

# Haalbaarheidsstudie

naar een voorspellend vogeltrekmodel en een  
stilstandvoorziening om vogelsterfte te beperken  
in Windpark Eemshaven

Willem Bouten

Jonne Kleyheeg-Hartman

Erik Klop

Astrid Potiek

Stacy Shinneman

Emiel van Loon

2020



## Inhoudsopgave

<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
	1.1 Aanpak	4
	1.2 Onderzoeksvragen	6
<b>2.</b>	<b>Vergelijking radars</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>Het aanvaringsmodel</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>Vergelijking sterfte</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>Treknachten uitgelicht</b>	<b>15</b>
<b>6.</b>	<b>Stilstand vanuit verschillend perspectief</b>	<b>17</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>22</b>
	7.1 Het vogeltrekmodel	22
	7.2 Het aanvaringsmodel	23
	<b>Dankwoord</b>	<b>24</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>24</b>

## 1. Inleiding

Energietransitie is noodzakelijk om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te verminderen en klimaatverandering tegen te gaan. Er is een breed maatschappelijk en politiek draagvlak voor energietransitie. Om te voldoen aan de Nederlandse energiedoelstelling per 2020 is gepland om 3000 MW, oftewel zo'n 1000-1500 windturbines, extra op land te plaatsen. Studies van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) hebben uitgewezen dat dit mogelijk nog niet genoeg is en dat er gerekend moet worden met misschien nog eens 2000 MW extra. De Eemshaven is een gebied waar gepland is om het huidige aantal turbines (nu bijna 100) sterk uit te breiden.

De Eemshaven is gesitueerd op een belangrijke vogeltrekroute vanuit Scandinavië naar Zuid Europa en Afrika. Het gebied is een geschikte landingsplek voor trekvogels die in het najaar over de Noordzee komen aanvliegen. In het voorjaar is het een gebied waar vogels geschikte weersomstandigheden afwachten om de oversteek naar Scandinavië te kunnen maken. Uit vijf jaar monitoring is gebleken dat er in de Eemshaven relatief veel vogelslachtoffers vallen (Klop & Brenninkmeijer, 2014). Op grond van dat onderzoek is het plan ontwikkeld om het windpark stil te zetten bij massale vogeltrek (Krijgsveld et al., 2016). De provincie Groningen heeft daarom, in samenwerking met Rijkswaterstaat en de ministeries van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), het initiatief genomen om de haalbaarheid van een stiltstandvoorziening voor trekvogels te laten onderzoeken.

### Box1: Vogeltrekgedrag (wat vuistregels voor het begrip)

Voor wat betreft vogelgedrag moeten we onderscheid maken tussen seizoensgebonden vogeltrek (2x per jaar gedurende ca. 3 maanden) en lokale (foerageer-)vluchten van broedvogels (april-augustus) of overwinterende vogels (oktober-april). Het gedrag tijdens vogeltrek is sterk afhankelijk van de soortgroep. Grofweg kunnen we zangvogeltrek, roofvogeltrek en watervogeltrek onderscheiden.

- Zangvogels trekken in grote aantallen. Veel zangvogels trekken 's nachts en moeten daarna een aantal dagen opvetten (zogenaamde "stopovers") voordat ze weer een nacht kiezen om verder te trekken. Ze kiezen bij voorkeur treknachten met gunstige vliegcondities, met name milde rugwind en zonder regen. De nachtelijke trek van zangvogels is daardoor sterk geconcentreerd en 80% van de trek beperkt zich tot ongeveer 20 nachten per jaar (van Belle et al., 2007). De trekhoogte kan variëren van vlak boven de grond tot wel 4 km hoogte met de hoogste concentraties in de onderste luchtlagen, vooral bij tegenwind. Voor windparken is het van belang dat zangvogels die 's nacht trekken vlak na zonsondergang opstijgen. Afhankelijk van de weersomstandigheden landen ze weer in de loop van de nacht of in de meeste gevallen uiterlijk bij zonsopgang. Als ze boven zee vliegen zijn ze gedwongen om door te vliegen totdat ze het land bereiken omdat ze niet op water kunnen drijven.
- Grote roofvogels maken voor de trek, als het enigszins kan, gebruik van thermiek overdag. Ze kunnen de gehele atmosferische grenslaag benutten, die kan variëren van een paar honderd meter tot wel 2 km op zonnige droge dagen in Nederland of nog hoger in de woestijn. Omdat er boven water geen thermiek is, mijden zij waterlichamen en steken de zee over bij landengten. Sommige roofvogels klapwieken nauwelijks tijdens de trek (wespendief, gieren), kleinere soorten zijn flexibeler en kunnen ook klapwieken (sommige valken) en trekken dus soms ook 's nachts. Ook sommige grote vogels, zoals ooievaars, maken gebruik van thermiek en lijken qua trekgedrag op roofvogels.
- Watervogels (ganzen, zwanen, eenden, meeuwen, sterns, ...). Veel van de ganzen, zwanen en eenden overwinteren in NW Europa. De aantallen van deze soorten nemen in Nederland in het winterhalfjaar toe. Meeuwen en sterns vliegen veelal naar Zuid Europa en Afrika om daar de winter door te brengen. Bij het trekken komen zowel routes over land als over zee voor maar vaak volgen ze ongeveer de kustlijn.

Bij massale zangvogeltrek komen er op een "goede" treknacht wel 2 miljoen zangvogels over Nederland, omgerekend met pieken van tienduizenden vogels over de Eemshaven in een uur. Het heeft dan geen zin om één windturbine uit te zetten om vogelslachtoffers te voorkomen, maar het hele park zou uitgeschakeld moeten worden. Het elektriciteitsnetwerk is echter niet in staat deze plotselinge grote afname van energieproductie op te vangen omdat er weinig buffers in het netwerk zijn ingebouwd (Tennet, persoonlijke communicatie). Er moet daarom twee dagen vooraf bekend zijn of er massale vogeltrek te verwachten is. Alleen dan kan er tijdig extra stroom tegen een redelijke prijs worden ingekocht.

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat zangvogeltrek in zekere mate voorspeld kan worden met een vogeltrekmodel (van Belle et al., 2007). In dat onderzoek ging het echter om het voorspellen van trek om trainingsvluchten van piloten van de luchtmacht zo te kunnen plannen dat de kans op aanvaringen met vogels minimaal is. Dat model geldt voor heel Nederland en is niet ruimtelijk gespecificeerd omdat straaljagers toch in een paar minuten grote afstanden overbruggen. Voor de Eemshaven is dit model niet bruikbaar omdat de locatie aan de kust en de oversteek over de Noordzee specifieke dynamiek veroorzaken en omdat voor het windpark de trek op rotorhoogte van belang is terwijl bij de ontwikkeling van het bestaande model juist de onderste luchtlaag tot 200m buiten beschouwing is gelaten.

Dit rapport beschrijft de resultaten van een haalbaarheidsstudie op basis waarvan beoordeeld wordt of het ontwikkelen van een voorspellend model voor vogeltrek op rotorhoogte mogelijk is en welke stappen daarvoor nog gezet moeten worden. Daarnaast is de relatie tussen de gemeten vogeltrek op rotorhoogte en de geconstateerde mortaliteit onderzocht. Tenslotte moet duidelijk worden wat het verwachte effect is van het stilzetten van het windpark op de mortaliteit van trekkende zangvogels. Om een voorspellend model voor vogeltrek op rotorhoogte te kunnen ontwikkelen is een goed begrip van het systeem nodig, met andere woorden, zijn er antwoorden nodig op vragen als "Waar vertrekken de vogels die 's nachts over de Eemshaven trekken?", "Wat zijn de weersomstandigheden waarbij vogels besluiten om massaal te trekken?" en "Onder welke omstandigheden vliegen ze hoog of juist laag?". Om de mortaliteit beter te begrijpen, zijn antwoorden nodig op vragen als "Zijn trekvogels in staat om uit te wijken voor de wieken van windturbines en in welke mate is dat afhankelijk van de omstandigheden?".

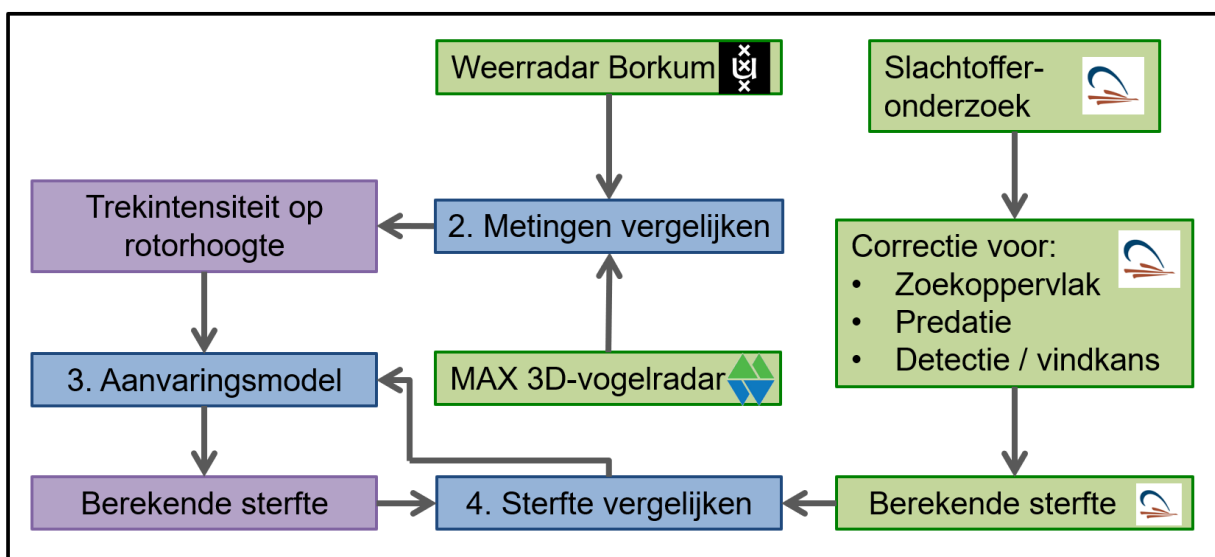
Het project wordt gepresenteerd als een *showcase* hetgeen betekent dat de resultaten met een breed publiek gedeeld zullen worden. Hiertoe is een korte film gemaakt over het project (<https://www.provinciegroningen.nl/projecten/trekvogels-in-eemshaven/>). Dit rapport, overige rapporten en presentaties die dit project betreffen, zijn ook op deze site te vinden.

## **1.1 Aanpak**

Voor deze haalbaarheidsstudie is een consortium gevormd, bestaande uit onderzoekers van Altenburg & Wymenga (A&W), Bureau Waardenburg (BuWa) en de Universiteit van Amsterdam (UvA), ieder met een eigen taak. De UvA heeft gegevens van weerradars, o.a. op het Duitse eiland Borkum, verzameld en geanalyseerd en heeft de mogelijkheid onderzocht om een model te ontwikkelen voor het voorspellen van pieken van nachtelijke zangvogeltrek op rotorhoogte in de Eemshaven, en dus momenten waarop veel vogels in aanvaring zouden kunnen komen met de

windturbines. A&W was verantwoordelijk voor de uitvoering en analyse van het slachtofferonderzoek onder 20-30 windturbines in de Eemshaven, met inbegrip van het stilstandsonderzoek. BuWa was verantwoordelijk voor het meten en analyseren van de vogeltrek in de Eemshaven met een 3D-vogelradar. De Universiteit van Amsterdam heeft het onderzoek gecoördineerd.

Gezamenlijk hebben de drie partijen gewerkt aan de integratie van alle resultaten, op basis waarvan de overkoepelende onderzoeksvragen beantwoord zijn. In figuur 1.1 is weergegeven hoe de verschillende deelonderzoeken in elkaar grijpen. De groen weergegeven onderdelen van het onderzoek zijn door de drie partners afzonderlijk uitgevoerd en zijn daarom beschreven in drie rapporten: Weerradar Borkum in Shinnemen et al. (2019), Max 3D-vogelradar in Kleyheeg-Hartman & Potiek (2020) en het slachtofferonderzoek en de bijbehorende correcties in Klop & Brenninkmeijer (2020). De blauw weergegeven onderdelen betreffen de onderdelen waarbij metingen en



*Figuur 1.1* Overzicht van de opzet van de ‘Showcase Eemshaven’ waarbij inzichtelijk is gemaakt hoe de diverse onderdelen in elkaar grijpen. De groen weergegeven onderdelen zijn beschreven in drie afzonderlijke rapporten. De overige onderdelen worden besproken in dit rapport waarbij de cijfers verwijzen naar de hoofdstukken

interpretaties van de afzonderlijke delen zijn geïntegreerd met de paarse onderdelen als resultaat. De blauwe onderdelen worden hieronder samengevat en in de volgende hoofdstukken (2-4) in meer detail beschreven.

Metingen vergelijken (hfst. 2): Voor de ontwikkeling van een voorspellend vogeltrekmodel zijn veel (historische) gegevens nodig van de "trekintensiteit op rotorhoogte". Gegevens van vogeltrek zijn beschikbaar van weerradars in de omgeving van de Eemshaven. Deze kunnen echter slecht vogelbewegingen in de onderste 200 meter boven de grond meten, terwijl de rotoren van windturbines zich juist in die laag bevinden. De weerradar op het eiland Borkum (verder Borkum genoemd) meet geen vogels die direct boven de Eemshaven vliegen (op geen enkele hoogte), omdat windturbines sterke reflecties geven die niet te onderscheiden zijn van vogels. Daarom zijn de metingen in de Eemshaven van de MAX 3D-vogelradar (verder MAX genoemd), die juist wel vogels op rotorhoogte kan meten, van twee trekseizoenen (najaar 2018 en voorjaar 2019) vergeleken met

de simultaan uitgevoerde metingen van Borkum. Uit deze analyse blijkt in hoeverre pieken met intensieve trek op rotorhoogte in de Eemshaven gelijk vallen met pieken in trekintensiteit, die door de weerradar worden geregistreerd. Alleen wanneer die pieken overeenkomen, kunnen de historische gegevens van de weerradar(s) gebruikt worden voor de ontwikkeling van een voorspellend model voor intensieve vogeltrek op rotorhoogte.

Aanvaringsmodel (hfst. 3): niet elke vogel die door de rotor van een windturbine vliegt, wordt geraakt door de wieken. Door de gemeten of gemodelleerde vogeltrek op rotorhoogte te vermenigvuldigen met de kans van aanvaring kan het aantal slachtoffers berekend worden. Het *collision risk model* van Band (2007) is aangepast om de metingen van MAX te kunnen gebruiken en de variatie van windsnelheid en windrichting te incorporeren (zie hfst. 3). Deze aangepaste versie is gebruikt om de aanvaringskans voor een zangvogel te berekenen voor een windturbine van het type Lagerweij L136. De Lagerweij L136 is gebruikt als een voorbeeld van een moderne windturbine van een type dat bij vervanging van oude of plaatsing van nieuwe windturbines in de Eemshaven in aanmerking komt. In het aanvaringsmodel wordt ook een "avoidance" parameter gebruikt, die het effect van het uitwijkgedrag van zangvogels beschrijft. Omdat er uit de literatuur geen bruikbare waarde van deze parameter bekend is, is deze parameter geïjkt op basis van de metingen en zo bepaald dat voor elk van de beide seizoenen het met het model berekende aantal slachtoffers gelijk is aan het in het veld gevonden (en gecorrigeerde) aantal slachtoffers (zie hfst. 3 - Uitwijkgedrag).

Sterfte vergelijken (hfst. 4): De gemeten flux op rotorhoogte en de met deze flux en aanvaringsmodel berekende sterfte worden vergeleken met de sterfte zoals resulterend uit het slachtofferonderzoek. Hierbij zijn alleen de treknachten gebruikt waarbij voorafgaand aan de treknacht alle oudere slachtoffers verwijderd zijn en na de treknacht de slachtoffers geteld zijn. Alleen de nachten met een betrouwbare schatting van trekintensiteit op rotorhoogte zijn in deze vergelijking betrokken.

Om te onderstrepen dat vogeltrek een dynamisch proces is en het lastig is om gemiddelden van een nacht te interpreteren zijn twee nachten als voorbeeld eruit gelicht en in hoofdstuk 5 in meer detail besproken.

In hoofdstuk 6 wordt de stilstand uit verschillende perspectieven bekeken. Als aanzet tot een discussie over mogelijke criteria voor een stilstand worden nachten op grond van "trekintensiteit" en "energieopbrengst van een windturbine" gerangschikt en wordt het effect van stilstand berekend.

## **1.2 Onderzoeksvragen**

Het consortium heeft in samenspraak met de opdrachtgevers voorafgaand aan het onderzoek de volgende onderzoeksvragen geformuleerd. Alleen de dik gedrukte onderdelen worden in dit rapport besproken. Voor de overige onderdelen wordt verwezen naar de drie afzonderlijke deelrapporten:

1. Kan het algoritme, dat ontwikkeld is voor het identificeren van vogeltrek op grote hoogte in de data van een weerradar, aangepast worden om lokale patronen in vogeltrek op hoogtes die relevant zijn in relatie tot windparken te herkennen? Deze resultaten zijn besproken in het rapport *Prediction and measurement of high intensity bird migration using meteorological radar data in Eemshaven windpark* (Shinneman et al., 2020). Belangrijkste resultaat: Er is een nieuw algoritme ontwikkeld waarmee we een uitstekend ruimtelijk beeld krijgen van vogeltrek in de Nederlandse radars. De radar in Borkum meet echter heel veel "clutter" die het beeld verstoort.

Ondanks dat geven de beelden veel meer informatie dan voorheen.

2. Wat kan data verzameld met een 3D-vogelradar onthullen over de ruimtelijke en temporele patronen in de nachtelijke trek van zangvogels over de Eemshaven? Deze resultaten zijn besproken in het rapport *Analyse nachtelijke vogeltrek met behulp van 3D-vogelradar: Showcase Eemshaven* (Kleyheeg-Hartman & Potiek, 2020). Belangrijkste resultaat: Met de 3D-vogelradar is de nachtelijke zangvogeltrek over de Eemshaven in veel detail vastgelegd. Zowel in het najaar van 2018 als in het voorjaar van 2019 was in de Eemshaven sprake van zeer intensieve trek op rotorhoogte. In het najaar was zowel de gemiddelde als de maximale trekintensiteit hoger dan in het voorjaar en vond de trek meer gepiekt plaats.
3. **Hoe verhoudt de data van de 3D-vogelradar zich tot die van de weerradar op Borkum, vanuit het oogpunt van modelontwikkeling?** Dit wordt besproken in hoofdstuk 2 van dit rapport.
4. Hoe effectief is tijdelijke stilstand van windturbines om sterfte van nachtelijk trekkende zangvogels te reduceren? Deze resultaten zijn besproken in het rapport *Aanvaringslachtoffers Windpark Eemshaven najaar 2018 & voorjaar 2019* (Klop & Brenninkmeijer, 2020). Belangrijkste resultaat: Stilstand is zeer effectief. 10 windturbines zijn tijdens 10 nachten met verwachte hoge vogeltrek stil gezet. Onder deze 10 turbines is geen enkel slachtoffer gevonden terwijl onder de draaiende turbines tijdens diezelfde nachten bijna drie maal zoveel slachtoffers zijn gevonden als gemiddeld gevonden werden onder 10 turbines bij andere zoeknachten.
5. **Kunnen schattingen van de vogelsterfte, gebaseerd op slachtoffertellingen, gecorreleerd worden met de fluxmetingen van de 3D-vogelradar, al dan niet na toepassing van het aanvaringsmodel, en hoe kan de slachtofferdata gebruikt worden voor de ontwikkeling van het aanvaringsmodel?** Dit wordt besproken in de hoofdstukken 3 en 4 van dit rapport.
6. In hoeverre is de nachtelijke trek van zangvogels in de Eemshaven vergelijkbaar met die in andere delen van Nederland? Deze resultaten zijn besproken in het rapport *Prediction and measurement of high intensity bird migration using meteorological radar data in Eemshaven windpark* (Shinneman et al., 2020). Belangrijkste resultaat: Migratiepieken gemeten met verschillende weerradars in Nederland vallen grotendeels samen, vooral in het najaar. Dit bevestigt het principe van breedfronttrek. De intensiteit van nachtelijke zangvogeltrek langs de kust (Den Helder en Borkum) is vaak lager dan in het binnenland, vooral in het voorjaar van 2019 wanneer er vaak ook sprake is van trek op grote hoogte (~2000m).
7. **Wat is de beste strategie om de verschillende informatiebronnen te integreren voor de ontwikkeling van een voorspelmodel waarmee stilstand voor windturbines in de Eemshaven 48 uur van tevoren voorspeld kan worden?** Dit is besproken in figuur 1.1 en de toelichting daarbij en wordt verder besproken in hoofdstuk 6 van dit rapport.

## 2. Vergelijking radars

Voor het ontwikkelen van een voorspellend model is een lange tijdreeks van gegevens nodig met voldoende nachten met massale vogeltrek. In plaats van eerst een aantal jaren met een radar in de Eemshaven te meten om een dergelijke tijdreeks op te bouwen wordt de mogelijkheid onderzocht om gebruik te maken van bestaande metingen van weerradars. In dit rapport wordt de vergelijking gemaakt tussen metingen van MAX, die in het windpark heeft gemeten (details beschikbaar in Kleyheeg-Hartman & Potiek, 2020) en Borkum (details beschikbaar in Shinneman et al., 2020).

MAX is in staat om van alle vogels binnen zijn bereik het vliegpad in 3D te registreren. Iedere seconde maakt de radar een nieuw beeld van zijn omgeving. De radar is voorzien van automatische *tracking software*, waardoor automatisch vliegpaden van vogels worden gevormd. Het bereik van de radar voor kleine (zang)vogels betrof in de Eemshaven ongeveer drie km in het horizontale vlak en 400 m in de hoogte. Er is aangenomen dat tijdens de nachtelijke trek de trekdichtheid ruimtelijk homogeen verdeeld is. In de Eemshaven zijn echter veel metalen structuren aanwezig (gebouwen, opslagtanks, windturbines) die ervoor zorgen dat delen van het gebied voor de radar niet zichtbaar zijn. Daarom is voor het kwantificeren van tijdreeksen een denkbeeldige lijn van één kilometer lengte getrokken (NW-ZO), haaks op de overheersende trekrichting. Alleen de vliegpaden van vogels die deze lijn passeren en die zijn geclassificeerd als kleine vogels of *flocks*, zijn geselecteerd voor de analyses. Een flock ontstaat als vogels zo dicht bij elkaar vliegen dat ze niet meer afzonderlijk te onderscheiden zijn.

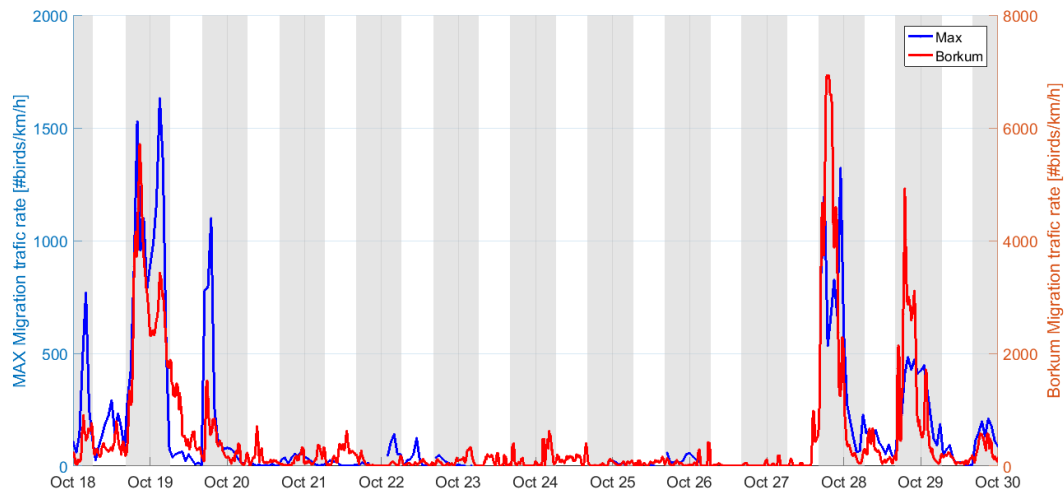
De weerradar in Borkum is een radar die onder een zekere hoek (naar boven) de omgeving scant in 360 stapjes van één graad. Vervolgens verandert de hoek naar boven en wordt opnieuw rondom gescand. Dit wordt voor zeven verschillende hoeken gedaan in vijf minuten. Vervolgens wordt weer een nieuwe set scans uitgevoerd. De radar ziet geen individuele objecten maar geeft de reflectie per volume. Deze reflectie wordt voor de nachttrek op grond van het gemiddelde reflectieoppervlak van een zangvogel omgerekend naar aantallen vogels. Uit de radar wordt informatie verkregen van het verticale profiel van vogeldichtheid (aantal per km<sup>3</sup>) en de gemiddelde vliegsnelheid en- richting van de vogels (Dokter et al., 2019). De radar meet zangvogels tot ongeveer 80 km afstand maar voor de analyses zijn afstanden van 5 tot 35 km gebruikt. Op lage hoogtes heeft de weerradar last van reflecties van golven (op zee), bomen, gebouwen en windturbines. Daarom zijn de metingen van 0-200m in dit onderzoek niet gebruikt.

Omdat de weerradar geen betrouwbare metingen geeft op rotorhoogte, is dus de belangrijkste vraag of er een goede relatie bestaat tussen de met MAX gemeten trekintensiteit op rotorhoogte en de trekintensiteit die op grotere hoogte met Borkum gemeten wordt. Of anders geformuleerd: als we de nachten met de hoogste trekintensiteit selecteren, komen we dan met Borkum op dezelfde nachten uit als met MAX?

Om deze vragen te beantwoorden zijn de trekintensiteiten zoals gemeten met MAX en met Borkum vergeleken. Uit de gegevens van de weerradar bleek dat er in het voorjaar vaak sprake was van trek op grote hoogte, tussen 1500-2500m boven zeeniveau (Shinnemann et al., 2020), zodat de waarde van het gehele profiel niet representatief is voor wat er op rotorhoogte door het windpark trekt. Daarom zijn voor het voorjaar uitsluitend de metingen van 200-600m hoogte gebruikt. In het najaar was er altijd sprake van een vogeltrekprofiel waarbij de dichtheid afneemt met de hoogte zodat het gehele profiel (200m en hoger) bij de berekeningen gebruikt kon worden.

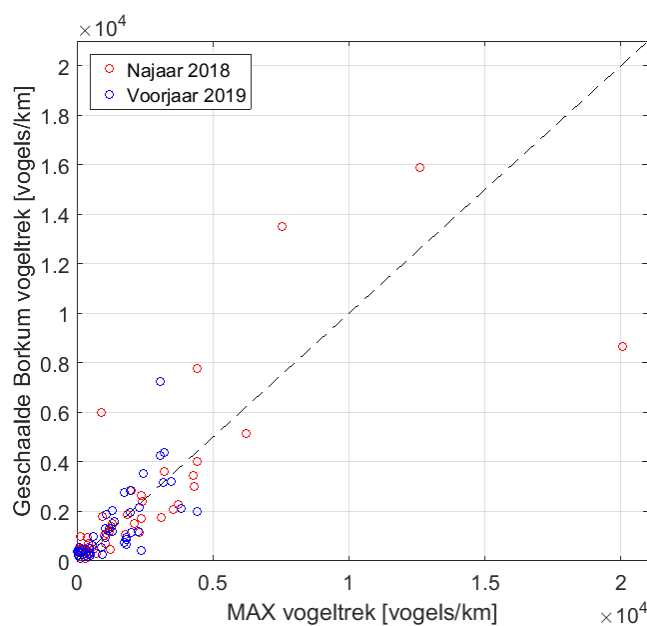


Aangezien de radars op zeer verschillende schaal en verschillende hoogte meten, zijn er wel discrepanties tussen de trekintensiteiten (figuur 3.1). De gemeten pieken vallen echter wel in dezelfde nachten en ook is duidelijk dat de vogeltrek direct na zonsondergang op gang komt en op de treknachten veel hoger is dan overdag.



*Figuur 2.1. De vogeltrekintensiteit [aantal vogels per km per uur] zoals gemeten met MAX op rotorhoogte (50-150m) en met Borkum op hoogte van 200-4000m. De nachten zijn grijs weergegeven.*

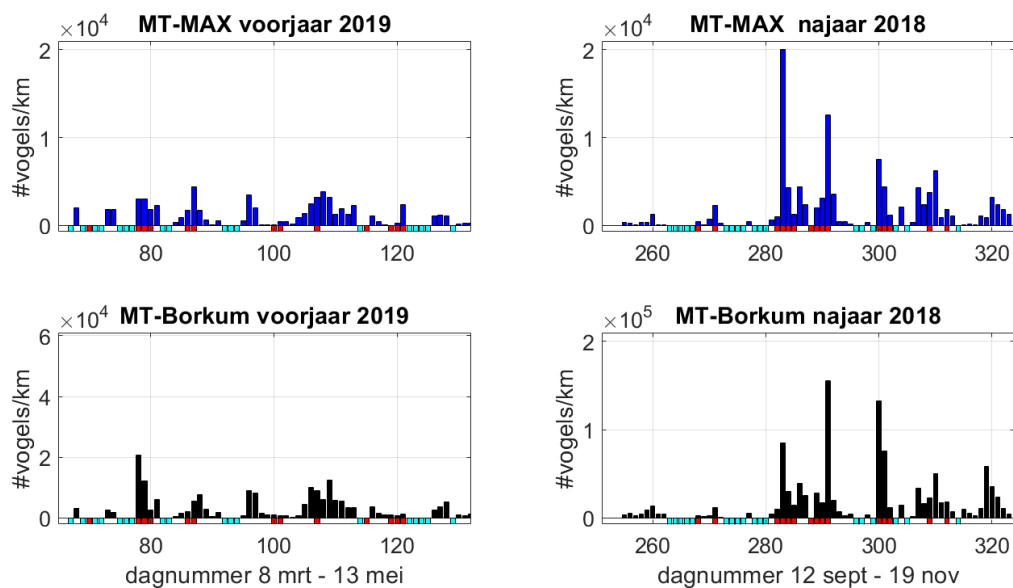
De kernvraag is of het mogelijk is op basis van gegevens van Borkum de nachten met de meest intensieve trek op rotorhoogte in de Eemshaven te selecteren. Alleen als dit kan, heeft het zin om een voorspellend model te ontwikkelen op basis van de gegevens van Borkum.



*Figuur 2.2. De relatie tussen de vogeltrek, gesommeerd over de nacht, gemeten met MAX op rotorhoogte en met Borkum, zo geschaald dat de trek van beide radars over het gehele seizoen gelijk is.*

In figuur 2.2 is de gemeten vogeltrek, gesommeerd over de nacht, van MAX op rotorhoogte uitgezet tegen de gemeten trek van Borkum. Omdat Borkum een ander deel van het hoogteprofiel meet, zijn de Borkum-waarden voor elk zo geschaald dat ze gemiddeld gezien gelijk zijn met MAX (najaar  $0.1022 \cdot \text{Borkum}$ , Voorjaar  $0.3508 \cdot \text{Borkum}$ ). Er zijn wel verschillen tussen de beide radars (bijvoorbeeld dag 283) omdat ze op zeer verschillende schaal meten en ook op verschillende hoogte.

In figuur 2.3 is te zien dat er grote overeenkomsten zijn in de tijdreeksen van de nachtelijke vogeltrek, gemeten met beide radars. De temporele patronen en de nachten met de hoogste vogeltrekintensiteit komen grotendeels overeen. In Hoofdstuk 6 zal besproken worden wat het effect is van de verschillen tussen beide radars voor het selecteren van de beste nachten voor het stilzetten van de turbines.



Figuur 2.3. De vergelijking van de nachtelijke trekintensiteit (het aantal vogels/km gesommeerd over de gehele nacht) gemeten met MAX en met Borkum. Boven is Max in blauw en onder Borkum in zwart weergegeven, voor voorjaar 2019 (links) en najaar 2018 (rechts). Let wel, de schaal op de y-as verschilt voor Borkum. Dagen weggelaten uit de analyse omdat één van beide radars (tijdelijk) geen betrouwbare informatie gaf, zijn weergegeven in cyaan. Dagen gebruikt voor de kalibratie van de uitwijkfactor uit het aanvaringsmodel (zie hoofdstuk 3) zijn rood weergegeven. Het dagnummer is de dag voorafgaand aan de treknacht.

### 3. Het aanvaringsmodel

Voor de berekening van de sterfte van vogels in (geplande) windparken op zee, wordt veelal gebruik gemaakt van het *collision risk model* van Band (2007, 2012). De toekomstige sterfte wordt dan berekend op basis van inschattingen van de flux op rotorhoogte en de weersomstandigheden (zoals windsnelheid) in het geplande windpark, ter toetsing aan de natuurwetgeving. In voorliggend rapport wordt een variant op het Band model gebruikt met als doel de metingen in de Eemshaven te integreren en beter te begrijpen. Op basis van de met MAX gemeten flux op rotorhoogte, simultaan gemeten windsnelheden (bij Lauwersoog) en specifieke eigenschappen van een windturbine, wordt de mortaliteit in de onderzoeksperiodes berekend en vergeleken met de in het veld waargenomen mortaliteit.

Het aanvaringsmodel dat in dit onderzoek is gebruikt, is gebaseerd op het Band-model. Het bestaat

uit drie delen:

- een deel dat gebruikt wordt om een schatting te maken van de migratieflux van vogels die door de rotor vliegen, gesommeerd over de gehele nacht ( $MT_R$ ),
- een deel dat de kans  $P$  berekent dat een vogel, die door de rotor vliegt, geraakt wordt door een draaiende wijk, als de vogel niet uitwijkt voor de windturbine
- een deel dat het uitwijkgedrag van de vogels beschrijft ( $Av$ ).

### Box 2: Het aanvaringsmodel

De mortaliteit per turbine wordt dan berekend als het produkt van deze drie termen:

$$M = MT_R * P * (1-U) \quad (v.1)$$

waarbij

- $M$  Mortaliteit, uitgedrukt in aantal dode vogels per windturbine per nacht  
 $MT_R$  Migration Trafic (flux door de rotor), uitgedrukt in het aantal vogels dat in een nacht door de rotor van een windturbine vliegt.  
 $P$  de gemiddelde kans dat een vogel, die door de turbine vliegt, door de wieken geraakt wordt  
 $U$  de uitwijkfactor "avoidance parameter", die aangeeft welk deel van de vogels, dat theoretisch geraakt zou worden, toch uitwijkt voor de wieken

### Migratieflux door de rotor

Voor de flux door de rotor is gebruik gemaakt van de trekintensiteit die met MAX gemeten is op rotorhoogte ( $MT_{MR}$ ), uitgedrukt in het aantal vogels dat in een nacht een denkbeeldige lijn van 1 km, loodrecht op de trekrichting, passeert op een hoogte tussen 50 en 150 m. Het aantal vogels door dat oppervlak van  $1.0 \cdot 10^5 \text{ m}^2$  wordt omgerekend naar het aantal vogels dat door de rotor van een turbine vliegt:

$$MT_R = MT_{MR} * \pi R^2 / 10^5 \quad (v.2)$$

waarbij  $R$  de straal van de rotor is. Voor de Eemshaven is als voorbeeld gekozen voor een moderne turbine, de Lagerweij L136-4.5 MW van Growind met  $R=68\text{m}$ . De met MAX gemeten trek op rotorhoogte is hiermee omgerekend naar de trek door het rotoroppervlak.

### Kans voor een vogel om geraakt te worden

De berekening van de kans dat een vogel geraakt wordt, de aanvarings, is uitvoerig beschreven door Band (2007). De kans dat een vogel geraakt wordt op afstand  $r$  van het hart van de rotor, kan worden berekend als:

$$p(r) = \left( \frac{b\Omega}{2\pi v} \right) [ | \pm c \sin \gamma + \alpha \cos \gamma | + A ] \quad (v.3)$$

waarbij

- $p(r)$  aanvaringskans op een afstand  $r$  van het hart van de rotor  
 $b$  aantal wieken  
 $\Omega$  rotatiesnelheid [radialen/sec], in dit onderzoek als functie van de windsnelheid  
 $v$  snelheid van de vogels [m/sec], in dit onderzoek gemeten met MAX  
 $c$  breedte van de wieken [m], als functie van  $r$   
 $\pm$  het "-" teken wordt gebruikt bij rugwind, het "+" teken bij tegenwind  
 $\gamma$  pitch, de hoek tussen het turbineblad en het rotoroppervlak, in dit onderzoek als functie van de windsnelheid  
 $\alpha$   $v/r\Omega$   
 $A$   $A = L$  indien  $\alpha < \beta$ , waarbij  $\beta = L/w$ ,  $L$  de lengte van de vogel en  $w$  de vleugelwijdte  
 $A = w\alpha$  als  $\alpha > \beta$

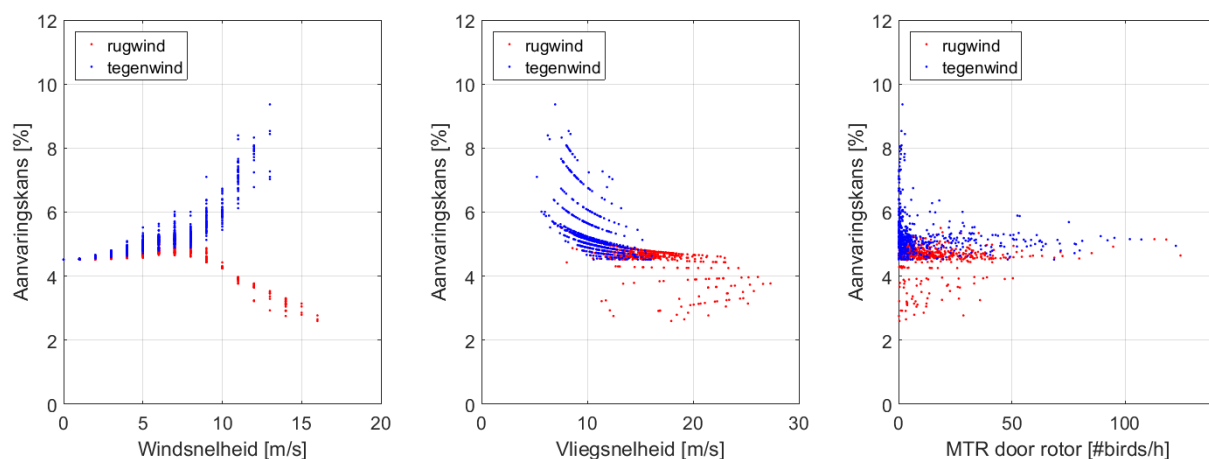
Zodat de totale aanvaringskans voor een vogel door de rotor bedraagt:

$$P = 2 \int p(r) \frac{r}{R} d(r/R) \quad (v.4)$$

Bij toetsing van de effecten van geplande windparken wordt deze formule van Band ingevuld met gemiddelde (geschatte) waarden voor rotatiesnelheid, pitch, windsnelheid, en vliegsnelheid. In het onderzoeks-model zijn deze variabelen echter dynamisch gebruikt als uurwaarden en zo veel mogelijk gebaseerd op gemeten waarden in de (omgeving van de) Eemshaven. Verder is gebruik gemaakt van de karakteristieken van de L136 turbine die beschikbaar zijn gesteld door Lagerweij (persoonlijke communicatie), zoals hubhoogte (132m), wieklengte (68m), maximale wiekbreedte (4,5 m), en tabellen van de rotatiesnelheid en de pitch (de hoek tussen het blad en de roterschijf), beide als functie van de windsnelheid. In overleg met de eigenaars van het windpark is tot deze turbine besloten omdat dit een moderne windturbine is die model kan staan voor de turbines die in de toekomst geplaatst kunnen worden.

Voor de windsnelheid is gebruik gemaakt van metingen (gemiddelde waarden per uur) van het KNMI-station in Lauwersoog. Aangezien deze windsnelheid op 2m hoogte gemeten wordt en de snelheid met de hoogte sterk toeneemt, zijn deze waarden met 2 m/s verhoogd om representatief te zijn voor de rotorhoogte. Verder is voor elk uur de met MAX gemeten vliegsnelheid van vogels gebruikt en zijn de berekeningen uitgevoerd met de karakteristieken van een veel voorkomende nachtelijke trekvogel die ook als slachtoffer gevonden is: de zanglijster met een lengte van 23 cm en een vleugelwijdte van 34,5cm (Cramp & Brooks, 1992).

De berekende aanvaringskans ( $P$ ), de kans dat een vogel geraakt wordt door een wiek, is afhankelijk van veel factoren (zie Box1). Deels zijn deze factoren afhankelijk van de windsnelheid (pitch, rotatiesnelheid) en deels zijn deze factoren rechtstreeks gemeten met MAX (vliegsnelheid en -richting van de vogel). In figuur 3.1 is de aanvaringskans weergegeven, uitgesplitst naar situaties met rugwind of tegenwind en uitgezet tegen windsnelheid, vliegsnelheid en de migratieflux door de rotor. Aanvaringskansen variëren van 2,5% tot ruim 10% en blijken duidelijk gerelateerd aan de windsnelheid, en daarmee samenhangend de vliegsnelheid. De verschillen zijn vooral groot bij hoge windsnelheid. Bij de vogeltrekpieken (de hoge waarden van MTR) blijkt echter dat de aanvaringskans altijd rond de 5% ligt omdat op die momenten de windsnelheden relatief laag zijn.



*Figuur 3.1. Uurlijkse waarden (bijna 1600) van de berekende aanvaringskans van een zanglijster, hier weergegeven met rugwind (rood) en tegenwind (blauw) bij verschillende gemeten waarden van windsnelheid, vliegsnelheid en migratieflux (MTR) door de rotor.*

## Uitwijkgedrag

Het uitwijkgedrag wordt in het algemeen opgedeeld in uitwijking op macro-schaal, de vogel wijkt uit voor het windpark; uitwijking op meso schaal, de vogel wijkt uit voor de turbine; uitwijking op micro-schaal, de vogel wijkt uit voor een wiek. Macro-schaal uitwijking is in dit onderzoek niet van invloed omdat de metingen met MAX in het windpark zijn uitgevoerd. Er is niet veel systematisch onderzoek naar uitwijkgedrag van zangvogels gedaan dat tot duidelijke conclusies heeft geleid. Dit is ook lastig omdat uitwijkgedrag soort-specifiek zou kunnen zijn en omdat het mogelijk afhankelijk is van het landschap en van omgevingscondities (Kleyheeg-Hartman et al., 2018 en hoofdstuk 5).

In dit onderzoek wordt de uitwijkfactor van het aanvaringsmodel (de factor U uit de vergelijking V1) als kalibratiefactor berekend door de mortaliteitsformule (v.1) om te schrijven in:

$$U = 1 - M / ( MT_R * P) \quad (v.5)$$

De mortaliteit van het aanvaringsmodel (M) wordt dan gelijk gesteld aan de mortaliteit resulterend uit het slachtofferonderzoek (Klop & Brenninkmeijer, 2020).  $MT_R$  is weer de gemeten flux door de rotor rotor en P de eerder besproken kans om geraakt te worden . Hiervoor zijn voor het najaar 2018 15 nachten gebruikt met een mortaliteit van 93 slachtoffers, geschat voor 223,3 turbinenachten (= "turbines per nacht", gesommeerd over het aantal nachten). Voor dezelfde turbinenachten is het product  $MT_R * P$  berekend, met 5252 vogels als gevolg voor het najaar 2018. De uitwijkfactor bedraagt dan  $(1-93/5252)=0,982$  voor het najaar 2018. Wanneer deze berekening herhaald wordt voor het voorjaar 2019, blijkt de uitwijkfactor  $(1-113/4798)=0,9765$ . Dit betekent dus dat meer dan 95% van de nachtelijk trekkende zangvogels die op koers lagen om door een rotor heen te vliegen, uiteindelijk uit zijn geweken voor de windturbines of de individuele wieken.

Stel dat er met MAX in één nacht 10.000 vogels per km over een hoogteband van 50-150 m worden gemeten en de aanvaringskans  $P=0.045$  is, en de uitwijking  $U=0.98$ , dan vliegen in één nacht ruwweg

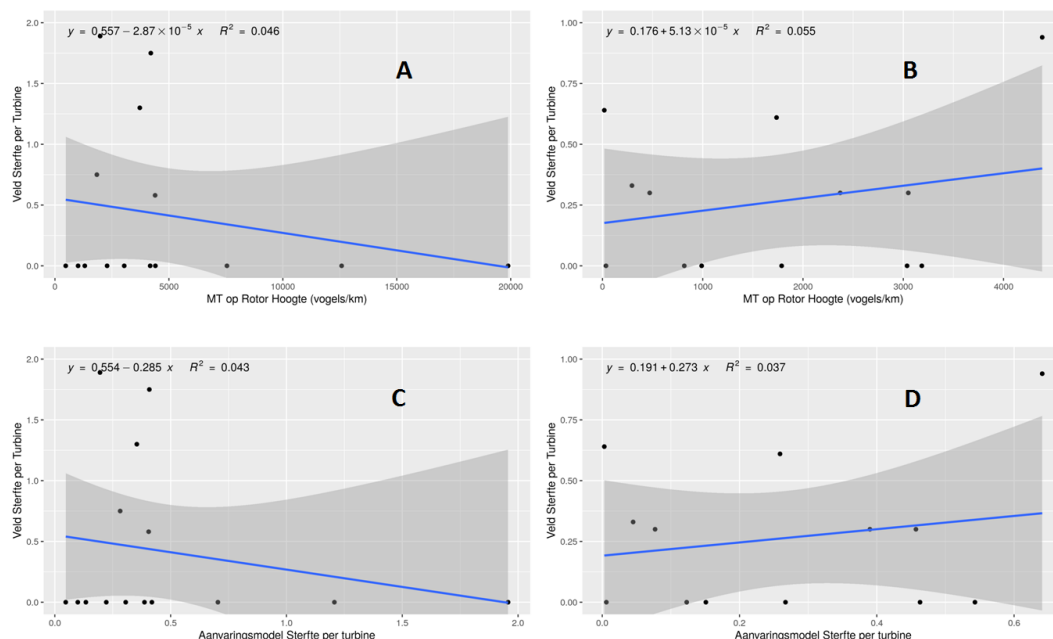
$10.000 * \pi * 68^2 / 10^5 \sim 1450$  vogels door één rotor en worden er  $1450 * 0,045 * (1-0,98) = 1,3$  dode vogels per windturbine voor die nacht berekend.

Tot nu toe betreffen de best gedocumenteerde waarden voor uitwijkgedrag diverse meeuwsoorten, stern en grote watervogels (Cook et al., 2018; Chamberlain et al., 2006; Everaert, 2014). Zeker voor zangvogels (Winkelman 1992) is er weinig bekend en zijn getallen slecht te vergelijken omdat ze verschillend gedefinieerd zijn en onbetrouwbaar omdat ze soms op zeer kleine aantallen gebaseerd zijn. In de literatuur zijn uitwijkfactoren gepubliceerd van 0.95-0.998 voor zeevogels. Winkelman (1992) berekende een aanvaringspercentage van 0.18% voor nachtelijke zangvogeltrek, te vergelijken met ons rekenvoorbeeld  $1,3/1450 * 100 = 0.09\%$ . De hier gepresenteerde waarden vallen dus binnen deze marges. De L136 turbine die gebruikt is voor de berekeningen met het aanvaringsmodel is niet geheel representatief voor de windturbines die op dit moment in de Eemshaven in gebruik zijn. De rotors van de huidige windturbines zijn iets kleiner waardoor de bij de kalibratie berekende uitwijkfactor wat lager zou uitvallen. Deze verschillen beïnvloeden echter niet de conclusie met betrekking tot de haalbaarheid een voorspelmodel te ontwikkelen voor stilstand in de Eemshaven.

#### 4. Vergelijking sterfte

Een logische verwachting is dat er een lineaire relatie bestaat tussen de migratieintensiteit en de mortaliteit (hoe meer trek hoe meer doden) met daar bovenop een spreidingscomponent die te maken heeft met specifieke omstandigheden die een hogere of lagere sterfte kunnen veroorzaken (zie hoofdstuk 5). Daarom zijn voor 15 nachten in najaar 2018 en 13 nachten in voorjaar 2019 de migratieflux en de berekeningen van het Band-model vergeleken met het aantal gevonden slachtoffers (figuur 4.1). Alleen de nachten met een betrouwbare schatting van trekintensiteit op rotorhoogte zijn in deze vergelijking betrokken. Voor deze nachten zijn voorafgaand aan de treknacht onder de turbines alle oude slachtoffers verwijderd en zijn na de treknacht de nieuwe slachtoffers geteld. In het najaar werden gemiddeld 14.9 en in het najaar 33 turbines afgezocht met gemiddeld 1 ha zoekgebied per turbine (Klop & Brenninkmeijer, 2020).

Er is geen duidelijke relatie gevonden met de fluxmetingen of met de resultaten van het Band-model. De verklaring hiervoor is gelegen in het feit dat er na veel nachten geen slachtoffers zijn gevonden. Vooral in het najaar van 2018 was het zoekgebied heel klein. Minder dan 3% van het relevante oppervlak werd afgezocht omdat er slechts toegang was tot 22 turbines en er bovendien turbines waren uitgesloten vanwege het stilstandexperiment. In het voorjaar was dit gunstiger (6,6% van het relevante oppervlak, onder 33 turbines), maar ook dan is het aantal vogels dat gevonden wordt zo klein dat het "toevallig" vinden van één vogel meer of minder een groot effect heeft op de statistiek. In het onderzoek in de Eemshaven zijn na nachten met intensieve vogeltrek op rotorhoogte niet altijd slachtoffers gevonden en andersom zijn na een aantal nachten met weinig vogeltrek wel slachtoffers gevonden. Gemiddelden of totalen over het seizoen zijn wel betrouwbaar maar om getallen voor een afzonderlijke nacht te kunnen interpreteren en verschillen in uitwijkgedragte kunnen bestuderen, is het noodzakelijk dat de betrouwbaarheid van de metingen toeneemt.



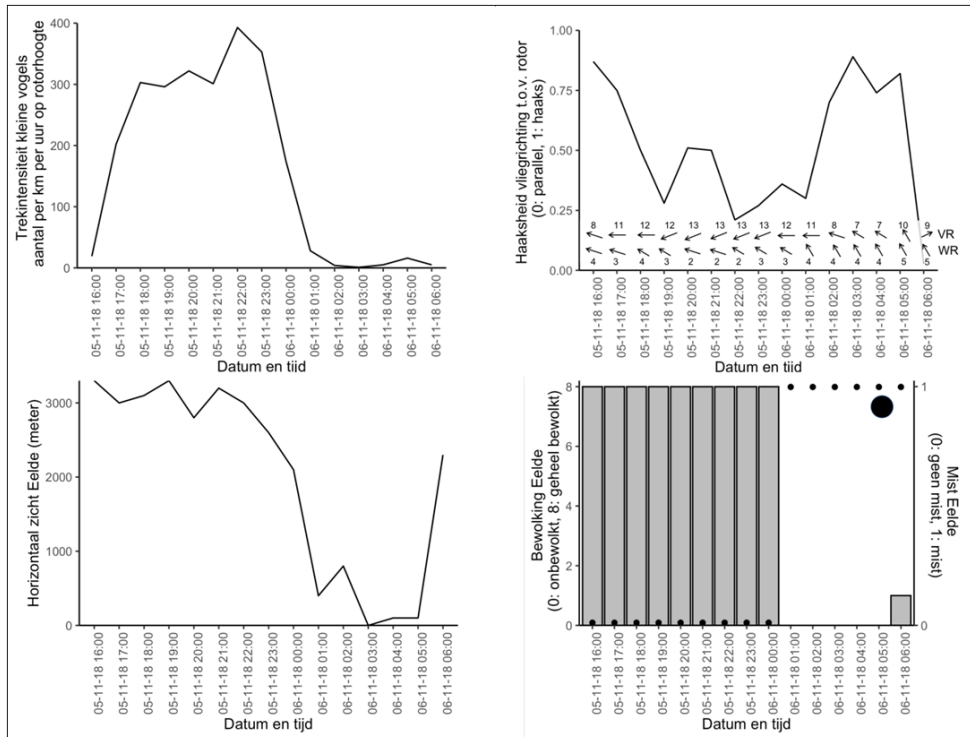
Figuur 4.1. De in het veld waargenomen gemiddelde mortaliteit per turbine per nacht (na correctie) als functie van de met MAX gemeten vogeltrekintensiteit op rotorhoogte, gesommeerd over de gehele nacht (A najaar 2018; B voorjaar 2019) en als functie van de mortaliteit zoals berekend met het gekalibreerde aanvaringsmodel (C najaar 2018; D voorjaar 2019).

## 5. Treknachten uitgelicht

In hoofdstuk 4 is de sterfte, zoals geconstateerd in het veld, vergeleken met de sterfte die berekend is met het aanvaringsmodel. De model-berekening is gebaseerd op de met MAX gemeten flux op rotorhoogte, de karakteristieken (afhankelijk van windsnelheid) van de Lagerweij 136 windturbine, de rotatiesnelheid van de wieken en het formaat, de vliegsnelheid en de vliegrichting van een zanglijster (representatief voor nachtelijk trekkende zangvogels). Uit de directe vergelijking van het berekende met het (gecorrigeerde) gevonden aantal slachtoffers blijkt geen duidelijke relatie (figuur 4.1). Een deel van de verklaring hiervoor is dat, zeker wanneer het kleine vogelsoorten zoals zangvogels betreft, de resultaten van slachtofferonderzoeken grote onzekerheidsmarges kennen (zie hoofdstuk 4 en Klop & Brenninkmeijer, 2020). Een andere mogelijke verklaring is dat in het aanvaringsmodel een constante factor is gebruikt voor de uitwijking van de vogels voor de windturbines. Deze uitwijking heeft een grote invloed op het uiteindelijke aantal slachtoffers (zie hoofdstuk 3). Lokale factoren die het zicht beïnvloeden, zoals bijvoorbeeld regen, mist en maanlicht zouden van invloed kunnen zijn op de mate waarin vogels uitwijken. Mogelijk is ook windsnelheid en -richting van invloed en zou het uitwijkgedrag per vogelsoort kunnen verschillen. Ondanks de grote meetinspanningen die in dit onderzoek geleverd zijn met het radar- en slachtofferonderzoek, kunnen er geen conclusies getrokken worden over de vraag of er lokale factoren zijn, die het uitwijkgedrag van zangvogels beïnvloeden en daardoor aanvaringsrisico's mede bepalen. De onzekerheidsmarge van de slachtoffertellingen is te groot en het aantal nachten, waarvoor bekend is hoeveel vogels er in die nacht zijn omgekomen, is te beperkt om deze verfijning van uitwijking in het aanvaringsmodel in te bouwen omdat hiervoor de getallen voor elke individuele nacht betrouwbaar zouden moeten zijn. Om te illustreren hoe complex het systeem kan zijn, worden hier twee nachten nader besproken.

De eerste nacht is die van 5 op 6 november 2018. Na deze nacht zijn ondanks matige trekintensiteit op rotorhoogte twee dode goudhaantjes aangetroffen. In deze nacht was de helft van de onderzochte turbines stilgezet, dus is er onder 'slechts' 12 draaiende windturbines gezocht (waarvan één windturbine de helft van de nacht stilstond). Na correctie voor doorzoekbaar oppervlak, predatiesnelheid en vindkans leiden deze twee vondsten na correcties tot een schatting van 15 dode vogels en een berekende mortaliteit van 1,3 nachttrekkende zangvogels per turbine in deze nacht (Klop & Brenninkmeijer, 2020), de op twee na hoogste mortaliteit in de meetperiode.

In de nacht van 5 op 6 november was de trekintensiteit relatief laag, met maximaal 400 kleine vogels per km per uur op rotorhoogte (figuur 5.1). De gemiddelde vliegrichting van de vogels ten opzichte van de oriëntatie van de rotoren van de windturbines varieerde door de nacht, met een meer haakse oriëntatie van de rotoren op de vliegrichting aan het begin en het einde van de nacht. Het zicht was gedurende de gehele nacht relatief beperkt en tussen 01:00 en 05:00 (UTC) ronduit slecht. Deze periode van slecht zicht werd veroorzaakt door de aanwezigheid van (dichte) mist. In deze periode was de trekintensiteit echter ook zeer laag. Er was deze nacht nauwelijks maan en er was veel bewolking, waardoor het donker was. In de Eemshaven is echter sprake van veel achtergrondverlichting, waardoor het zeer de vraag is of maanlicht en de mate van bewolking in de Eemshaven van invloed zijn op de mate waarin vogels windturbines kunnen zien.



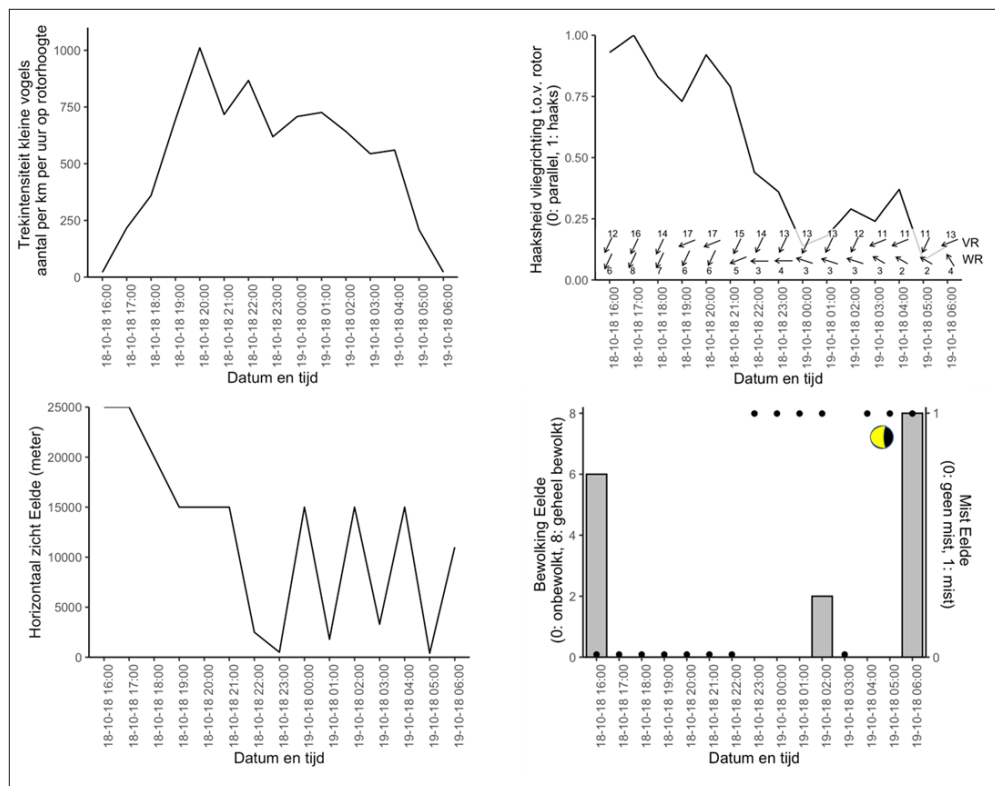
Figuur 5.1. Lokale omstandigheden tijdens de nacht van 5 op 6 november 2018. Tijden zijn gegeven in UTC. Linksboven is het verloop van trekintensiteit van kleine vogels op rotorhoogte over de nacht weergegeven. Rechtsboven zijn vliegrichting en rotor-oriëntatie met elkaar vergeleken. Pijlen geven vliegrichting (VR) en windrichting (WR, waar de wind naartoe waait) weer, met in getallen de vlieg- en windsnelheid in m/s. Rotor-oriëntatie is afhankelijk van windrichting. Bij wind tegen of wind in de rug vliegen vogels haaks op windturbines af, bij zijwind vliegen ze parallel aan de rotoren. Linksonder is het verloop van het gemeten horizontale zicht in Eelde weergegeven. Rechtsonder is als staafdiagram de bewolking in Eelde weergegeven, als punten de aanwezigheid van mist, en de maanstand is weergegeven met de ingekleurde cirkel (voor deze nacht slechts 3% maan).

De tweede nacht is die van 18 op 19 oktober 2018. Tijdens deze nacht was sprake van een intensieve vogeltrek op rotorhoogte, maar er zijn op 19 oktober geen slachtoffers van nachtelijk trekkende zangvogels gevonden (onder 12 draaiende windturbines). De gemiddelde vliegrichting was in het begin van de nacht vrijwel haaks op de oriëntatie van de rotoren, doordat de vogels wind in de rug hadden (figuur 5.2). Door het draaien van met name de windrichting in de loop van de nacht verliep de trek vanaf 22:00 UTC relatief parallel aan de rotoren van Windpark Eemshaven. Aan het begin van de nacht was het horizontale zicht zeer goed. Tussen 22:00 en 06:00 UTC was er (in Eelde) echter sprake van perioden met zeer slecht horizontaal zicht als gevolg van de aanwezigheid van mist. De maan was voor 75% aan de hemel aanwezig en er was tijdens de meeste uren sprake van weinig bewolking, dus het betrof geen donkere nacht.

De beschrijving van deze nachten geeft aan hoe complex een systeem kan zijn waarbij er zich verschillende omstandigheden kunnen voordoen die van invloed kunnen zijn op het aantal slachtoffers. Omstandigheden zijn niet noodzakelijkerwijs constant maar kunnen gedurende de nacht veranderen. Omdat het slachtofferonderzoek alleen aangeeft hoeveel vogels er in de loop van de



nacht zijn verongelukt, maar niet op welk moment in de nacht, zal het ook in eventueel vervolgonderzoek zeer moeilijk blijven om het aantal slachtoffers direct te relateren aan de wisselende omstandigheden.



Figuur 5.2 . Lokale omstandigheden tijdens de nacht van 18 op 19 oktober 2018. Tijden zijn gegeven in UTC. Linksboven is het verloop van trekintensiteit van kleine vogels op rotorhoogte over de nacht weergegeven. Rechtsboven zijn vliegrichting en rotor-oriëntatie met elkaar vergeleken. Pijlen geven vliegrichting (VR) en windrichting (WR, waar de wind naartoe waait) weer, met in getallen de vlieg- en windsnelheid in m/s. Rotor-oriëntatie is afhankelijk van windrichting. Bij wind tegen of wind in de rug vliegen vogels haaks op windturbines af, bij zijwind vliegen ze parallel aan de rotoren. Linksonder is het verloop van het gemeten horizontale zicht in Eelde weergegeven. Rechtsonder is als staafdiagram de bewolking in Eelde weergegeven, als punten de aanwezigheid van mist, en de maanstand is weergegeven met de ingekleurde cirkel (voor deze nacht 75% maan).

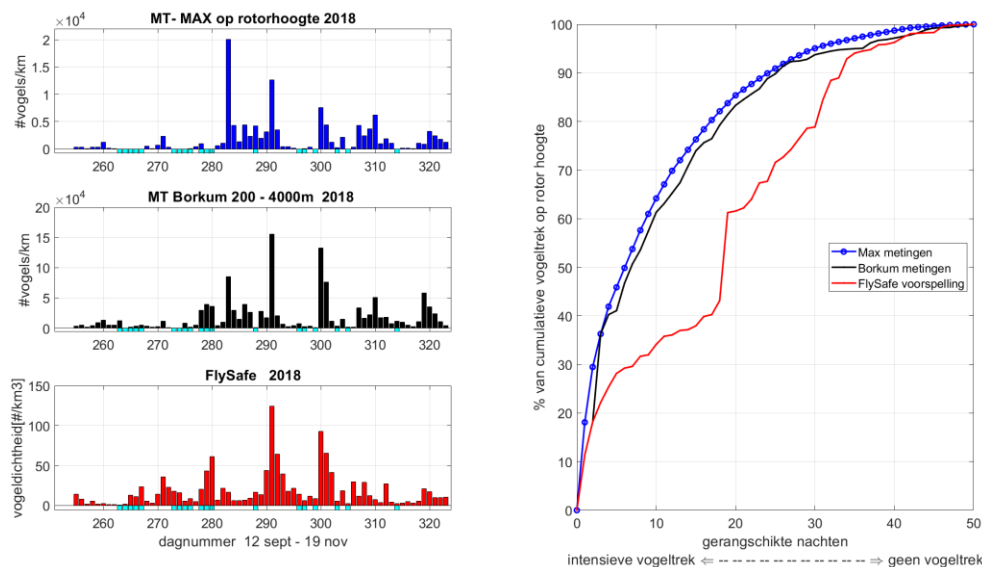
## 6. Stilstand vanuit verschillend perspectief

Het stilstandonderzoek (Klop & Brenninkmeijer, 2020) heeft aangetoond dat het stilzetten van de windturbines een effectieve methode is om vogelslachtoffers te voorkomen. Onder 10 turbines, die gedurende 10 nachten met relatief intensieve vogeltrek zijn stilgezet, is geen enkel slachtoffer gevonden terwijl onder de draaiende turbines tijdens diezelfde nachten bijna drie maal zoveel slachtoffers zijn gevonden als gemiddeld voor alle nachten.

Om de windturbines in de Eemshaven stil te zetten is het volgens netbeheerder TenneT noodzakelijk om 2 dagen vooraf al aan te kunnen geven dat er massale trek verwacht wordt. Om een voorspellend model voor vogeltrek te ontwikkelen is een dataset van een aantal jaren nodig. Deze dataset meten

met MAX in het windpark zou jaren duren en hoge kosten met zich meebrengen. In dit hoofdstuk wordt besproken of het mogelijk is om een voorspelmodel te ontwikkelen op basis van historische metingen van weerradars in de buurt van het windpark (Borkum, Emden).

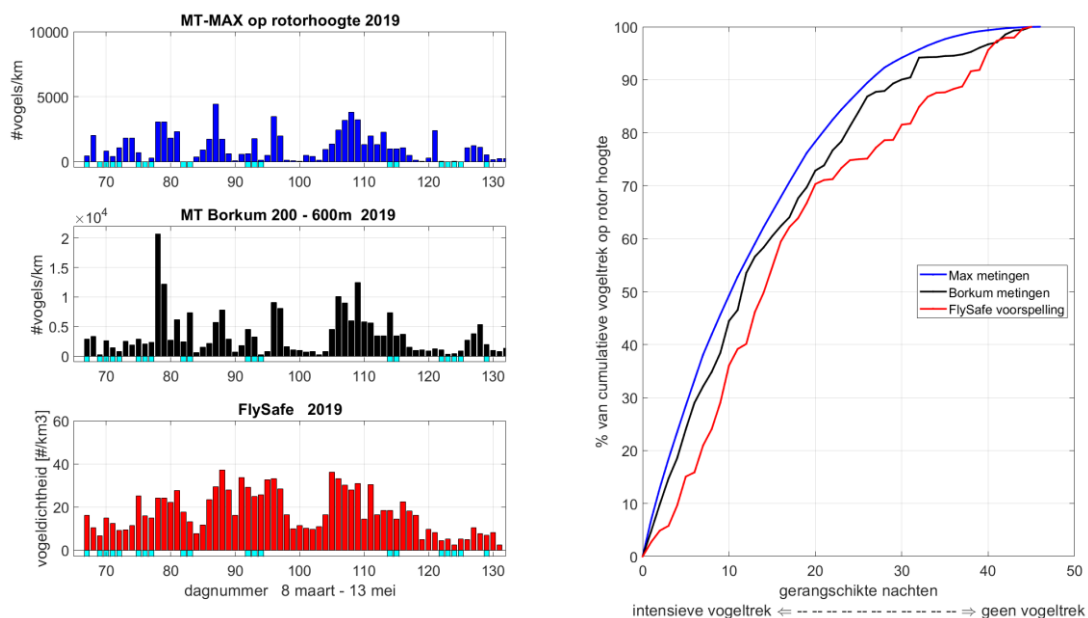
In hoofdstuk 2 zijn de metingen van beide radars al met elkaar vergeleken. Hier wordt beoordeeld of het iets uitmaakt of de nachten met meest intensieve trek geselecteerd worden op basis van MAX metingen of op basis van Borkum metingen. De MAX vogeltrek wordt in deze vergelijking als "de waarheid" beschouwd omdat MAX in het windpark op rotorhoogte gemeten heeft. In Figuur 6.1 is de vogeltrek voor najaar 2018, gesommeerd per nacht, weergegeven voor MAX en Borkum. Ter vergelijking is hier ook de gemiddelde dichtheid van vogeltrek, zoals voorspeld met het model van de luchtmacht (van Belle, et al., 2007), weergegeven. Vervolgens zijn in figuur 6.1.D de nachten op de x-as zo gerangschikt dat de meest intensieve trek aan de linker kant te zien is en de minst intensieve rechts. Op de y-as is de vogeltrek cumulatief uitgezet als percentage van de trek over de gehele meetseizoen. De blauwe lijn is gebaseerd op de MAX metingen. Hieruit is te zien dat na één nacht met de meest intensieve trek al 19% van de seizoenstrek is overgekomen, en na 12 nachten 70% van de seizoenstrek. Om te beoordelen of Borkum gebruikt kan worden voor het selecteren van de nachten met de meest intensieve trek op rotorhoogte, zijn de nachten ook op basis van de metingen van Borkum gerangschikt (opnieuw meest intensieve links op de x-as). Op de verticale as is weer de "werkelijke" vogeltrek cumulatief uitgezet (zwarte lijn). Omdat MAX de werkelijkheid het dichtst benadert, zijn hierbij weer de intensiteiten van MAX gebruikt. Als voorbeeld: De meest intensieve trek van Borkum is gemeten tijdens nacht 290, de werkelijke trek was toen 12600 vogels (zie MT-MAX), hetgeen ruim 11% is van de seizoenstrek. Voor de rode lijn zijn de nachten gerangschikt op basis van de voorspellingen met het luchtmachtmodel.



Figuur 6.1. Vogeltrek zoals gemeten met MAX (A), met Borkum(B) en de gemiddelde vogeltrek-dichtheid zoals voorspeld met het model van de luchtmacht(C), (van Belle et al., 2007). De rechter figuur (D) geeft de cumulatieve vogeltrek, als percentage van het gehele meetseizoen, weer voor nachten die zijn gerangschikt op grond van MAX metingen (blauw), Borkum metingen (zwart) en de dichtheid van vogeltrek zoals voorspeld met het luchtmachtmodel.

De conclusie is dat de metingen van Borkum geschikt zijn om nachten te rangschikken op basis van vogeltrekintensiteit, want wanneer we opnieuw 12 nachten selecteren dan betreft dit nu 65% in plaats van 70% van de vogeltrek, slechts een klein verschil. Het model van de luchtmacht blijkt echter ongeschikt voor het rangschikken van de nachten, vooral omdat voor nacht 282 maar een lage dichtheid voorspeld is. Dit komt omdat dit model ontwikkeld is voor heel Nederland (en dus niet voor het gebied van Eemshaven) en omdat het vooral bedoeld is voor hoge luchtlagen en niet voor rotorhoogte.

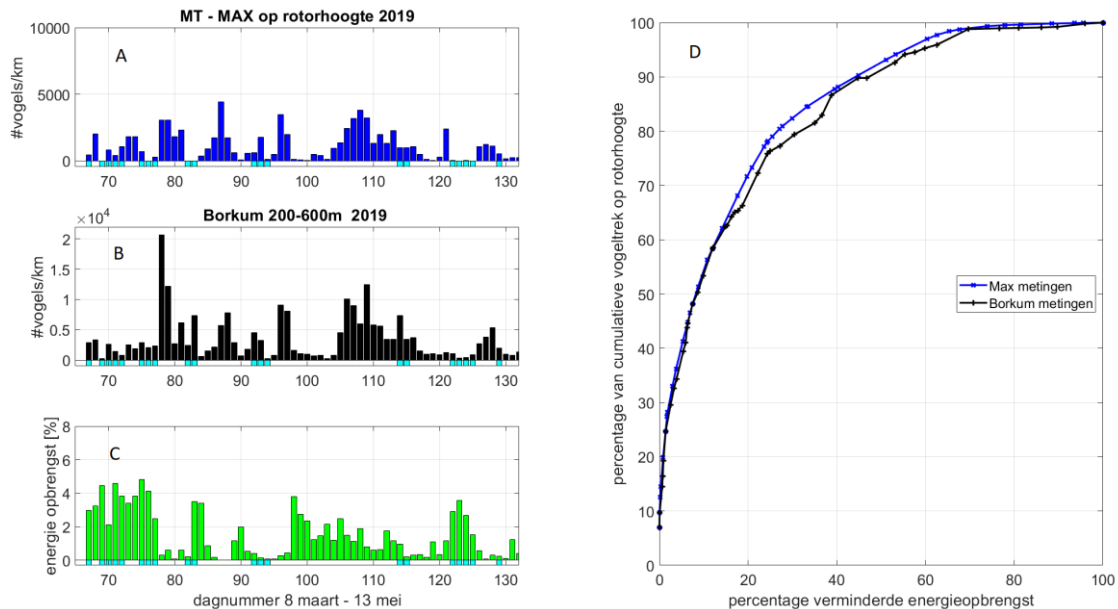
Dezelfde berekeningen zijn gedaan voor voorjaar 2019 (figuur 6.2). Het is duidelijk de verschillen zijn tussen de rangschikking van MAX en die van Borkum iets groter zijn zodat de blauwe en de zwarte lijn iets verder uit elkaar liggen, maar nog steeds is de overeenkomst groot. De rangschikking van nachten op basis van het luchtmachtmodel is beter dan in het najaar. Dat komt onder andere doordat de trekpieken minder extreem zijn dan in het najaar, en het effect van een verkeerde rangschikking daardoor minder groot.



Figuur 6.2. Vogeltrek zoals gemeten met MAX (A), met Borkum(B) en de gemiddelde vogeltrek dichtheid zoals voorspeld met het model van de luchtmacht(C), (van Belle et al., 2007). De rechter figuur (D) geeft de cumulatieve vogeltrek, als percentage van het gehele meetseizoen, weer voor nachten die zijn gerangschikt op grond van MAX metingen (blauw), Borkum metingen (zwart) en de dichtheid van vogeltrek zoals voorspeld met het luchtmachtmodel.

In figuren 6.1 en 6.2 is de rangschikking gedaan op basis van de vogeltrekintensiteit. Het idee hierachter is dat de figuur aangeeft welk percentage van de seizoenstrek ongehinderd door het windpark kan vliegen als de turbines een aantal nachten worden stilgezet. Omgekeerd kan de figuur gebruikt worden om het aantal nachten vast te stellen waarbij het park zou moeten worden stilgezet om een zeker percentage van de trek zonder risico van aanvaringen te laten passeren. In najaar 2018 zijn dit dus bijvoorbeeld 12 nachten om 70% van de trekvogels te laten passeren (figuur 6.1)

Het is echter ook mogelijk om een ander criterium te gebruiken om de rangschikking van nachten te bepalen, bijvoorbeeld door de afname van de energieopbrengst als gevolg van stilzetten in de rangschikking te betrekken. Zo is het mogelijk om het aantal vogelslachtoffers te minimaliseren en de energieopbrengst te maximaliseren door de nachten te rangschikken met hoogste waarden voor de breuk vogeltrekintensiteit/energieopbrengst (V/E) links en de laagste waarde rechts te zetten. Op de x-as is nu het percentage van de verminderde energieopbrengst uitgezet (figuur 6.3).

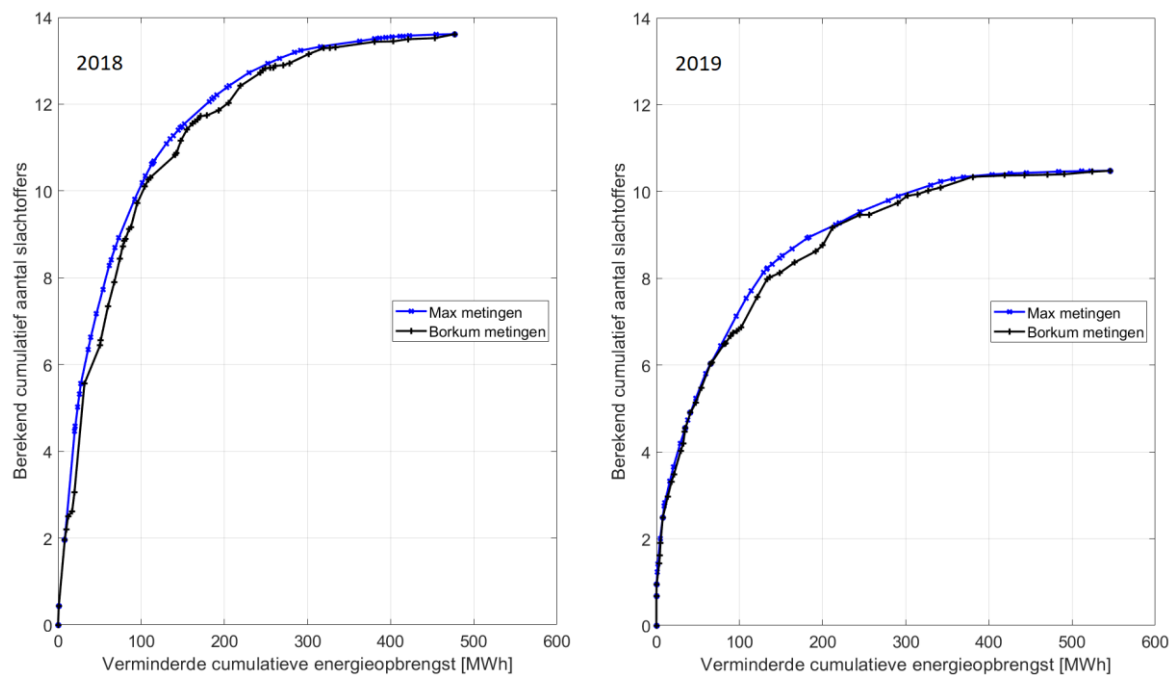


Figuur 6.3. Vogeltrek zoals gemeten met MAX (A) en met Borkum (B) en de energieopbrengst per nacht berekend voor de L136 windturbine als percentage van de gehele meetperiode (C). De rechter figuur (D) geeft de cumulatieve vogeltrek, als percentage van het gehele meetseizoen, nu uitgezet tegen het percentage van de cumulatieve energieopbrengst voor nachten die zijn gerangschikt op grond van de breuk vogeltrekintensiteit / energieopbrengst (V/E) voor van MAX metingen (blauw), Borkum metingen (zwart).

We zien nu dat de figuur steiler loopt omdat hoge waarden van vogeltrekintensiteit vooral voorkomen bij lage windsnelheid en de energieopbrengst dan dus ook relatief laag is. Bij dit criterium is het aantal nachten waarbij het park zou moeten worden stilgezet om een zeker percentage van de trek zonder risico van aanvaringen te laten passeren weliswaar hoger maar is het verlies aan energieopbrengst lager dan wanneer uitsluitend vogeltrekintensiteit in de rangschikking wordt betrokken. Ook kan het eventueel "efficient" om turbines niet de gehele nacht stil te zetten maar pas een uur na zonsondergang omdat de vogeltrek na zonsondergang eerst nog op gang moet komen.

In de figuren 6.1, 6.2 en 6.3 is op de y-as van de gemeten cumulatieve vogeltrek op rotorhoogte uitgezet. Met behulp van het geijkte aanvaringsmodel kan dit omgerekend worden in het te verwachten aantal slachtoffers. De vergelijking V1 ( $M = M_{TR} * P * (1-U)$ ) is toegepast met de gemeten vogeltrek op rotorhoogte, de kans (P) op slachtoffers afhankelijk van windsnelheid en -richting en vliegsnelheid en -richting, en de uitwijkfactorfactor (U) verkregen door kalibratie. Voor de 50 onderzoeksdagen in najaar 2018 is dit aantal 13.6 slachtoffers per turbine (figuur 6.4a) en voor het voorjaar 10.5 slachtoffers voor de meetperiode van 46 dagen (figuur 6.4b). De slachtoffers zijn nu

uitgezet tegen de energieopbrengst van een L136 windturbine, berekend op basis van de powercurve. Uit figuur 6.4 is af te lezen dat 10 vogels in najaar 2018 ongeveer 100 MWh “kosten”.



Figuur 6.4 Het berekende cumulatief aantal slachtoffers dat voorkomen wordt als één turbine wordt stilgezet, uitgezet tegen de verminderde cumulatieve energieopbrengst van die turbine. De symbolen geven de nachten aan die gerangschikt zijn op V/E (uitgelegd bij fig 6.3.). Links: najaar 2018, rechts: voorjaar 2019.

De hier met het aanvaringsmodel berekende 13.6 slachtoffers per windturbine voor najaar 2018 en 10.5 voor voorjaar 2019, kunnen voor 90 turbines omgerekend worden in respectievelijk 1224 en 945. Deze getallen zijn wat hoger dan de schattingen die gemaakt zijn voor het slachtofferonderzoek, respectievelijk 1000-1200 en 500-600. Het aanvaringsmodel is geijkt op 15 nachten in 2018 en 13 nachten in 2019 (zie figuur 2.3 en de kalibratie van het uitwijkgedrag op bladzijde 13) waarbij voor elke nacht oude slachtoffers waren verwijderd. Bij het model is de extrapolatie naar de gehele meetperiode gebaseerd op modelberekeningen met de gemeten trekintensiteit op rotorhoogte als invoer. Voor de slachtofferschattingen zijn nog extra zoekdagen gebruikt en is de extrapolatie gebaseerd op de aanname dat de zoekdagen representatief waren voor de overige dagen.

Met een totaal aantal slachtoffers van 24.1 voor een jaar ( $=13.6 + 10.5$ ), kan 2/3 van de slachtoffers vermeden worden door stilstand ter vermindering van 10 slachtoffers in najaar 2018 en 6 in voorjaar 2019. De energiederving is dan 100MWh en 70 MWh respectievelijk. De turbine wordt dan 17 nachten in najaar 2018 en 16 nachten in voorjaar 2019 stil gezet. Bij een jaarlijkse opbrengst van 18190 MWh per jaar (berekend voor L136 met windgegevens van 1 juli 2018 tot 1 juli 2019) betekent dit een energiederving van  $170/18190 = 0.0094$  dus net iets minder dan 1 %.

Ter vergelijking is de energiederving berekend bij stilstand op basis van vogeltrek alleen en opnieuw vermijden van 2/3 van de slachtoffers. De stilstand bedraagt dan 25 nachten, waarvan 16 in het najaar 2018. De berekende energiederving bedraagt voor deze 25 nachten 509 MWh dus  $509/18190 = 2.8\%$

## 7. Conclusies en aanbevelingen

Bij aanvang van dit onderzoek was nog niet duidelijk wat de beste strategie zou zijn om informatiebronnen te integreren om te bepalen of het haalbaar zou zijn om een model te ontwikkelen waarmee 48 uur tevoren intensieve trek op rotorhoogte voorspeld kon worden, om op die momenten de windturbines stil te zetten en sterfte van nachtelijk trekkende zangvogels te voorkomen. Lopende het onderzoek is de integratie gerealiseerd zoals aangegeven in figuur 1.1. Het idee is dat het nog te ontwikkelen vogeltrekmodel in staat zou moeten zijn om de trekintensiteit op rotorhoogte 48 uur vooraf te voorspellen en dat het aanvaringsmodel in staat zou moeten zijn om deze vogeltrek om te rekenen in de te verwachten vogelsterfte als de windturbines zouden blijven draaien, oftewel de vogelsterfte die voorkomen wordt als de turbines worden stilgezet. Conclusies en aanbevelingen met betrekking tot beide aspecten worden hieronder puntsgewijs besproken.

### 7.1. Het vogeltrekmodel

Het vogeltrekmodel moet in staat zijn om 48 uur vooraf te voorspellen of er een nacht met hoge intensiteit van zangvogeltrek te verwachten is. De conclusie van het haalbaarheidsonderzoek is:

Op grond van

- de overeenkomst tussen nachten met de meest intensieve vogeltrek zoals gemeten met de weerradar in Borkum en de MAX radar op rotorhoogte in Windpark Eemshaven,
- het feit dat er een archief bestaat van data van weerradars in Borkum/Emden, DenHelder en Herwijnen dat benut kan worden voor het berekenen van tijdseries van vogeltrek en we daar toegang tot hebben voor wetenschappelijk onderzoek,
- het feit dat er een archief bestaat van weergegevens uit het weersvoorspellingsmodel ERA5 en we daar toegang tot hebben voor wetenschappelijk onderzoek,
- het feit dat het vogeltrekmodel, dat voor de luchtmacht voor hogere luchtlagen ontwikkeld is, voor de luchtmacht voldoet en in een operationele setting gebruikt wordt,
- het feit dat het team in het najaar van 2018 en het voorjaar van 2019 in staat was om massale vogeltrek meer dan 48 uur vooraf te voorspellen op basis van expert kennis,

kunnen we concluderen dat we na toekomstige modelontwikkeling in staat zullen zijn om nachten met intensieve zangvogeltrek op rotorhoogte in de Eemshaven, 48 uur vooraf te voorspellen.

Om dit model voor een stilstandregeling te kunnen benutten, moeten dan, naast de ontwikkeling van het model zelf, beslissingen genomen worden over:

- het criterium op basis waarvan turbines worden stilgezet. Een drempelwaarde voor vogeltrekintensiteit ligt het meest voor de hand maar dan kan het zijn dat de duur van stilstand in het ene jaar hoger uitvalt dan in het andere jaar. In plaats van een criterium voor vogeltrekintensiteit kan er ook gedacht worden aan een combinatie van vogeltrekintensiteit en de energiederving als gevolg van de stilstand,
- de manier waarop de voorspellingen in de operationele fase berekend en gecommuniceerd zullen worden,
- wie verantwoordelijk is voor het uitzetten van turbines en de monitoring daarvan,

- welk weersvoorspellingsmodel voor de operationele fase gebruikt wordt. Gegevens van ERA5 zijn vrij te gebruiken voor onderzoek en modelontwikkeling maar voor het operationeel gebruik van weersvoorspellingen moet betaald worden.

## 7.2 Het aanvaringsmodel

Het aanvaringsmodel dient ervoor om de vogeltrekintensiteit te vertalen naar het aantal vogelslachtoffers. De conclusies van dit deel van het haalbaarheids onderzoek zijn:

- het stilstandsexperiment heeft aangetoond dat stilstand zeer effectief is,
- slachtoffertellingen leiden tot plausibele kalibratie van het aanvaringsmodel, wanneer beoordeeld op het aantal slachtoffers voor het gehele seizoen,
- de variabiliteit van het aantal gevonden slachtoffers kon onvoldoende verklaard worden. Daardoor kunnen slachtoffertellingen uit dit onderzoek niet gebruikt worden voor gedetailleerde interpretatie van uitwijkgedrag van vogels.

Met betrekking tot de praktische toepasbaarheid van het aanvaringsmodel voor specifieke nachten hebben we de volgende aanbevelingen:

- er moet een protocol ontwikkeld worden voor slachtofferonderzoek dat garandeert dat de resultaten nauwkeurig en herhaalbaar zijn. Het is duidelijk dat zinvolle monitoring van zangvogelsterfte uiterst arbeidsintensief is en dus hoge kosten met zich meebrengt
- gezien de hoge kosten van het slachtofferonderzoek is het zeer wenselijk dat er een database komt waarin voor heel Nederland (of zelfs daarbuiten) alle gegevens worden opgeslagen die volgens dit protocol worden verzameld
- met voldoende gegevens uit slachtoffermonitoring, wordt nader onderzoek mogelijk om de variatie in uitwijkgedrag onder verschillende omstandigheden te kwantificeren en de resultaten in het aanvaringsmodel te verwerken. Een beter beeld van omstandigheden die het lokale aanvaringsrisico en de uitwijking van vogels (kunnen) beïnvloeden, zou uiteindelijk kunnen leiden tot een nauwkeuriger aanvaringsmodel en daarmee een effectiever voorspelmodel voor stilstand in de Eemshaven

Tot slot worden hier nog een aantal resultaten uit het onderzoek getalsmatig samengevat uit dit rapport en de aan dit haalbaarheidsonderzoek gerelateerde rapporten (Klop & Brenninkmeijer, 2020; Kleyheeg-Hartman & Potiek, 2020; Shinneman et al., 2020):

- Jaarlijks sterven er 1500-2175 nachtelijk trekkende zangvogels door aanvaringen met turbines in de Eemshaven (waarvan 1000-1225 in de herfst en 500-950 in het voorjaar)
- 100 uur maximale trek betreft bijna 10000 vogels die per turbine door de rotor passeren, in 9 nachten (waarvan 8 in het najaar), in 11.1 uur per nacht, te beginnen op 1.0 uur na zonsondergang, oftewel ongeveer 33% van de jaarlijkse trek door een rotor. Tijdens de hoogste piek vliegen er 500 vogels per uur door een rotor.
- 2/3 van de gemeten nachtelijke vogeltrek (96 nachten zijn gemeten in najaar + voorjaar), deed zich voor in 25 nachten - dus ongeveer 26% van de nachten. Stilzetten van de turbines tijdens deze nachten zou leiden tot een energiederving van 2.8% op jaarbasis.

- Wanneer nachten gerangschikt worden op basis van vogel EN energie (V/E), dan wordt 2/3 van de vogeltrek bereikt in 33 nachten, waarvan 17 in het najaar. Stilzetten van de turbines tijdens deze nachten zou leiden tot een energiederving van 0.94% op jaarbasis.
- Hoge pieken van vogeltrek doen zich meer voor in het najaar dan in het voorjaar.

## Dankwoord

Dit onderzoek is mede gefinancierd door de Provincie Groningen, Rijkswaterstaat (RWS) en de Ministeries van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Growind en Lagerweij hebben de gegevens van de L136 turbine verstrekt.

## Literatuur

- Band W, Madders M, Whitfield DP, 2007, Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*, 259-275.
- Band W, 2012, Using a collision risk model to assess bird collision risks for offshore windfarms.
- Chamberlain DE, Rehfisch MR, Fox AD, Desholm M, Anthony SJ, 2006, The effect of avoidance rates on bird mortality predictions made by wind turbine collision risk models. *Ibis* 148, 198–202.
- Cook, ASCP, Humphreys EM, Bennet F, Masden EA, Burton NHK, 2018, Quantifying avian avoidance of offshore wind turbines: Current evidence and key knowledge gaps. *Marine Environmental Research* 140 (2018) 278–288.
- Cramp S, Brooks DJ, 1992, *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. The birds of the western Palearctic, vol. V. Tyrant Flycatchers to Thrushes*. Oxford University Press, Oxford.
- Everaert J, 2014, Collision risk and micro-avoidance rates of birds with wind turbines in Flanders, *Bird Study*, DOI: 10.1080/00063657.2014.894492
- Kleyheeg-Hartmana JC, Krijgsveld KL, Collier MP, Poot MJM, Boon AR, Troost TA, Dirksen S, 2018, Predicting bird collisions with wind turbines: Comparison of the new empirical flux collision model with the SOSS Band model. *Ecological Modelling*, 387:144-153.
- Kleyheeg-Hartman JC, Potiek A, 2020, Analyse nachtelijke vogeltrek met behulp van 3D-vogelradar: Shwocase Eemshaven. Resultaten najaar 2018 en voorjaar 2019. Rapportnr. 19-176, Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Klop E, Brenninkmeijer A, 2014, Monitoring aanvaringsslachtoffers Windpark Eemshaven 2009-2014. Eindrapportage vijf jaar monitoring. A&W-rapport 1975. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Klop, E. & A. Brenninkmeijer 2020. Aanvaringsslachtoffers Windpark Eemshaven najaar 2018 & voorjaar 2019. A&W-rapport 3189, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Krijgsveld KL, Kleyheeg-Hartman JC, Klop E, Brenninkmeijer A, 2016, Stilstands-voorziening windturbines Eemshaven. Mogelijkheden en consequenties. Bureau Waardenburg Rapportnr. 16-100. Altenburg & Wymenga, Veenwouden en Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Shinneman SM, van Loon EE, Wijers BC, Bouten W, 2020, Prediction and measurement of high intensity bird migration using meteorological radar data in Eemshaven windpark. UVA-IBED, 29pp.
- Van Belle J, Shamoun-Baranes J, van Loon EE, Bouten W, 2007, An operational model predicting autumn bird migration intensities for flight safety. *Journal of Applied Ecology* 44: 864-874.



Winkelman JE, 1992, *The Impact of the Sep Wind Park Near Oosterbierum (Fr.), the Netherlands, on Birds, 1: Collision Victims*. RIN report no. 92/2.