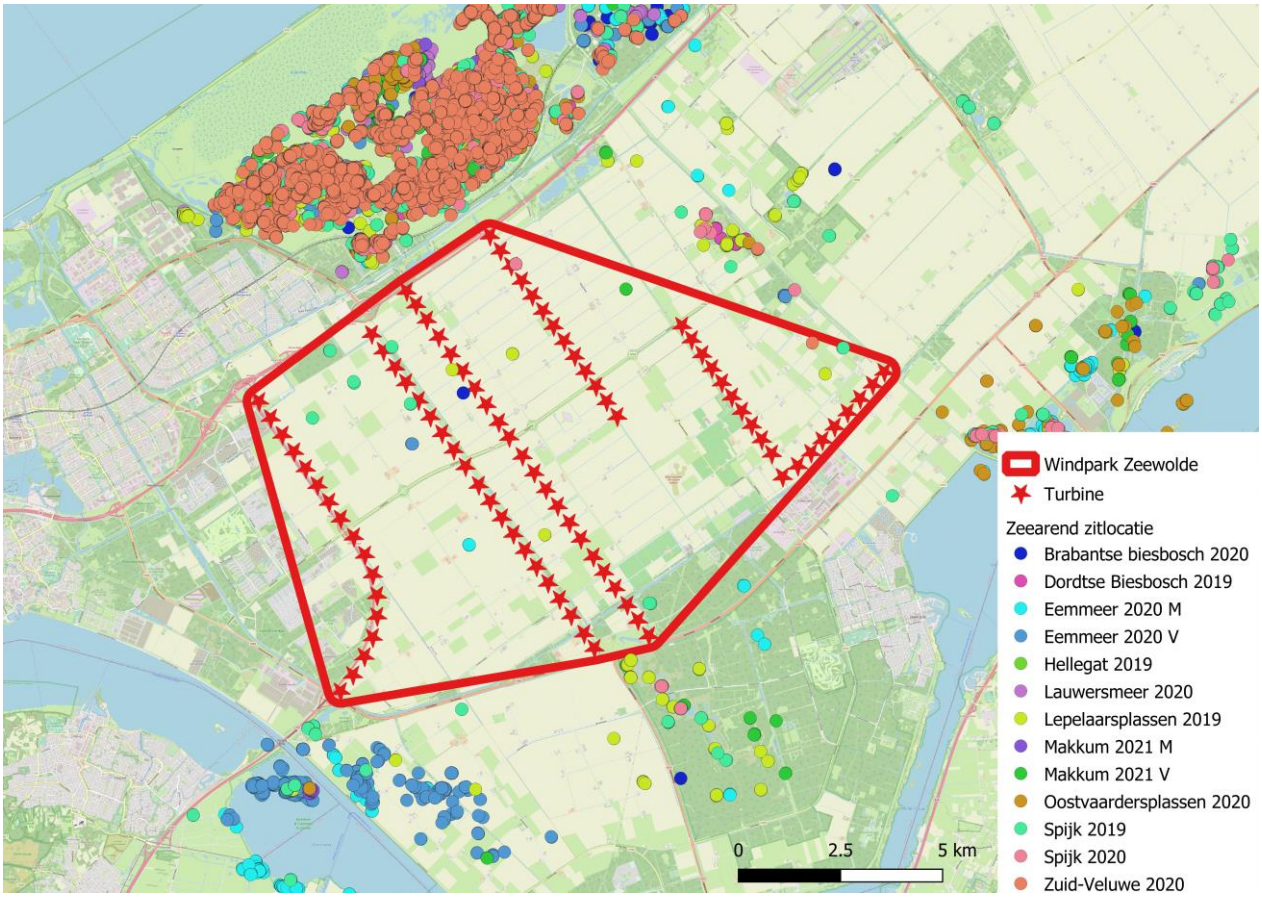


Figuur 6a-c *Vlieghoogte van gezenderde zeearenden binnen de rotorzone van drie typen turbines in het Windpark Zeewolde in 2019-2022.*

In overeenstemming met het voorgaande stonden de risicovolste turbines, met de risicovolste vliegbewegingen, aan de noordkant van het Windpark Zeewolde, maar niet uitsluitend – ook in het westelijke en oostelijke deel van het park stonden enkele turbines waar relatief vaak in de buurt werd gevlogen (Figuur 7a). Als alleen vluchten in de analyse werden betrokken die een uur of langer na elkaar plaatsvonden is het beeld grotendeels hetzelfde (Figuur 7b), met een nog duidelijke nadruk op de hoogste frequentie van risicovolle vluchten in het noordelijke deel van het windpark. De analyse van locaties waar zeearenden daadwerkelijk enige tijd in het park stilzaten, gaf eveneens een beeld van het intensiefste gebruik van de noordelijke helft van het park, hoewel de locaties wijdverspreid waren (Figuur 8). Dit suggereert dat het windpark ook wordt bezocht door zeearenden om enige tijd in te rusten of te foerageren, en dat er niet alleen door- of overheen werd gevlogen. In vergelijking met de omringende natuurgebieden, en dan vooral de Oostvaarderplassen, was dergelijk gebruik echter beperkt.



Figuur 7 *(a) Aantal vluchten binnen viermaal de rotorlengte van turbines in het Windpark Zeewolde in 2019-2022, en (b) dezelfde kaart maar met alleen vluchten met tenminste een uur tijdinterval.*



Figuur 8 *Zitlocaties van zeearenden in en rond het Windpark Zeewolde in 2019-2022. Een zitlocatie is een cluster van gps-punten met een verblijf van ten minste 15 minuten en een verplaatsing van maximaal 20 m en een snelheid van maximaal 1 m/s tussen punten. De meest noordelijke locatie in het windpark is de plek waar de dode zeearend lag na aanvaring met een windturbine.*

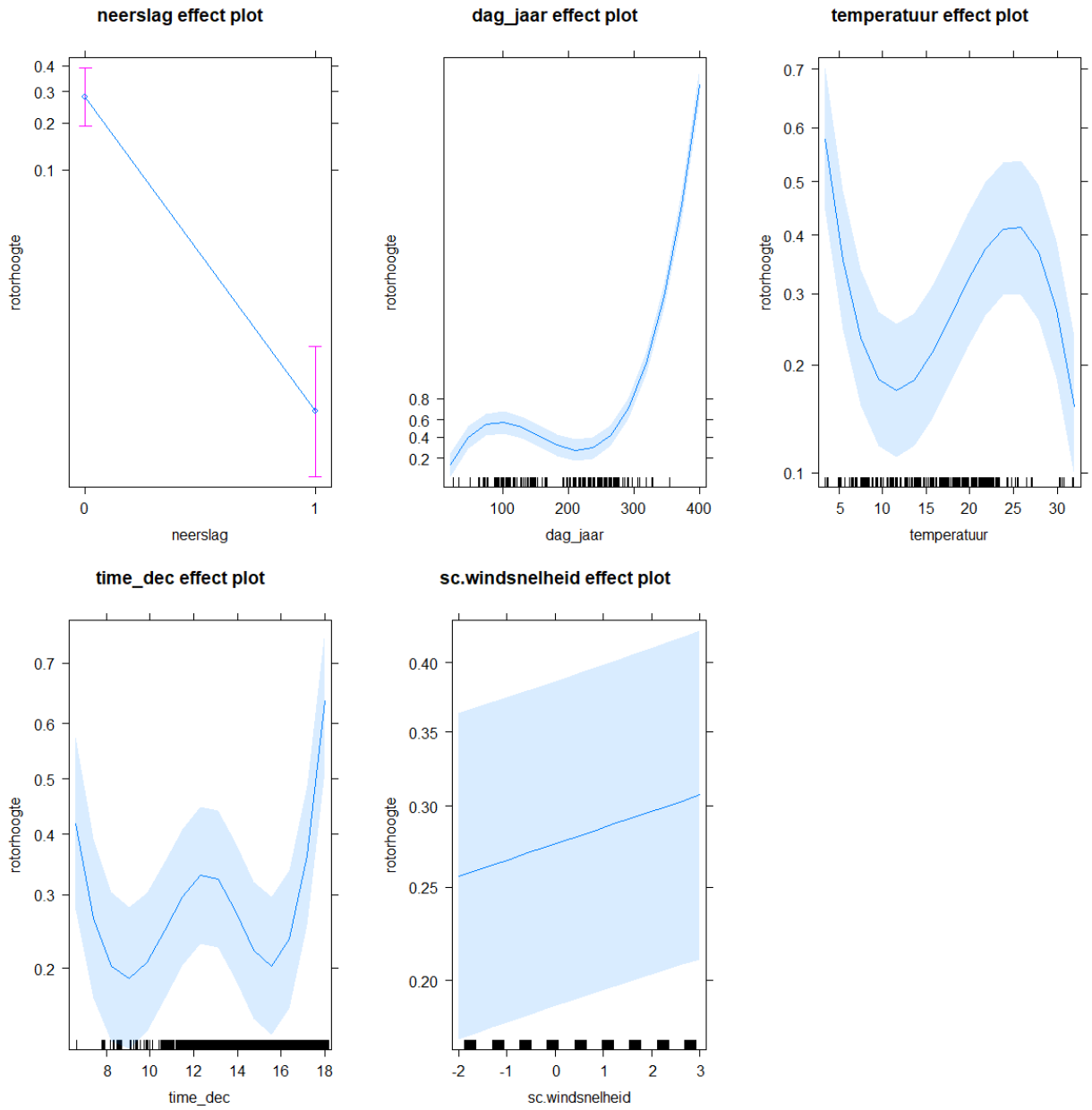
2.4 Relatie tussen weersomstandigheden en vlieghoogte binnen Windpark Zeewolde

Het binominale Generalized Linear Mixed Model, dat de relatie onderzocht tussen variabelen en vluchten op rotorhoogte, leverde maar een enkel topmodel (de delta AICc van het tweede beste model was 11.6). Dit model incorporeerde de variabelen neerslag, dag van het jaar, temperatuur, tijd van de dag en windsnelheid (Tabel 2).

Tabel 2 *Binominaal Generalized Linear Mixed Model, dat de relatie weergeeft tussen vluchten op rotorhoogte van zeearenden en variabelen die de kans daarop beïnvloeden. De afhankelijke variabele voor deze modellen is vlieghoogte binnen of buiten rotorhoogte; verklarende variabelen zijn neerslag, dag van het jaar, temperatuur, tijd van de dag en windsnelheid. Dit is het beste model van alle mogelijke combinaties van verklarende variabelen. Weergegeven zijn de richting en grootte van de relatie (parameterschatting), de standaardfout (SE), de Z-waarde en de significantie van het effect (*<0.05, ***<0.001).*

Variabele	**Parameter-schatting** $(\beta)^{\alpha}$	$\widehat{SE}_{\beta}$	**Z-waarde**	**Effect**
Constante	-0.36	0.25	-1.42	
Neerslag	-6.19	0.81	-7.68	***
Poly(Dag van het jaar, 3)[1]	-19.49	4.71	-4.14	***
Poly(Dag van het jaar, 3)[2]	74.57	5.56	13.41	***
Poly(Dag van het jaar, 3)[3]	69.64	4.29	16.22	***
Poly(Temperatuur, 3)[1]	45.70	4.98	9.18	***
Poly(Temperatuur, 3)[2]	-14.57	8.89	-1.64	
Poly(Temperatuur, 3)[2]	-66.26	2.86	-23.16	***
Poly(Tijd van de dag, 4)[1]	-12.23	2.53	-4.84	***
Poly(Tijd van de dag, 4)[2]	5.29	2.39	2.22	*
Poly(Tijd van de dag, 4)[3]	62.43	2.67	23.33	***
Poly(Tijd van de dag, 4)[4]	49.68	4.37	11.38	***
Windsnelheid	0.05	0.01	3.75	***

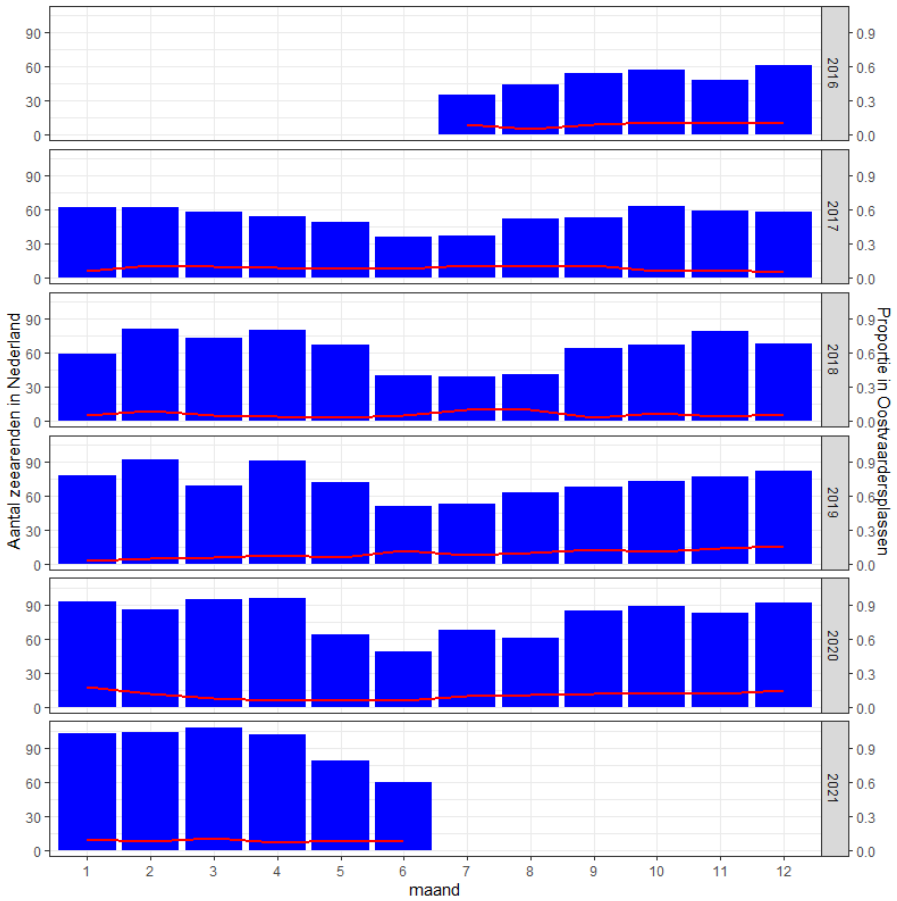
Het beste model voorspelt dat de kans dat zeearenden op rotorhoogte vlogen binnen Windpark Zeewolde hoger was als er geen sprake was van neerslag dan als er neerslag viel (Figuur 9a). Verder was er een belangrijke relatie met dag van het jaar, met een grotere kans dat arenden op rotorhoogte vlogen in de lente en herfst/begin winter dan in de eerste maanden van het jaar en de zomer (Figuur 9b). Dit komt overeen met de resultaten in Figuren 3a, die lieten zien dat er in de zomer vaker boven rotorhoogte werd gevlogen dan erbinnen, en dat er in de overige seizoenen vaker op rotorhoogte werd gevlogen. Hierbij moet wederom gelet worden op het feit dat tijdens de winter het aantal datapunten beperkt was, wat van invloed is geweest op de modeluitkomst. Ook de relatie met temperatuur was een belangrijke, met een grotere kans op vluchten op rotorhoogte bij hoge (25-27°C) en lage (<5°C) luchttemperaturen (Figuur 9c). De kans nam ook toe net na de middag, en in ochtend en avond (Figuur 9d). Tot slot had windsnelheid een significant positief effect op de kans op vluchten op rotorhoogte; met toenemende windsnelheid neemt de kans toe dat zeearenden op rotorhoogte vliegen (Figuur 9e).



Figuur 9a-e *De kans op vluchten op rotorhoogte in vergelijking met daarbuiten, van zeearenden in Windpark Zeewolde in relatie tot (a) neerslag (0=geen neerslag, 1=neerslag), (b) dag van het jaar, (c) temperatuur, (d) tijd van de dag en (e) windsnelheid.*

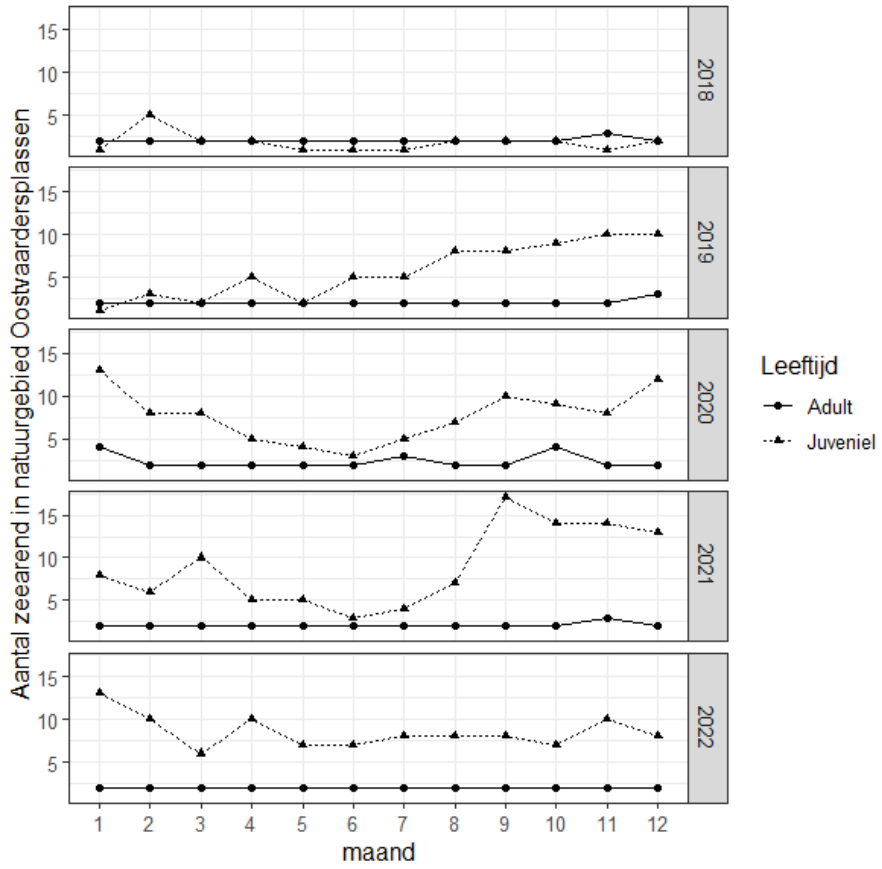
2.5 Trends in zeearend-aantallen in Nederland en de Oostvaardersplassen

Figuur 10 geeft aan dat de aantallen zeearenden in Nederland toenamen in de zomer: van 35 in juli 2016 tot 67 in juli 2020. In de wintermaanden was er ook een stijging: van 62 in december 2016 tot 90 in december 2021. De aantallen zeearenden in Nederland piekten in het vroege voorjaar (februari-april) ieder jaar, met de hoogste aantallen vastgesteld in maart 2021 (96 zeearenden). Het aandeel van de Nederlandse zeearenden dat in de Oostvaardersplassen verblijft, fluctueerde tussen 2016 en 2021 van 5-17%, zonder duidelijk seizoenspatroon of verandering over de jaren (Figuur 10).

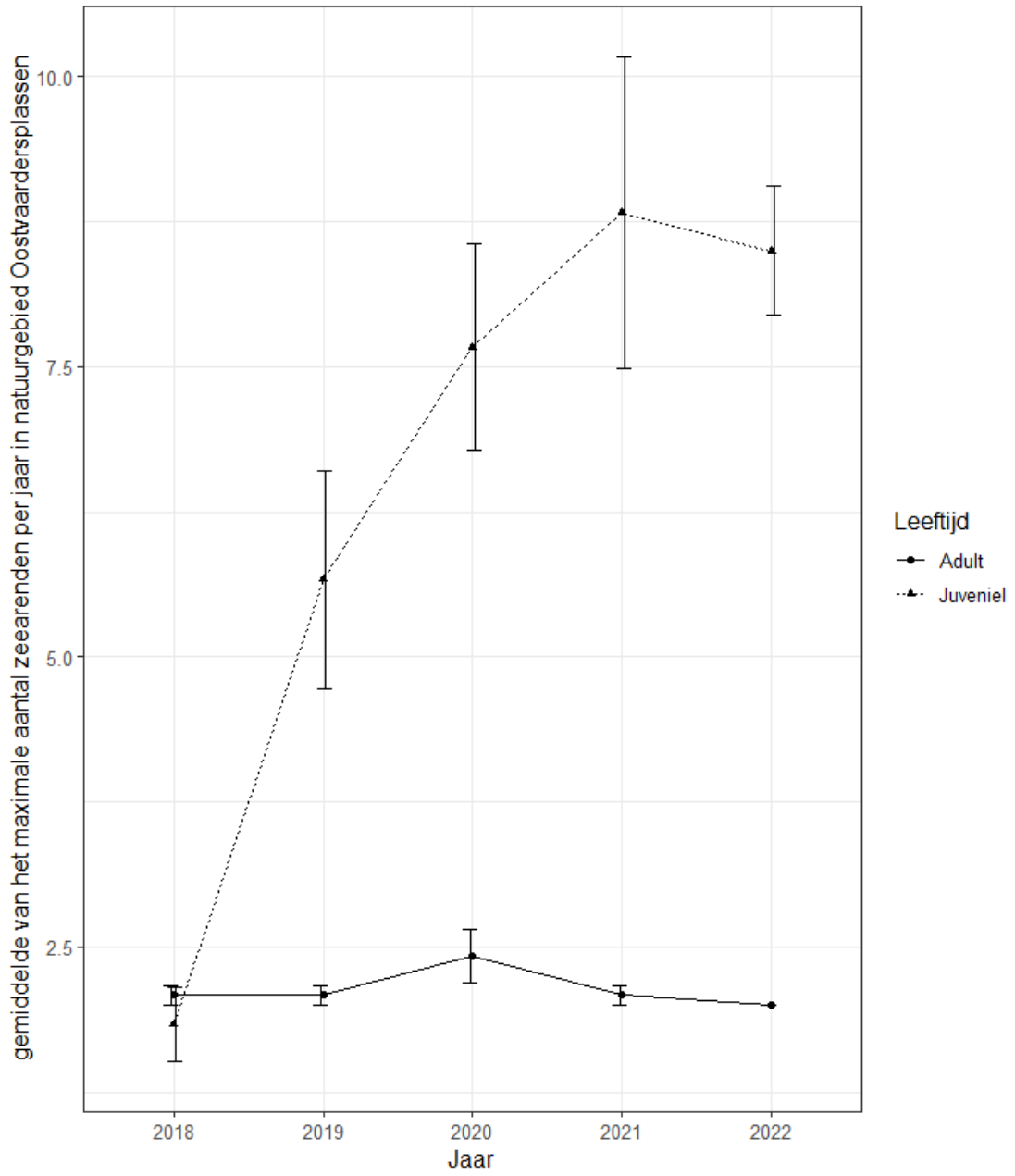


Figuur 10 *Aantallen waargenomen zeearenden in Nederland (blauwe balken) en de proportie daarvan die in de Oostvaardersplassen verblijven (rode lijn), in 2016-2021.*

Het overgrote deel van de zeearenden in de Oostvaardersplassen sinds 2019 is onvolwassen (Figuur 11). De maximale aantallen zijn sinds 2018 sterk toegenomen, waarbij een piek in aantallen werd bereikt in september 2021, met 20 getelde zeearenden. De stijging van het aantal zeearenden in de Oostvaardersplassen blijkt ook uit het gemiddelde van het maximumaantal getelde arenden in 2018-2022. Van 2019 t/m 2021 was sprake van een sterke stijging van het aantal jonge arenden, die in 2022 leek te stabiliseren (Figuur 12).



Figuur 11 *Aantal getelde zeearenden in de Oostvaardersplassen tussen 2018 en 2022. De gemiddelden van de maximale telling zijn weergegeven voor iedere maand.*

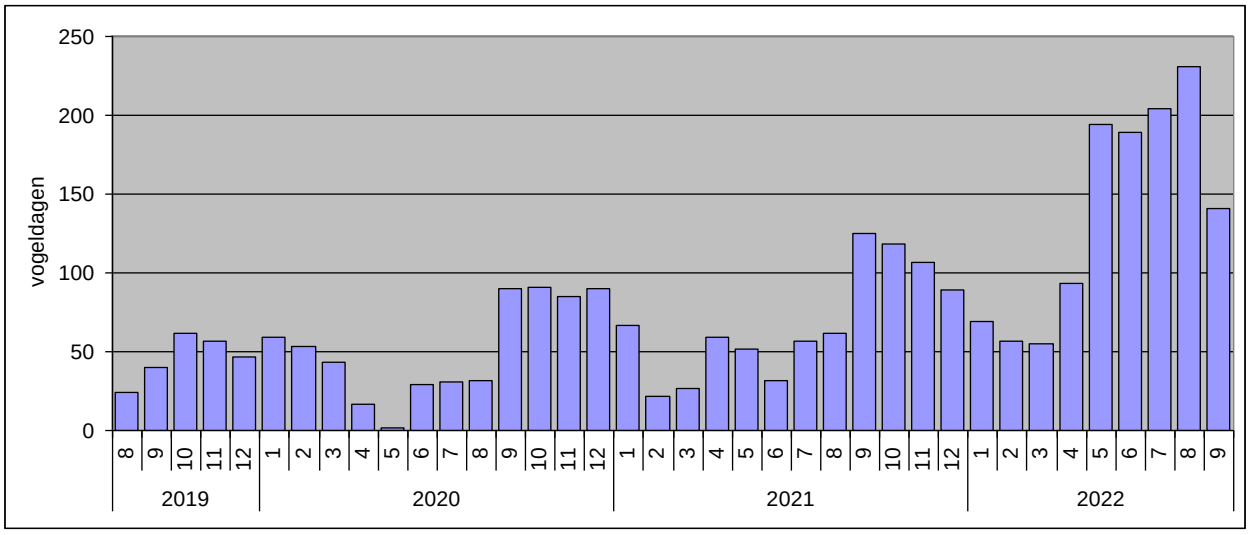


Figuur 12 *Ontwikkeling van het gemiddelde (met standaardfout) van het maximumaantal getelde zeearenden in de Oostvaardersplassen tussen 2018 en 2022.*

2.6 Schatting van totaalaantal vliegbewegingen in Windpark Zeewolde

In de periode augustus 2019 tot en met april 2022 was gemiddeld 25% (range 0-67%) van de zeearenden in de Oostvaardersplassen een gezenderde vogel. Vanaf mei 2022 nam het aantal vogeldagen (gesommeerd aantal dagen van alle vogels samen) van zenderarenden per maand plotseling sterk toe (Figuur 13). Dat was het gevolg van een toename van het aantal arenden met zenders, ook dieren van buiten de regio Flevoland en Randmeren, tot totaal 9 vogels van 28 juli tot en met 14 augustus (82% van alle gezenderde arenden die in deze periode actief waren). De tellingen laten juist een afname zien van gemiddeld 9,8 vogels in januari - april 2022 tot 7,6 vogels in mei - september 2022, en dus minder dan het aantal met zenders tussen 28 juli en 14 augustus. Dat zou betekenen dat in die periode 100% van de in de Oostvaardersplassen verblijvende vogels gezenderd was. Omdat dit onwaarschijnlijk is, zijn de aantallen uit de tellingen sinds mei 2022 waarschijnlijk onderschat. Omdat maximaal 82% van de zenderarenden in de Oostvaardersplassen was, zou

dat kunnen betekenen dat ongeveer 82% van alle Nederlandse jongen uit 2019-2021 en de jongen uit de regio Flevoland en Randmeren uit 2022 in de Oostvaardersplassen zou zijn. Inclusief sterfte van de jongen uit 2019-2022 (20% van de zendervogels), komt dat neer op maximaal 35 vogels in juli - augustus 2022. Dat komt weer overeen met een percentage vogels met zenders van 26%. Het werkelijke aantal vliegbewegingen door windpark Zeewolde is dus ruwweg viermaal groter dan het aantal dat via gezenderde vogels is vastgesteld. Omdat de drooglegging in de Oostvaardersplassen vanaf de zomer van 2022 tot een regeneratie van moerasruigte heeft geleid, zal het aantal herbivore watervogels naar verwachting verder toenemen, met mogelijk vaker grote aantallen zeearenden (30-40 vogels) tot gevolg. Met zo'n toename zal het aantal vliegbewegingen door Windpark Zeewolde verder toe kunnen nemen, mogelijk wel met een factor 2-3.



Figuur 13 *Aantal vogeldagen per maand van zeearenden met zenders die in de Oostvaardersplassen verbleven tussen augustus 2019 en september 2022.*

3 Discussie en conclusies

Aanvaringsrisico's van roofvogels door windturbines variëren gedurende het jaar, omdat vliegactiviteiten veranderen met allerlei factoren die daarop van invloed zijn, zoals weersomstandigheden en sociale interacties (De Lucas et al., 2008; Schuster et al., 2015). Onze analyse van gps-data van Nederlandse zeearenden die door Windpark Zeewolde vlogen, toont duidelijke piekperioden van vliegactiviteit in het windpark aan. Het voorjaar en de (na)zomer zijn de perioden met de meeste vliegactiviteit van zeearenden in Windpark Zeewolde. In die periodes vonden de meeste vliegbewegingen plaats, werd de grootste afstand afgelegd en de meeste tijd besteed door de gezenderde zeearenden in het park. Wat hierbij opviel, was de grote variatie in totale vliegactiviteit tussen maanden en jaren, maar ook tussen de individuele zeearenden. Daarbij werden in sommige (na)zomermaanden behoorlijke afstanden afgelegd; opgeteld ging het bijvoorbeeld om meer dan 6 uur vliegtijd in september 2020 en augustus 2022, waarin 277-281 km werd gevlogen door respectievelijk vijf en zeven gezenderde onvolwassen zeearenden binnen het windpark.

Niet alleen de afgelegde afstand of de tijd besteed aan vluchten binnen het windpark zijn echter bepalend voor de aanvaringsrisico's, maar vooral ook de hoogte waarop die vluchten plaatsvinden. De vlieghoogte in Windpark Zeewolde varieerde sterk gedurende het jaar, net als de vliegtijd en -afstand, waarbij de vluchten van de arenden gemiddeld het hoogst waren in de zomer en dan vooral in de zomernamiddagen. Wat echter van belang is bij de bepaling van de aanvaringsrisico's is niet de vlieghoogte per se, maar de vliegtijd op rotorhoogte. Dat de winter en lente wat dat betreft risicovolle perioden zijn, was al duidelijk door de eerdere aanvaringen van jonge zeearenden met windturbines in het gebied, op 31 januari 2022 en 31 maart 2018 (Buij en Jansman, 2019; Van Rijn et al., 2022). De zenderdata laten zien dat de risicovolle vluchten in de lente in Windpark Zeewolde gedurende de hele dag plaatsvonden, maar vooral in de vroege en late ochtend en in de namiddag. Ook hier gold echter dat er sprake was van een sterke variatie tussen jaren, waarschijnlijk vooral als gevolg van verschillen in weersomstandigheden die van invloed zijn op de vlieghoogte.

Wat betreft de proportie van de vliegtijd op de rotorhoogte van de verschillende turbinetypen in het windpark was er geen duidelijk verschil tussen turbinetypen. De arenden vlogen wel tot 64-66% van de vliegtijd binnen de rotorhoogte van respectievelijk de V110- en V117/V126-turbines in de wintermaanden; dergelijke uitschieters kwamen voor het lagere V136-windturbinetype niet voor.

Tijd en omgevingsfactoren
De modelanalyses van de relatie tussen vluchten op rotorhoogte en seizoen-, tijd- en weervariabelen suggereren dat tijd van de dag, temperatuur en seizoen belangrijke variabelen zijn die risicovolle vluchten (d.w.z. die vluchten binnen rotorhoogte) bepalen. De grootste kans op vluchten op rotorhoogte bestaat wanneer het niet regent, bij temperaturen tussen de 25-27°C en <5°C, en net na de middag en in de vroege ochtend en late avond. Op basis van vliegactiviteiten kan ook geconcludeerd worden dat de lente en zomer de perioden zijn met de meeste vluchten, en dat vooral in de lente, herfst en (begin) winter het meest op rotorhoogte wordt gevlogen door jonge zeearenden binnen Windpark Zeewolde. In de zomer zijn vluchten vaker boven rotorhoogte, hoewel dat niet wil zeggen dat er geen risicovolle vluchten plaatsvinden. Die zijn er wel degelijk, alleen gemiddeld minder vaak dan in de overige seizoenen. De winterperiode heeft sowieso minder vliegactiviteit, hoewel er relatief vaak op de rotorhoogte van V110- en V117/V126-turbines werd gevlogen in januari en november. Voor deze modelresultaten moet overigens wel worden benadrukt dat deze beïnvloed zijn door uitschieters en beperkte data, vooral in de winterperiode. Met meer data wordt in de toekomst een sterkere analyse mogelijk, die eenduidigere uitkomsten biedt.

Vliegbewegingen binnen het windpark, nu en in de toekomst
Dat het Windpark Zeewolde regelmatig wordt doorkruist door jonge zeearenden werd in Buij et al. (2022) al geconcludeerd. De gezenderde jonge zeearenden vlogen heel regelmatig door het Windpark Zeewolde gedurende de looptijd van deze studie en pleisterden er soms ook, hoewel minder lang en vaak dan in de omringende natuurgebieden. Daarbij is vooral opvallend dat het noordelijke deel van het windpark, aan de kant van de Oostvaardersplassen, een gebied is met de hoogste dichtheid aan risicovolle vluchten, vooral op de rotorhoogte van de V136- en V117/V126-turbines. Als rekening wordt gehouden met het feit dat tijdens de studieperiode ca. 25% van de arenden rond het Windpark Zeewolde gezenderd was en als uit kan worden

gegaan van een representatieve steekproef met deze gezenderde arenden, dan moeten de hier gepresenteerde vliegbewegingen met gemiddeld een factor vier worden vermenigvuldigd voor een indicatie van de daadwerkelijke hoeveelheid vliegbewegingen.

Met de ontwikkeling van de zeearendpopulatie in Nederland en Flevoland, en dan vooral de toename van jonge arenden, lijkt het zeer aannemelijk dat er de komende jaren nog sprake zal zijn van een verdere toename van de vliegactiviteit in het park, inclusief de risicovolle vluchten. De mate waarin de vliegbewegingen van zeearenden in het Windpark Zeewolde zullen toenemen, zijn in aantallen moeilijk te voorspellen. Omdat er sprake is van een duidelijke en sterke toename van het aantal jonge vogels in de Oostvaardersplassen en Nederland, wat ook een toename zal hebben betekend voor de aantallen vliegbewegingen in de provincie, ligt het in de lijn der verwachting dat ook dit zal leiden tot een verdere toename van vliegbewegingen in Windpark Zeewolde in de komende jaren. Die vliegbewegingen zijn echter niet alleen afhankelijk van de aantallen zeearenden in de provincie, maar ook van de ontwikkeling van geschikte foerageergebieden rondom het windpark. In de periode 2019-2022 nam het aantal vogeldagen van zeearenden met zenders in de Oostvaardersplassen sterk toe (Van Rijn et al., ongepubl. data). Deze toename is deels het gevolg van het grotere aantal dieren dat tussen 2019 en 2021 met zenders werd uitgerust. De toename is echter ook een gevolg van de drooglegging van het moerasdeel van het gebied als grootschalige beheersmaatregel in het kader van de Europese bescherming als Vogelrichtlijngebied (N2000). Hierbij kwamen tijdelijk grote hoeveelheden karpers beschikbaar en recente vestiging van moerasplanten sinds de nazomer van 2022 trekt de komende jaren grote aantallen herbivore watervogels (waaronder wintertalingen) aan die van de productie van zaden profiteren (mond. mededeling M.R. van Eerden). Drooglegging van herstel van rietmoeras in de Oostvaardersplassen werd in de jaren tachtig van de vorige eeuw bij wijze van experiment ook uitgevoerd, met sterk positieve effecten op het aantal herbivore watervogels als gevolg, die op hun beurt toen ook al zeearenden aantrokken (Van Rijn et al., 2010).

Een ander effect op het verblijf van jonge, onvolwassen zeearenden in de Oostvaardersplassen is mogelijk het gedrag van het adulte broedpaar in het gebied. De aantallen onvolwassen dieren waren in de periode van het voorjaar tot de zomer in 2020 en 2021 veel kleiner in vergelijking met 2022, het jaar dat de broedpoging van het adulte broedpaar mislukte. In jaren waarin succesvol gebroed wordt, zoals in 2020 en 2021, jaagt het adulte broedpaar de onvolwassen dieren in de broedperiode mogelijk het gebied uit en in jaren dat broedpogingen mislukken, tolereert het paar mogelijk de aanwezigheid van jonge arenden.

Het is belangrijk te benadrukken dat de onderzochte vliegbewegingen en vlieghoogten alleen een beeld geven van het aanvaringsrisico bij jonge zeearenden van 0-3 jaar. De jonge vogels kunnen zich uiteraard op een gegeven moment als broedvogel gaan vestigen en tot broeden komen (meestal vanaf 4-5 jaar). Zodra zeearenden zich ergens hebben gevestigd, zullen ze veel minder mobiel worden, en – afhankelijk van waar ze zich vestigen – minder door het windpark vliegen, omdat ze de Oostvaardersplassen niet meer zullen bezoeken. Van nieuwe broedparen in en rond het windpark is wel te verwachten dat er van zowel de adulten als de jongen meer vliegbewegingen door het windpark zullen plaatsvinden waarbij de jongen vaak van en naar de Oostvaardersplassen of andere (nieuwe) natuurgebieden zullen vliegen.

Zendervogels die in de regio Flevoland en Randmeren waren geboren (n=6), kwamen in vrijwel alle gevallen al in de eerste zomer (1^{e} kalenderjaar) naar de Oostvaardersplassen (gemiddeld na 90 dagen gerekend vanaf 15 juli van het geboortejaar). Vogels die in andere regio's waren geboren (n=8), waaronder het Lauwersmeer, Friesland, IJsseldal-Veluwe en de zoete Delta, kwamen pas vanaf het eerste of tweede voorjaar (2^{e} en 3^{e} kalenderjaar) naar de Oostvaardersplassen (gemiddeld na 402 dagen, gerekend vanaf 15 juli van het geboortejaar). Dat betekent dat de meeste eerste wintervogels die in de Oostvaardersplassen verblijven uit de regio Flevoland en Randmeren komen. Jongen van buiten de regio (waarschijnlijk tevens buitenlandse vogels) bezoeken de Oostvaardersplassen dus pas vanaf het tweede jaar. Zenderjongen uit 2019 in 2022 (4^{e} kalenderjaar, n=2 en beide geboren in de regio Flevoland en Randmeren), bezochten alleen tussen eind juni en half september de Oostvaardersplassen. Deze vogels bezochten daarna locaties buiten de regio, waar ze territoriaal gedrag vertoonden. De jonge, onvolwassen zeearenden met zenders die in het Oostvaardersplassen verbleven, waren dus in hun 1^{e} - 4^{e} kalenderjaar (0-3 jaar oud). Na het 4^{e} kalenderjaar-vogels vanaf september en > 4^{e} kalenderjaar-vogels verblijven dus kennelijk niet als niet-broedvogels in het gebied.

Naast de toegenomen bewegingen van jonge arenden tot 3 jaar, zullen er meer zeearend-paren zich gaan vestigen in de provincie, mogelijk ook in de buurt van het Windpark Zeewolde. In 2022 nam in Nederland het aantal bezette nesten met 36% toe in vergelijking met 2021 (Van Rijn et al., in serie). In dat tempo kan de

populatie in 2025 al boven de 100 broedparen uitkomen. Echter, zo snel zal het niet gaan, omdat een groot deel van het land ongeschikt is door afwezigheid van natte gebieden en rust. Tot welk niveau de populatie kan doorgroeien, is moeilijk te voorspellen, maar de verwachting is dat een aantal van 100 broedparen gemakkelijk gehaald kan worden. In de regio Flevoland en Randmeren nam het aantal bezette nesten toe van zes in 2021 naar elf in 2022 (Van Rijn et al., in serie). Bij een buurafstand van ongeveer 5 km zoals vastgesteld in Duitsland en Kroatië (Krone & Treu 2018; Struwe-Juhl, 2000; Hauff & Mizera, 2006; Heuck et al., 2017; Radović & Mikusca, 2009) zou er in de provincie Flevoland en Randmeren ruimte zijn voor ruwweg 75 broedparen. Omdat maar een deel van de provincie geschikt broedhabitat (bos) bevat, zal het werkelijke aantal een stuk lager zijn, naar schatting ca. 25 broedparen in de komende 5-10 jaar.
Met de ontwikkelingen van natuurherstel en natuurontwikkeling binnen Nationaal Park Nieuwland zal dit aantal ook qua voedselbeschikbaarheid goed haalbaar zijn. Dat betekent dat er naast pendelbewegingen van zeearenden tussen de Oostvaardersplassen en de Veluwerandmeren nog meer vliegbewegingen door windparken, waaronder windpark Zeewolde, zullen zijn. Nieuwe broedgevallen in de regio zullen het aantal vliegbewegingen van zeearenden in windparken verder doen toenemen: door de jongen die jaarlijks worden geboren, maar ook door de broedvogels zelf, die delen van de windparken in hun territorium zullen opnemen.

Belang gps-zenderdata voor inschatting daadwerkelijk risico en voortzetting zenderonderzoek
De hier gepresenteerde gps-trackinggegevens geven een heel ander beeld van de vliegbewegingen van zeearenden door Windpark Zeewolde dan in de Milieueffectrapportage (MER) voor Windpark Zeewolde werd verondersteld (Van der Wind et al., 2016). In die rapportage werd op basis van waarnemingen op websites zoals www.sovon.nl en www.waarneming.nl geconcludeerd dat zeearenden zelden gebruikmaakten van het agrarische gebied tussen de Oostvaardersplassen en de Veluwerandmeren. Daarmee werden de vliegbewegingen van zeearenden in het Windpark Zeewolde als incidenteel afgedaan en effecten op de soort "op voorhand met zekerheid uitgesloten" (Van der Wind et al., 2016). De hier gepresenteerde analyses laten een hoge dichtheid aan vliegbewegingen zien van gezenderde zeearenden door Windpark Zeewolde, die in werkelijkheid slechts een kwart betreffen van de daadwerkelijke vliegbewegingen van zeearenden door het gebied. Daarmee lijkt de kans op sterfte van zeearenden door botsingen met windturbines in Windpark Zeewolde substantieel. Dat vraagt om effectieve maatregelen op korte termijn om die sterfte te minimaliseren, zoals het verven van rotorbladen (May et al., 2020) en cameradetectie (McClure et al., 2022).

De aantallen zeearenden in de Oostvaardersplassen zijn de laatste jaren sterk toegenomen, wat zeker heeft bijgedragen aan een toename van het aantal vliegbewegingen in het Windpark Zeewolde; hoewel moeilijk voor te stellen is dat er ook ten tijde van het opstellen van de MER sprake was van incidentele vliegbewegingen. Over het algemeen geven gps-zenderdata een veel beter beeld van daadwerkelijke vliegbewegingen dan veldwaarnemingen en zijn de gps-data noodzakelijk om inzicht te verkrijgen in ruimtelijke en temporele risico's op aanvaringen. Voortzetting van het zenderonderzoek is in dat verband van belang. Omdat de populatie-ontwikkeling in Flevoland een groeiend aantal (vooral) jonge vogels laat zien en vooral jonge arenden op dit moment kwetsbaar lijken voor aanvaringen in Windpark Zeewolde, zou de zenderstudie zich wederom moeten richten op het verkrijgen van inzicht in vliegbewegingen van jonge arenden in de leeftijd van 1-4 jaar. Voor uitspraken over aanvaringsrisico's van de ook toenemende aantallen volwassen (broed)vogels (> 4 jaar) in de provincie ontbreken op dit moment de gegevens over het vlieggedrag. Die zijn nodig om het aanvaringsrisico van de volwassen vogels te bepalen, die sterk kunnen verschillen van die van jonge, niet-territoriale vogels (May et al., 2011). Daarnaast wijzen de resultaten van voorliggend onderzoek op fluctuatie van risico's op aanvaringen met windturbines over de seizoenen en de dag. Deze resultaten zijn op dit moment nog niet robuust genoeg om eenduidige conclusies over te kunnen trekken, wat wel mogelijk wordt met een analyse van een grotere gps-trackingdataset. Ook de effectiviteit van de maatregelen die door Windpark Zeewolde zullen worden genomen om de kansen op aanvaringen met zeearenden te verkleinen, i.e. cameradetectie, kan worden getoetst met zendergegevens.

Tot slot levert zenderonderzoek op de langere termijn gegevens op over hoe de vliegbewegingen bepaald worden door de ontwikkeling van de lokale broedpopulatie en de aantallen jonge vogels en het omliggende landschap, en hoe eventuele ingrepen in dat landschap (zoals nieuwe foerageergebieden) zouden kunnen leiden tot veranderingen van aanvaringsrisico's in het windpark.

We concluderen al met al dat om meerdere redenen een voortzetting van het zenderonderzoek aan zeearenden gewenst kan zijn. Doel van voortzetting van het zenderonderzoek zou dan vooral zijn het evalueren van de effectiviteit van de eventueel genomen mitigatiemaatregelen en een vinger aan de pols houden van veranderende vliegbewegingen.

Literatuur

Bastos, R., Pinhanços, A., Santos, M., Fernandes, R.F., Vicente, J.R., Morinha, F., Honrado, J.P., Travassos, P., Barros, P. and Cabral, J.A., 2016. Evaluating the regional cumulative impact of wind farms on birds: how can spatially explicit dynamic modelling improve impact assessments and monitoring?. Journal of applied ecology, 53(5), pp.1330-1340.

Buij, R. en Jansman, H., 2019. Wederom een dode Zeearend *Haliaeetus albicilla* door een aanvaring met een windturbine in Flevoland. De takkeling, 27(2), pp.138-145.

Buij, R., Moonen, S., Schaub, T., Janssens, K., Mañas, J., Müskens, G., van Rijn, S., & van Straalen, D. 2022. Het risico op aanvaringen met windturbines van zeearend en bruine kiekendief in Flevoland. (Rapport/ Wageningen Environmental Research; No. 3169). Wageningen Environmental Research. https://doi.org/10.18174/572132

Carrete, M., Sánchez-Zapata, J.A., Benítez, J.R., Lobón, M. and Donázar, J.A., 2009. Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. Biological Conservation, 142(12), pp.2954-2961.

De Lucas, M., Janss, G.F., Whitfield, D.P. en Ferrer, M., 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. Journal of applied ecology, 45(6), pp.1695-1703.

De Roder, F. en Bijlsma, R.G, 2009. Zeearend Haliaeetus albicilla in Oostelijk Flevoland gedood door windturbine. De Takkeling, 17(1), pp.68-73.

Dürr, T., 2021. Vogelverluste an Windenergieanlagen / bird fatalities at windturbines in Europe. Dokumentation aus der zentralen Datenbank der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt Brandenburg. Stand mei 2021.

Ferrer, M., de Lucas, M., Janss, G.F., Casado, E., Munoz, A.R., Bechard, M.J. en Calabuig, C.P., 2012. Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in wind farms. Journal of Applied Ecology, 49(1), pp.38-46.

Grünkorn, T., Blew, J., Krüger, O., Potiek, A., Reichenbach, M., von Rönn, J., Timmermann, H., Weitekamp, S. en Nehls, G., 2017. A Large-Scale, Multispecies Assessment of Avian Mortality Rates at Land-Based Wind Turbines in Northern Germany. In Wind Energy and Wildlife Interactions (pp. 43-64). Springer, Cham.

Hauff, P. and Mizera T., 2006. Distribution and density of white-tailed sea eagles Haliaeetus albicilla in Germany and Poland: Acurrent atlas-map. Vogelwarte 44: 134–136 [in German, Englishsummary]. *(2) (PDF) Total and Methylmercury in Soft Tissues of White-Tailed Eagle (Haliaeetus albicilla) and Osprey (Pandion haliaetus) Collected in Poland*.

Heuck, C., Herrmann, C., Schabo, D.G., Brandl, R. & Albrecht, J., 2017. Density-dependent effects on reproductive performance in a recovering population of White-tailed Eagles Haliaeetus albicilla. Ibis 159: 297–310.

Krone, O., & Treu, G., 2018. Movement patterns of white-tailed sea eagles near wind turbines. J Wildl Manage 82:1367–1375.

May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø., & Stokke, B.G., 2020. Paint it black: Efficacy of increased wind windturbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. Ecology and evolution, 10(16), 8927-8935.

McClure, C. J., Rolek, B. W., Dunn, L., McCabe, J. D., Martinson, L., & Katzner, T. E., 2022. Confirmation that eagle fatalities can be reduced by automated curtailment of wind turbines. Ecological Solutions and Evidence, 3(3), e12173.

Murgatroyd, M., Bouten, W. en Amar, A., 2021. A predictive model for improving placement of wind turbines to minimise collision risk potential for a large soaring raptor. Journal of Applied Ecology, 58(4), pp. 857-868.

Nygård, T., Bevanger, K., Dahl, E.L., Flagstad, Ø., Follestad, A., Hoel, P.L., May, R. en Reitan, O., 2010. A study of White-tailed Eagle Haliaeetus albicilla movements and mortality at a wind farm in Norway. BOU Proceedings-Climate Change and Birds. British Ornithologists' Union. http://www.bou.org.uk/bouproc-net/ccb/nygard-etal.pdf.

Radovic, A., Mikuska, T., 2009. Population size, distribution and habitat selection of thewhite-tailed eagle Haliaeetus albicilla in the alluvial wetlands of Croatia. Biologia(Bratisl). 64, 156–164.

Reid, T., Krüger, S., Whitfield, D.P. en Amar, A., 2015. Using spatial analyses of bearded vulture movements in southern Africa to inform wind windturbine placement. Journal of Applied Ecology, 52(4), pp.881-892.

Roscioni, F., Russo, D., Di Febbraro, M., Frate, L., Carranza, M.L. & Loy, A., 2013. Regional-scale modelling of the cumulative impact of wind farms on bats. Biodiversity and Conservation, 8, 1821–1835.

Schuster, E., Bulling, L. en Köppel, J., 2015. Consolidating the state of knowledge: a synoptical review of wind energy's wildlife effects. Environmental management, 56(2), pp.300-331.

Schaub, M., 2012. Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations. Biological Conservation, 155, pp.111-118.

Sergio, F., 2003. From individual behaviour to population pattern: weather-dependent foraging and breeding performance in black kites. Animal behaviour, 66(6), pp.1109-1117.

Struwe-Juhl, B., 2000. Funkgestutzte Synchronbeobachtung – eine geeignete Methode zur Bestimmung der Aktionsraume von Großvogelarten (Ciconiidae, Haliaeetus) in der Brutzeit. Populationsokologie von Greifvogel- und Eulenarten 4: 101– 110.

Thaxter, C.B., Buchanan, G.M., Carr, J., Butchart, S.H., Newbold, T., Green, R.E., Tobias, J.A., Foden, W.B., O'Brien, S. and Pearce-Higgins, J.W., 2017. Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. Proc. R. Soc. B, 284(1862), p.20170829.

Vasilakis, D.P., Whitfield, D.P. en Kati, V., 2017. A balanced solution to the cumulative threat of industrialized wind farm development on cinereous vultures (Aegypius monachus) in south-eastern Europe. PloS one, 12(2), p.e0172685.

Van der Wind, F., M. Edink, J. Starmans, W. Pustjens, B. Vogelaar, J. de Bekker, 2016. Milieueffectrapport Windpark Zeewolde. Pondera Consult, 2 december 2016.

Van Rijn, S., de Boer, P., Buij, R., Dekker, J., Deuzeman, S., & van Straalen, D., 2020. Eerste stappen van jonge Nederlandse Zeearenden Haliaeetus albicilla met gps-GSM zenders. De Takkeling, 28(1), 55-61.

Van Rijn, S., van den Berg, A., de Boer, P., Dekker, J., Deuzeman, S., van Straalen, D. & Kleefstra, R., 2019. Broedende Zeearenden in Nederland in 2006-2018. Limosa 92: 3-15.

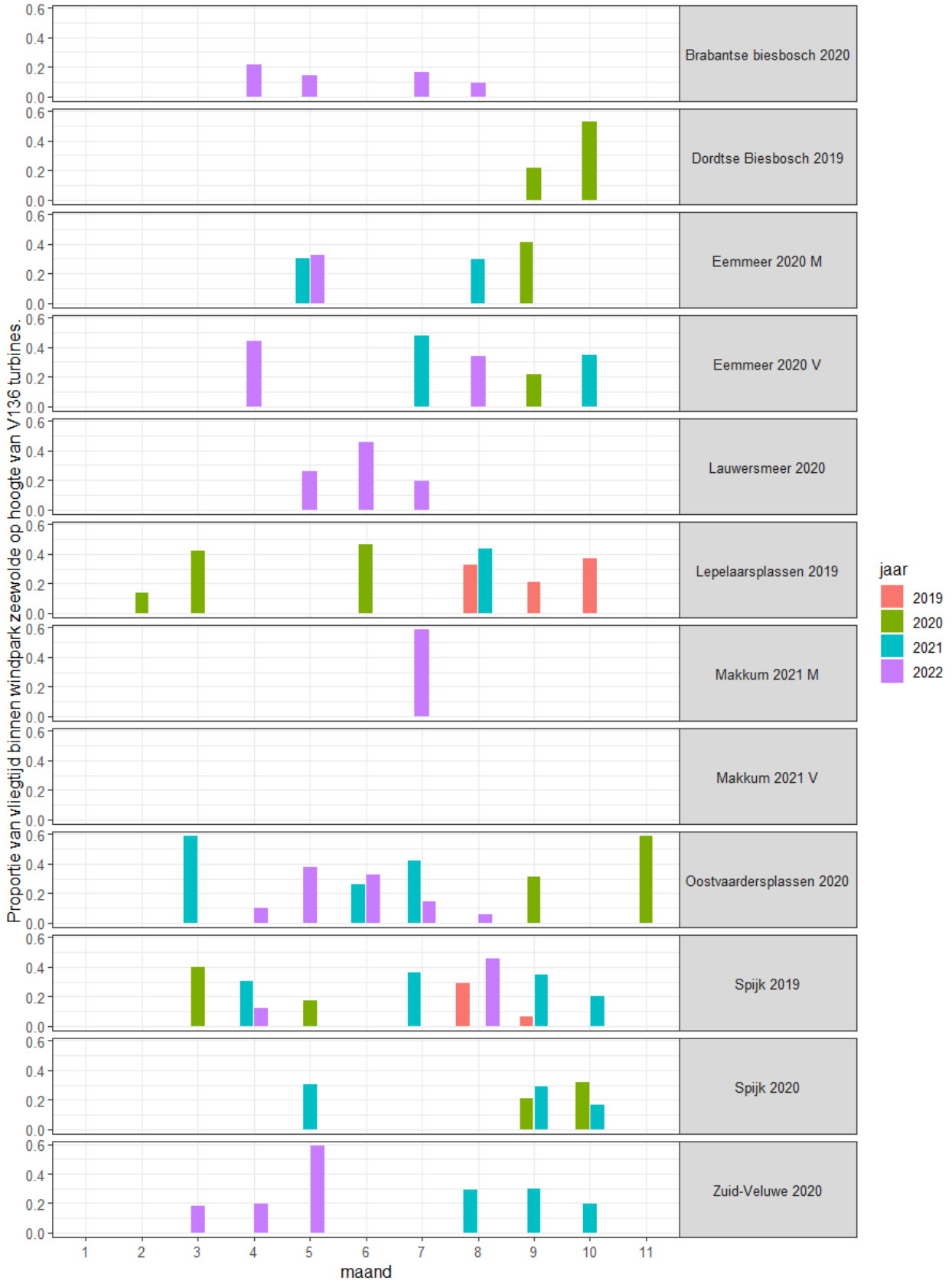
Van Rijn, S., van den Berg, A., de Boer, P., Dekker, J., Deuzeman, S., Kleefstra, R., & van Straalen, D., 2022. Broedende Zeearenden *Haliaeetus albicilla* in Nederland in 2021. De Takkeling 30 (1): 50-54

Van Rijn, S., van den Berg, A., de Boer, P., Dekker, J., Deuzeman, S., Kleefstra, R., & van Straalen, D., 2023. Broedende Zeearenden *Haliaeetus albicilla* in Nederland in 2022. De Takkeling 31 (1): 55-60

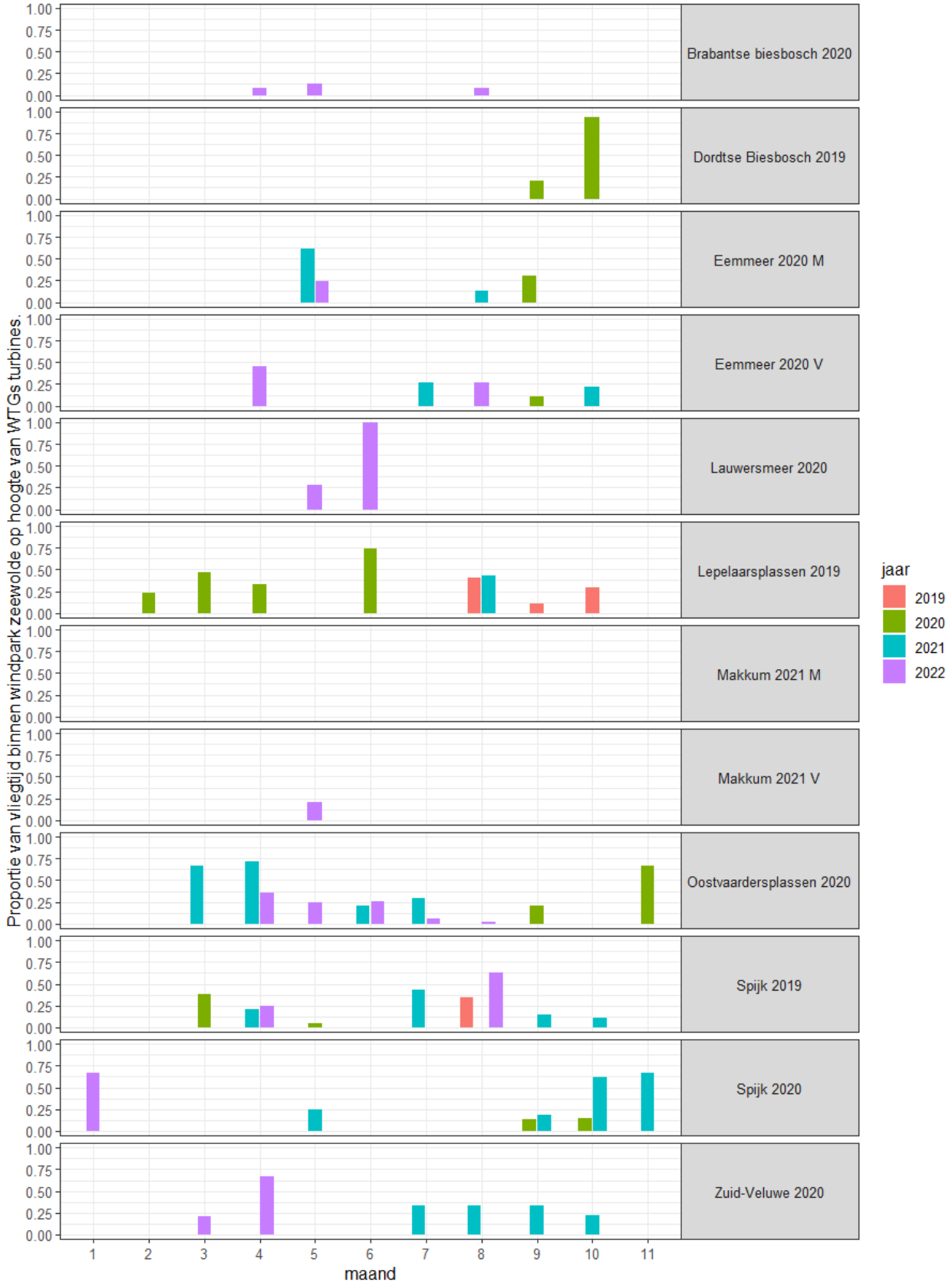
Van Rijn, S., van Straalen, D. en Buij, R., 2022. Opnieuw in Nederland gezenderde Zeearend omgekomen door windturbine. Nature Today, 3 februari 2022.

Van Rijn, S., Zijlstra, M. & Bijlsma, R.G., 2010. Wintering White-tailed Eagles *Haliaeetus albicilla* in The Netherlands: aspects of habitat scale and quality. Ardea 98: 373–382.

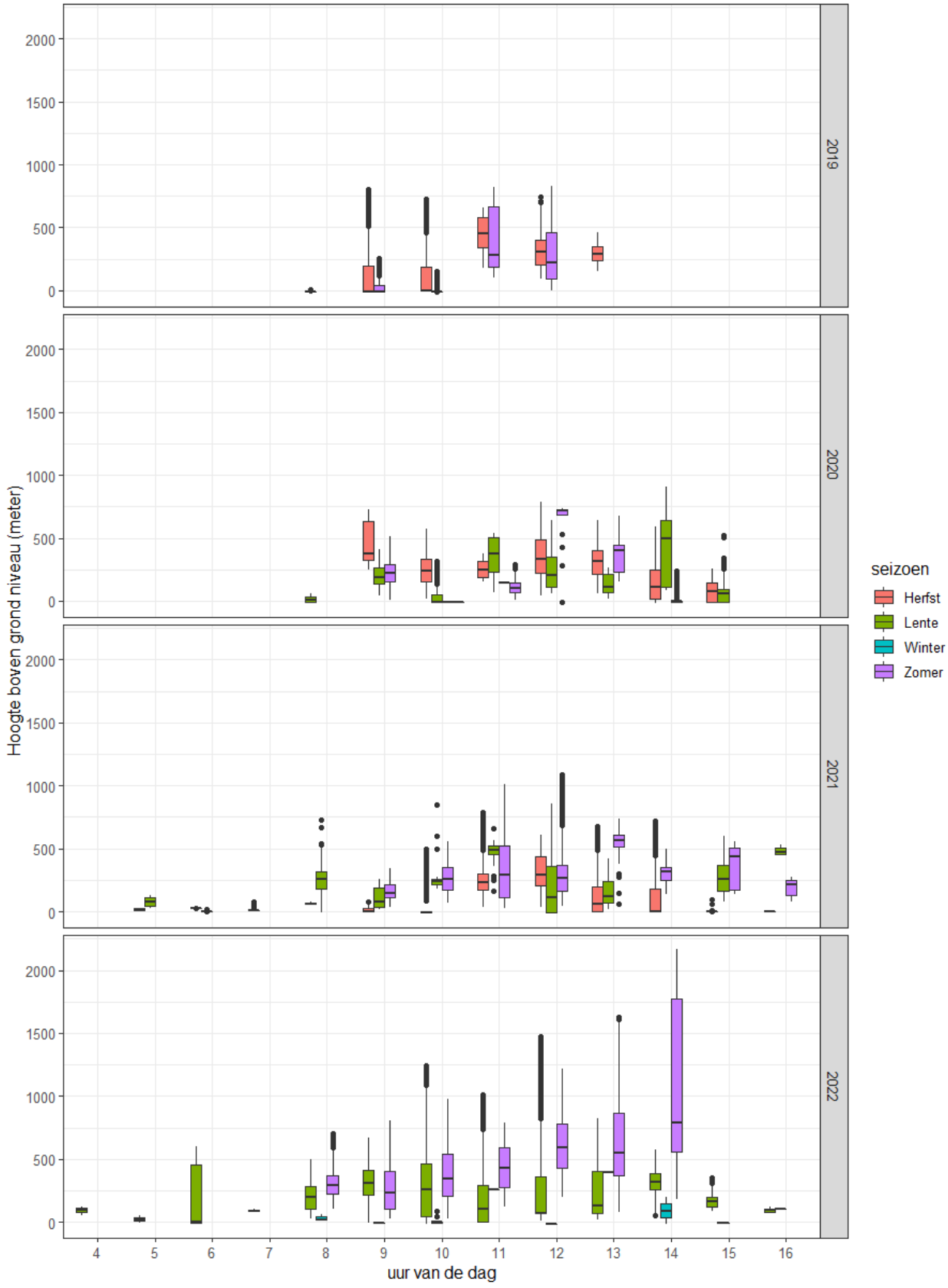
Bijlage 1


Proportie van vliegtijd binnen windpark zeewolde op hoogte van V136 turbines.
0.0
0.2
0.4
0.6
Brabantse biesbosch 2020
Dordtse Biesbosch 2019
Eemmeer 2020 M
Eemmeer 2020 V
Lauwersmeer 2020
Lepelaarsplassen 2019
Makkum 2021 M
Makkum 2021 V
Oostvaardersplassen 2020
Spijk 2019
Spijk 2020
Zuid-Veluwe 2020
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
maand
jaar
2019
2020
2021
2022

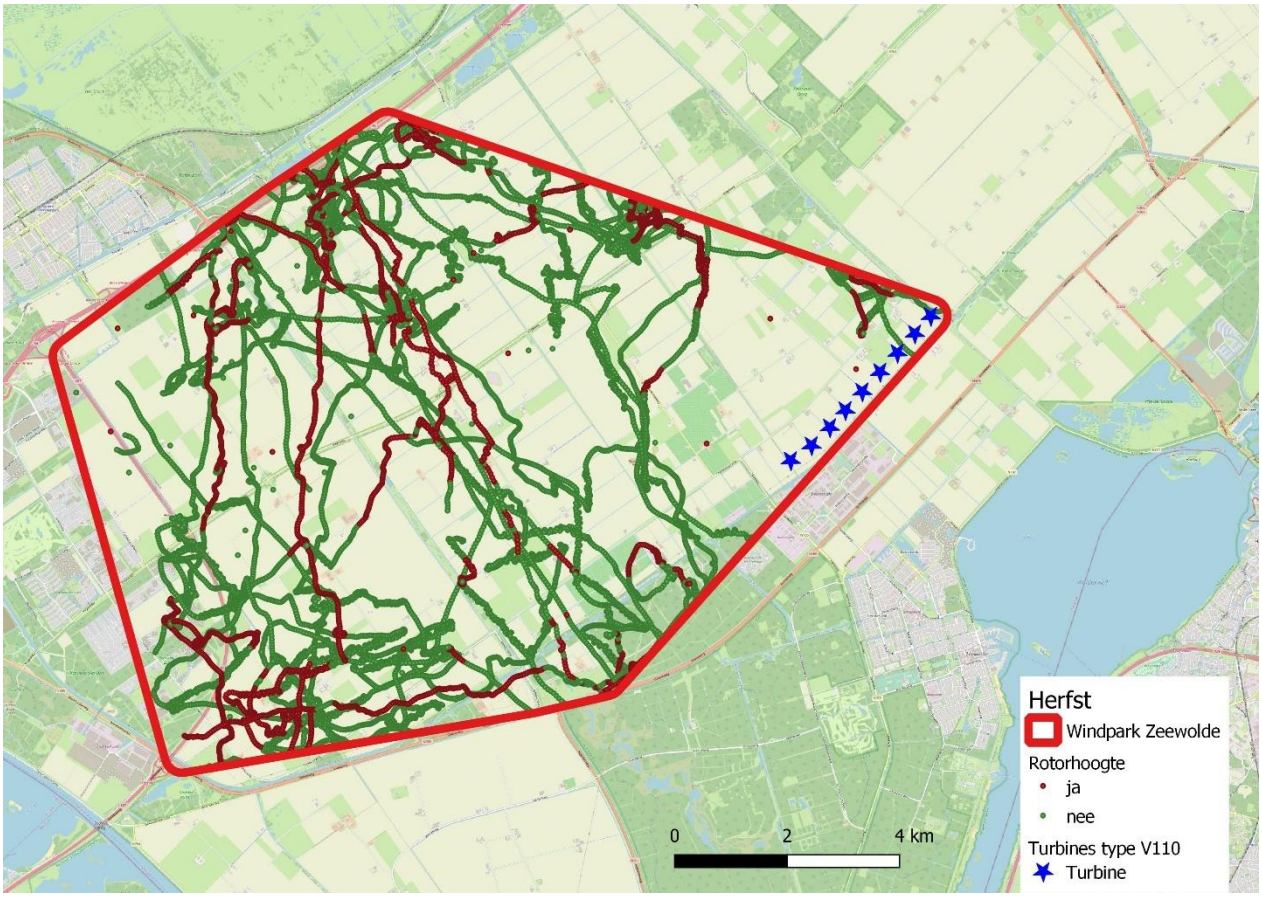
Brabantse biesbosch 2020
Dordtse Biesbosch 2019
Eemmeer 2020 M
Eemmeer 2020 V
Lauwersmeer 2020
Lepelaarsplassen 2019
Makkum 2021 M
Makkum 2021 V
Oostvaardersplassen 2020
Spijk 2019
Spijk 2020
Zuid-Veluwe 2020
Proportie van vliegtijd binnen windpark zeewolde op hoogte van WTG turbines.
maand
jaar
2019
2020
2021
2022

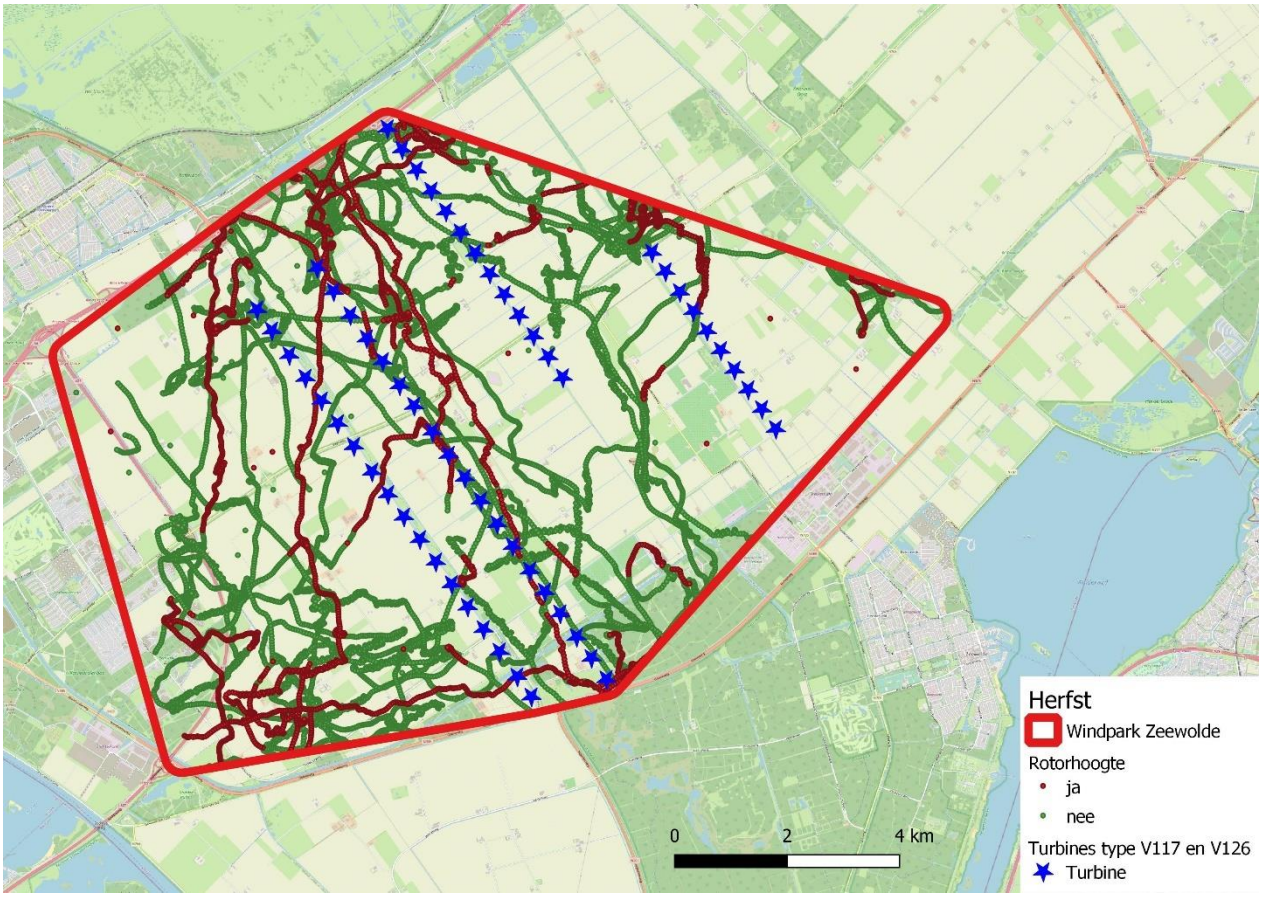


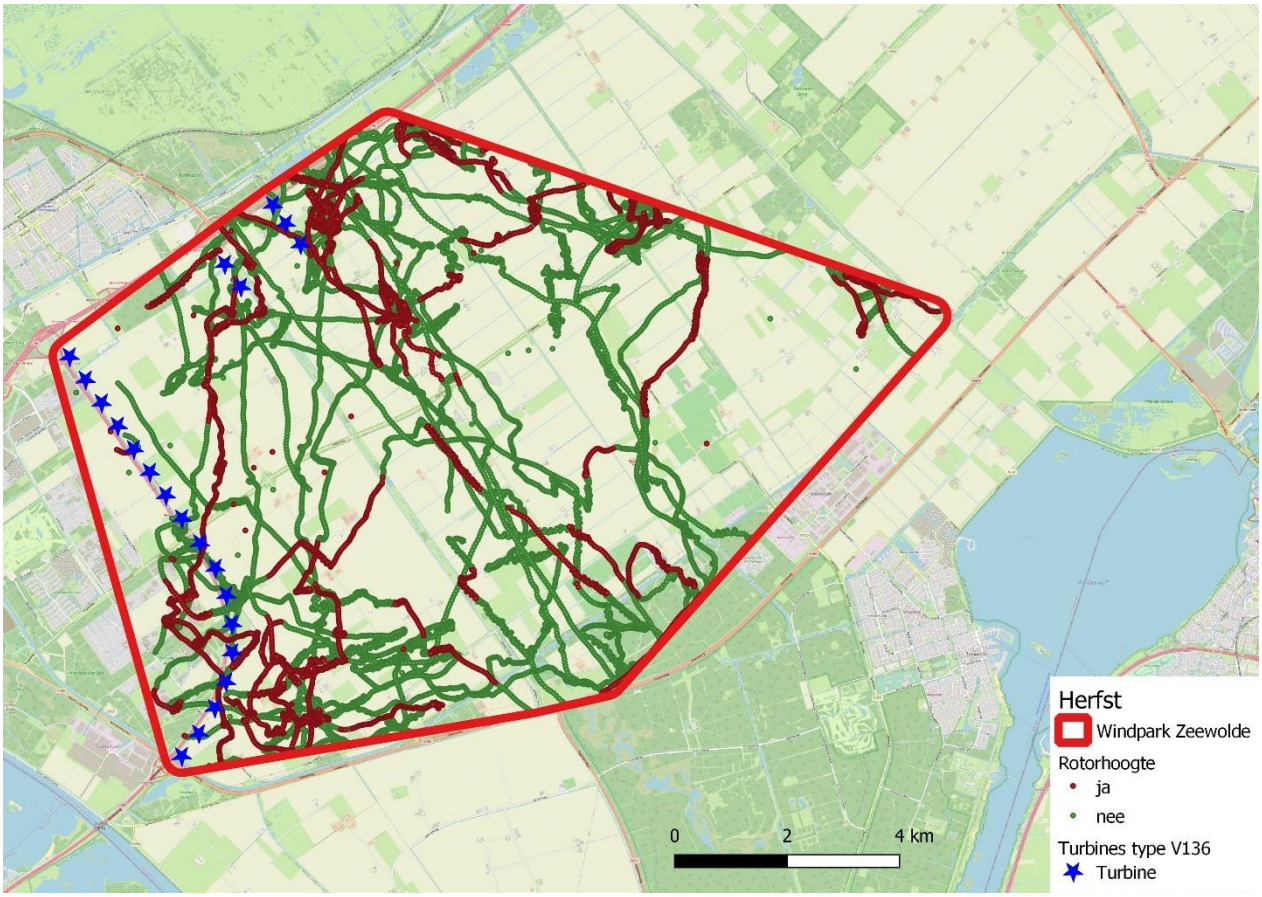
Figuur B1.1a-c *De proportie van de totale tijd in de vlucht op rotorhoogte van (a) V136-, (b) V110-, en (c) V117/V126-turbines. De tien jonge zeearenden zijn apart weergegeven, met per maand en jaar de proportie van de vliegtijd binnen de rotorhoogte van het betreffende turbinetype.*

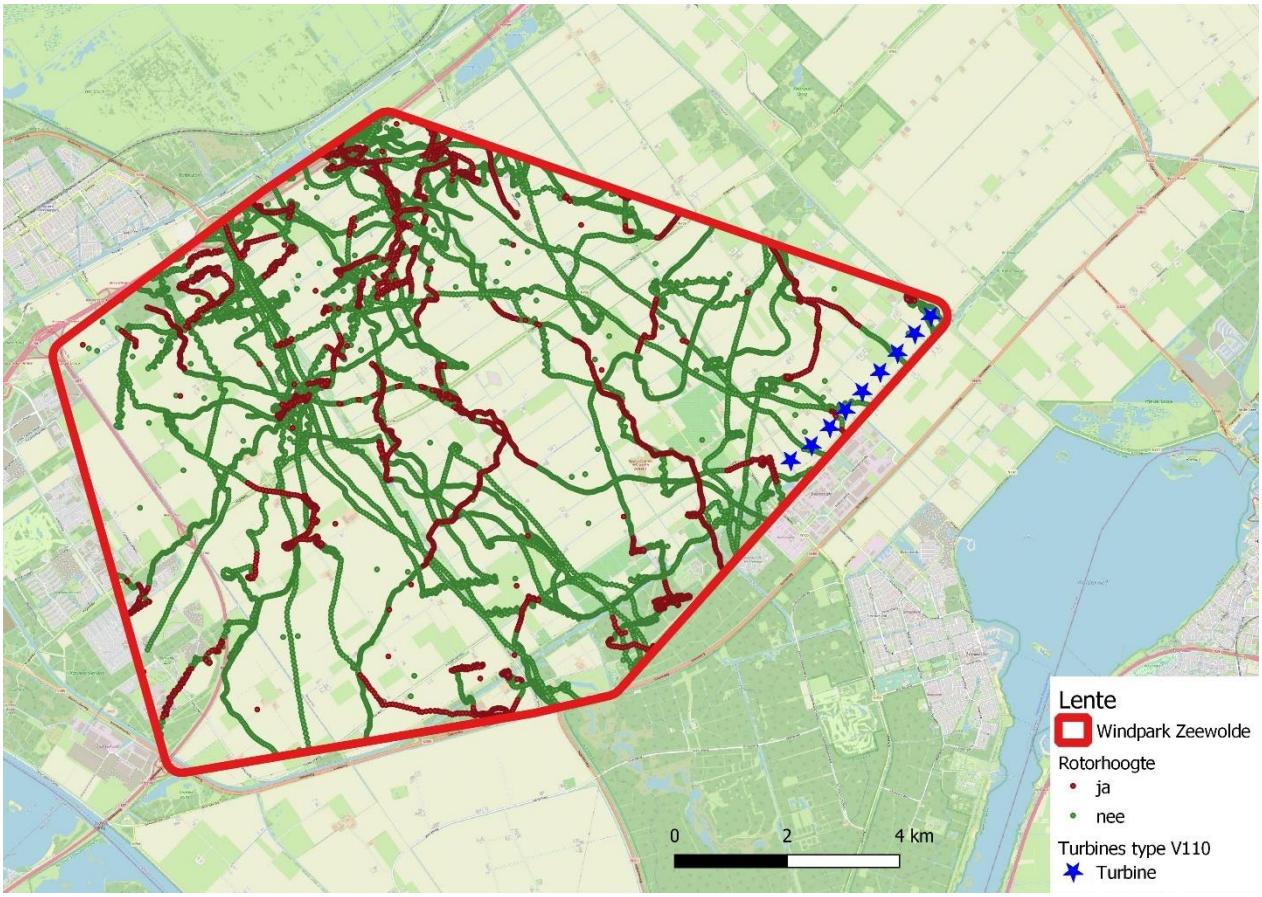


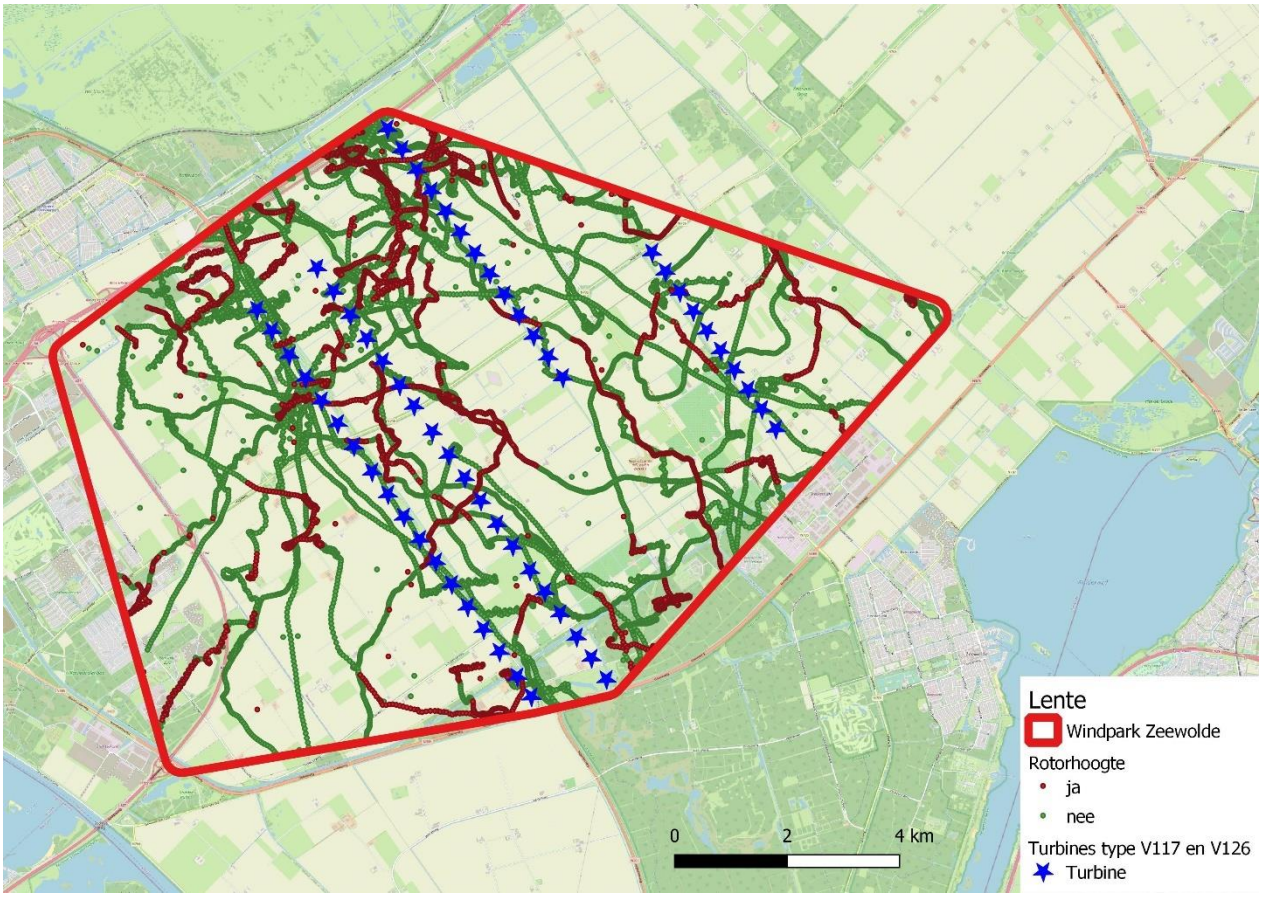
Figuur B1.1d *Vlieghoogte boven grondniveau per uur van de dag van gezenderde zeearenden, per seizoen en per jaar. Het betreft hier alle vlieghoogten voor alle locaties binnen het Windpark Zeewolde, voor twaalf gezenderde jonge zeearenden in 2019-2022. De vlieghoogten betreffen de gps gemeten vlieghoogte voor hoog-resolutiedata, en de barometer vlieghoogte voor laag-resolutiedata. De balk geeft 50% van de vlieghoogten aan rond de mediaan, de lijnen daaronder en boven (met uitschieters als zwarte punten) geven de minimum- en maximumwaarden aan. Lente: 1 maart tot en met 31 mei; zomer: 1 juni tot en met 31 augustus; herfst: 1 september tot en met 28 februari; winter: 1 december tot en met 28 februari (of 29 februari in 2020).*

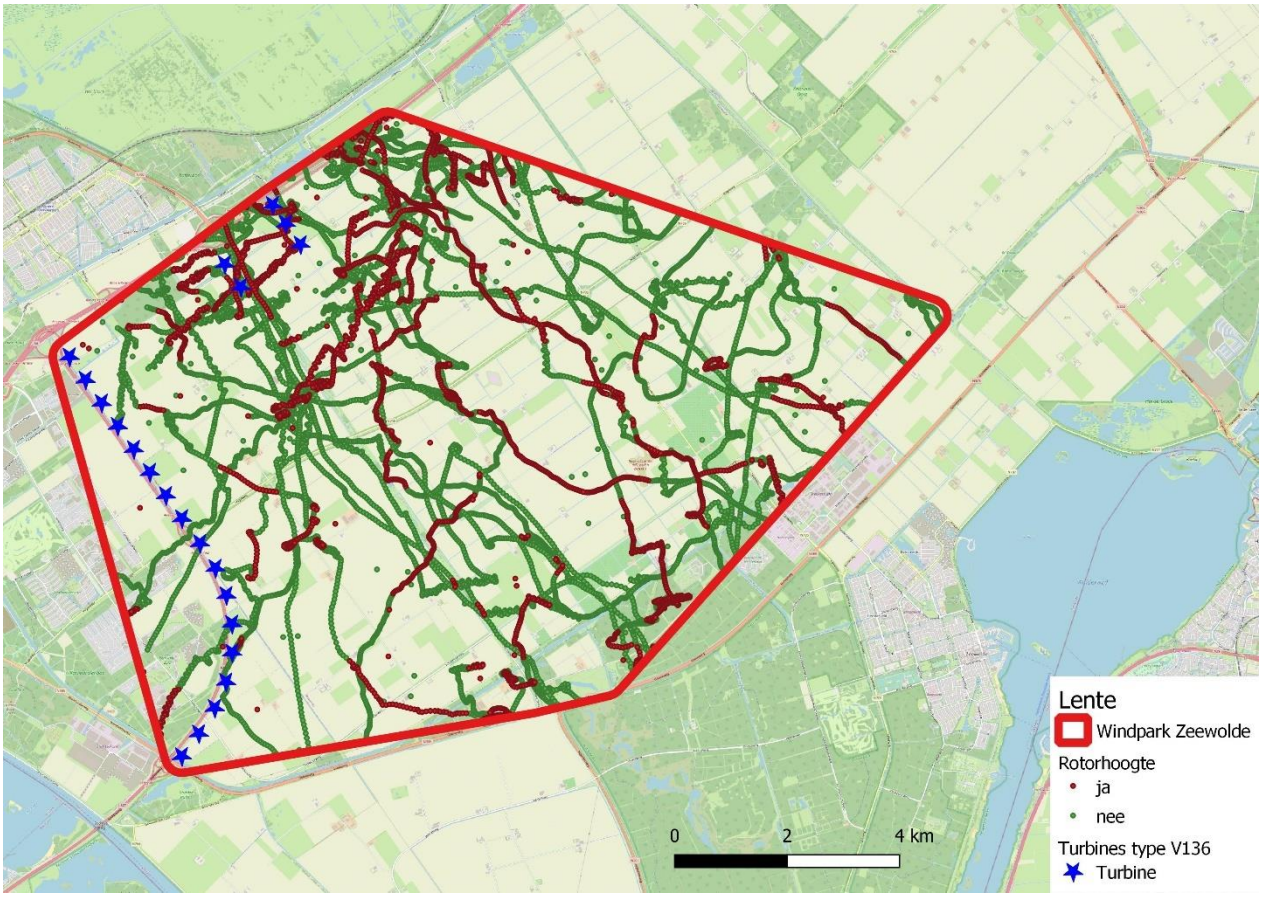

Herfst
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V110
Turbine
0
2
4 km

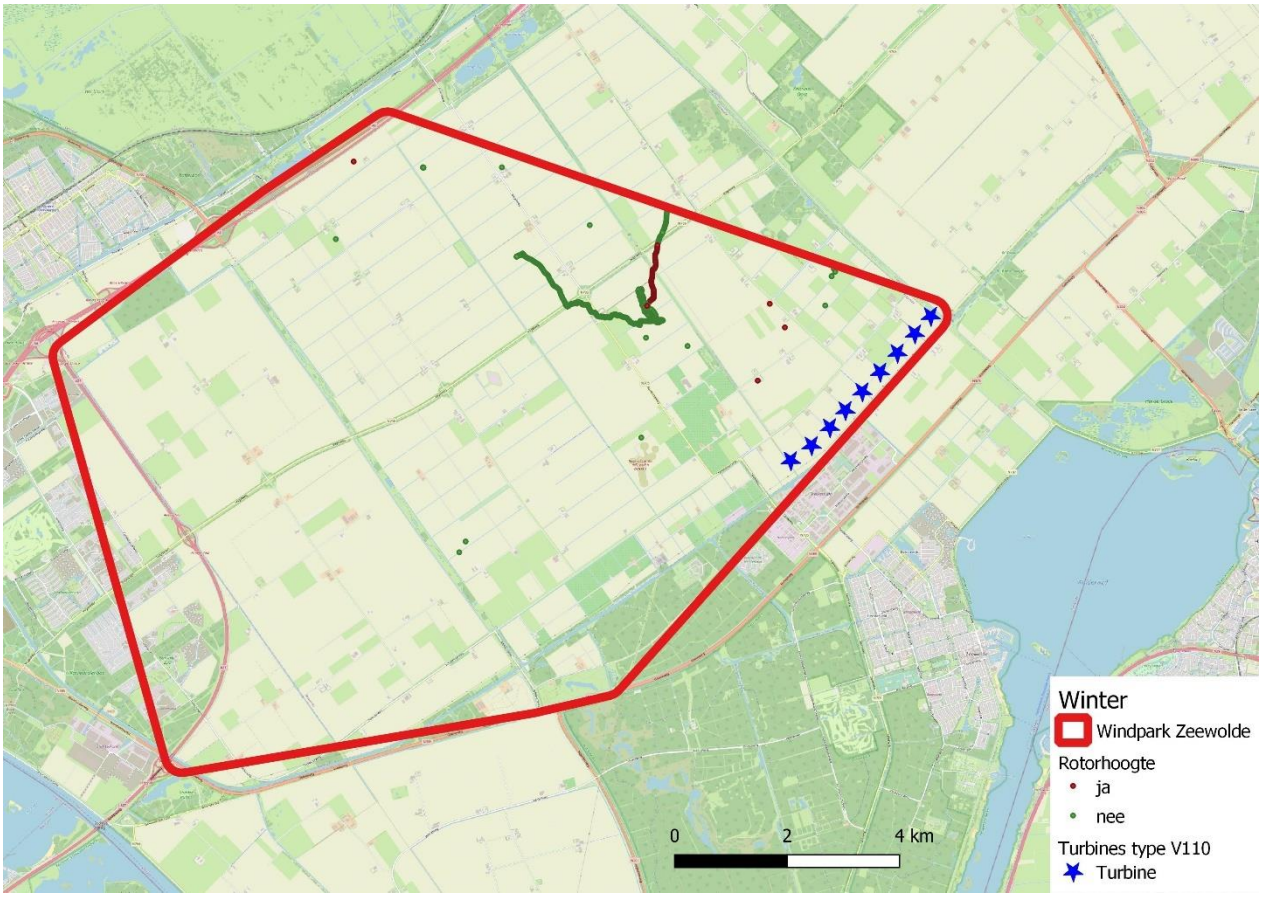

Herfst
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V117 en V126
Turbine
0
2
4 km

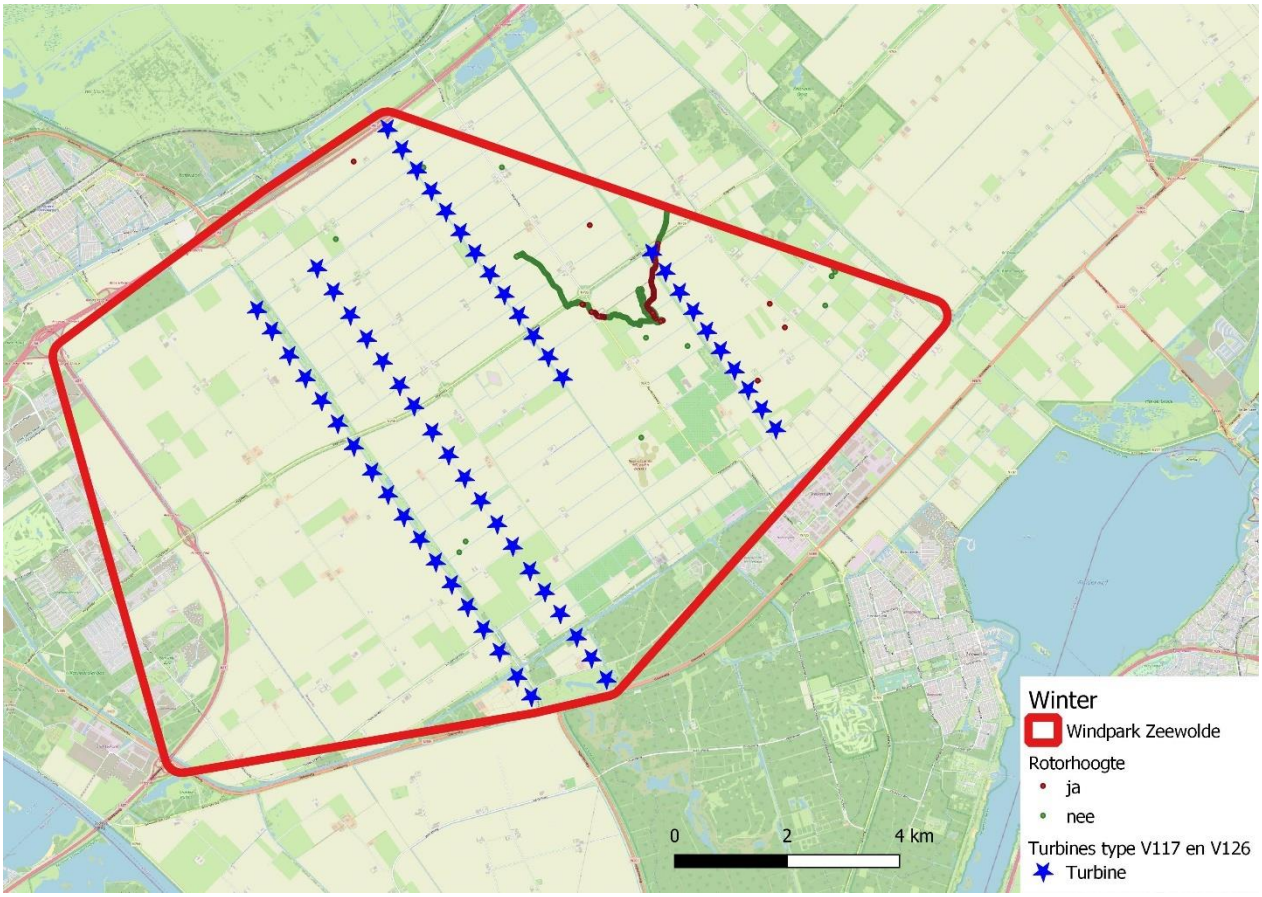

Herfst
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V136
Turbine
0
2
4 km

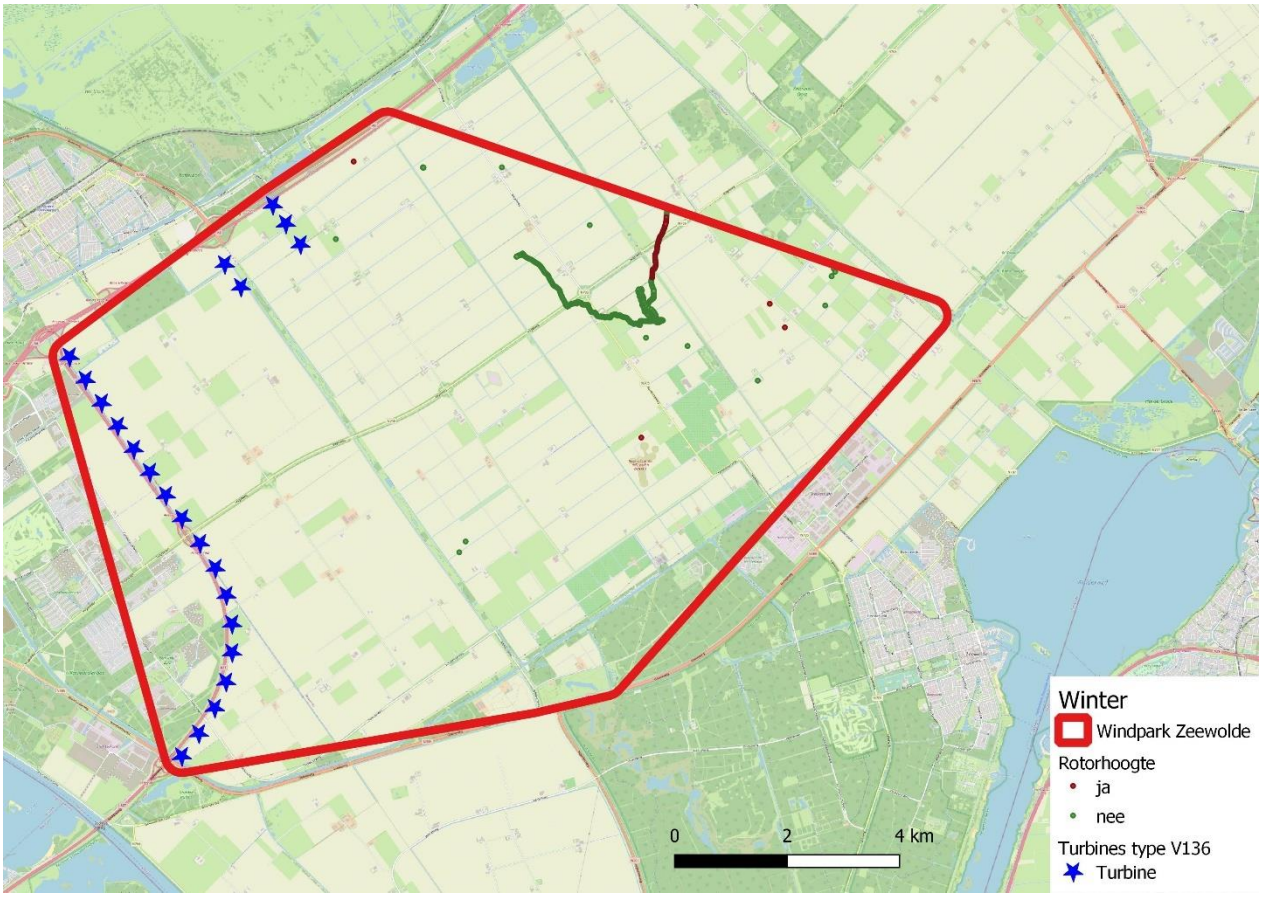

Lente
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V110
Turbine
0
2
4 km

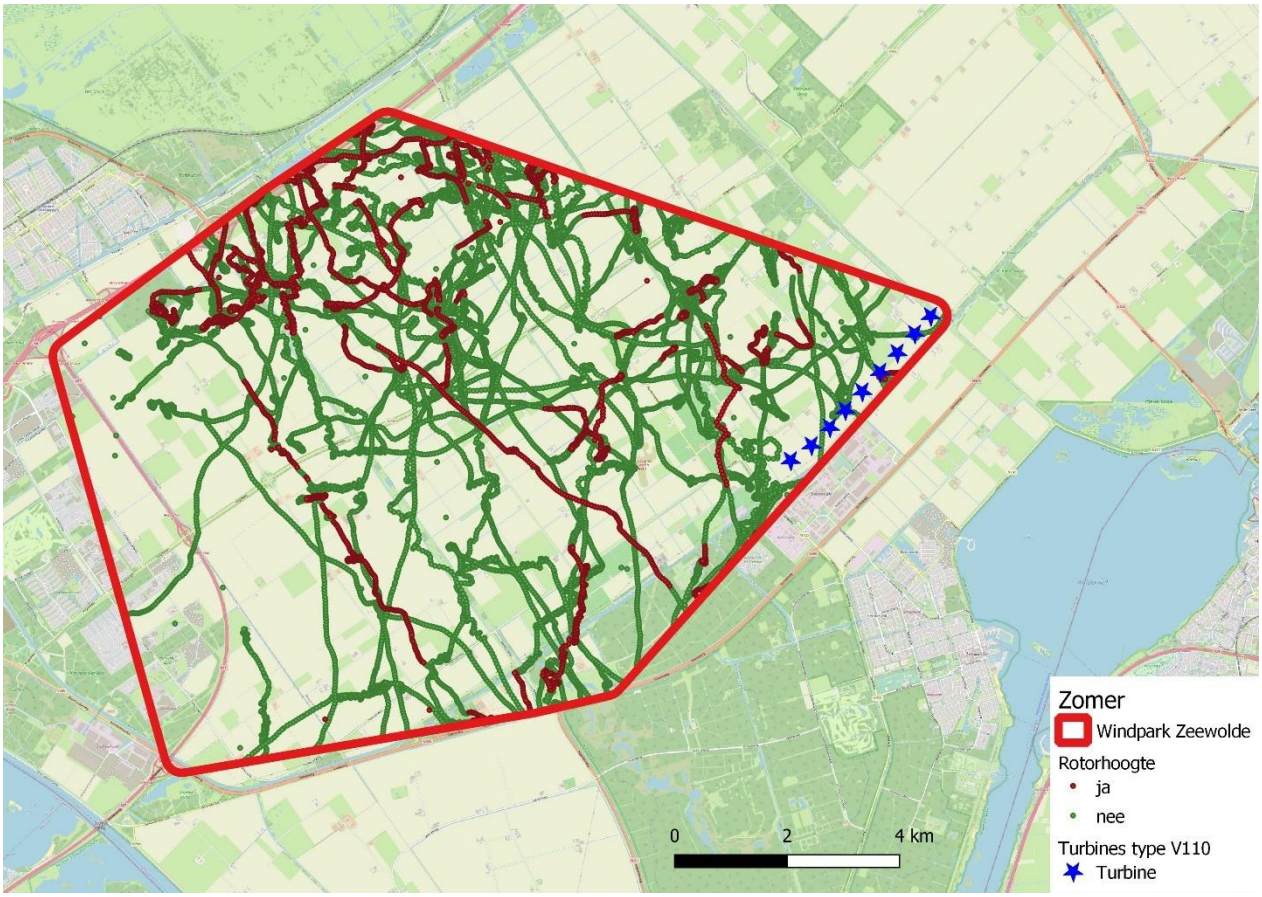

Lente
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V117 en V126
Turbine
0
2
4 km

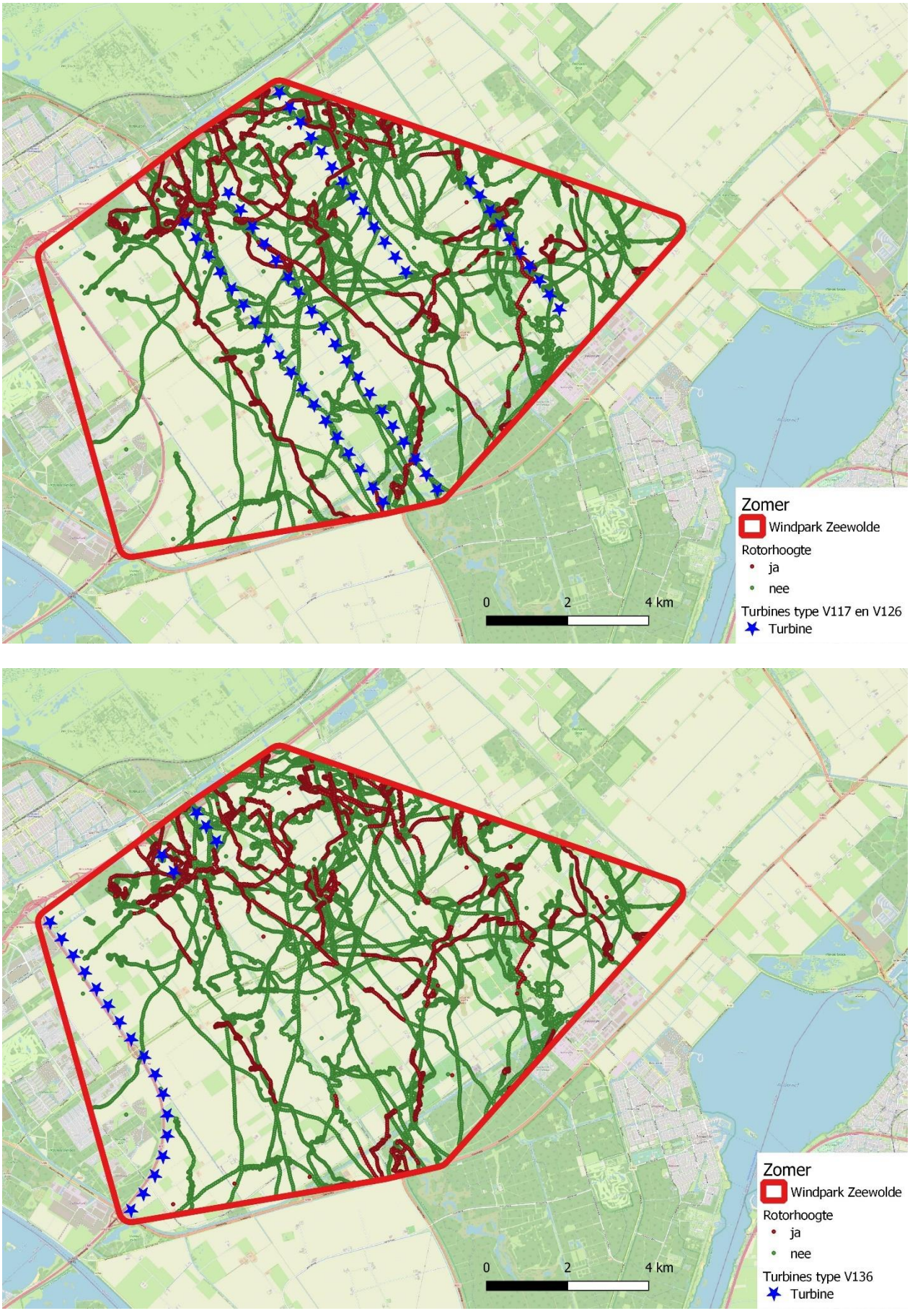

Lente
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V136
Turbine
0
2
4 km


Winter
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V110
Turbine
0
2
4 km


Winter
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V117 en V126
Turbine
0
2
4 km


Winter
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V136
Turbine
0
2
4 km


Zomer
Windpark Zeewolde
Rotorhoogte
ja
nee
Turbines type V110
Turbine
0
2
4 km



Figuur B1.1e *Vlieghoogte van gezenderde zeearenden binnen de rotorzone van drie typen turbines in het Windpark Zeewolde in de herfst, lente, winter en zomer van 2019-2022.*

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3242
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is ‘To explore the potential of nature to improve the quality of life’. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore the potential of nature to improve the quality of life

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3242
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.