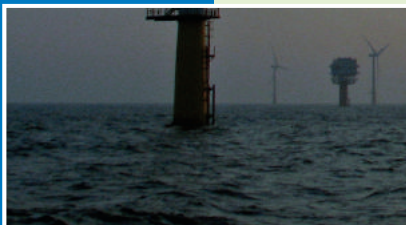
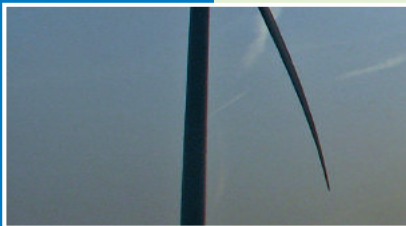
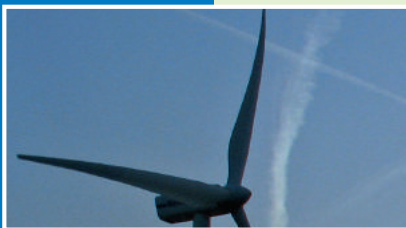


# Mitigerende maatregelen voor vleermuizen in offshore windparken

Evaluatie en verbetering van stilstandvoorziening



M. Boonman



**Bureau Waardenburg**  
Ecologie & Landschap

# **Mitigerende maatregelen voor vleermuizen in offshore windparken**

**Evaluatie en verbetering van stilstandvoorziening**

M. Boonman



**Bureau Waardenburg**  
Ecologie & Landschap

# Mitigerende maatregelen voor vleermuizen in offshore windparken

## Evaluatie en verbetering van stilstandvoorziening

drs. M. Boonman

### Status uitgave: definitief

Rapportnummer: 18-278  
Projectnummer: 18-0227  
Datum uitgave: 12 oktober 2018  
Projectleider: drs. M. Boonman  
Tweede lezer: drs. G.F.J. Smit  
Naam en adres opdrachtgever: RWS, Water, Verkeer en Leefomgeving  
A.R. van Bragt - Goli  
Zuidenwagenplein 2, 8224 AD Lelystad  
Referentie opdrachtgever: 31139627 / van Bragt  
Akkoord voor uitgave:  
drs. G.F.J. Smit



Paraaf:

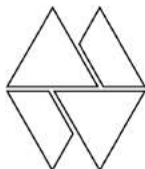
Graag citeren als: Boonman, M. 2018. Mitigerende maatregelen voor vleermuizen in offshore windparken. Evaluatie en verbetering van stilstandvoorziening. Bureau Waardenburg Rapportnr. 18-278. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Trefwoorden: Vleermuizen, windenergie, stilstandvoorziening, offshore

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

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

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



**Bureau Waardenburg bv**  
Onderzoek en advies voor ecologie en landschap

Postbus 365 4100 AJ Culemborg  
Telefoon 0345 51 27 10  
info@buwa.nl www.buwa.nl

## Summary

During the late summer and autumn Nathusius' pipistrelles migrate from the Baltic States and Russia to western Europe to mate and hibernate. Some of these bats cross the North Sea to the UK. By doing this they can enter offshore wind farms. The moving rotor blades of wind turbines are known to cause mortality among bats. This mortality rate is likely to rise as the total capacity of Dutch offshore windfarms is planned to increase from the current approximate 1,000 MW to 4,450 MW in 2023 and further on. For the planned wind farms in the North Sea it was recognised that the mortality caused by wind turbines could affect the Nathusius' pipistrelle population. In order to prevent this, the wind turbines are curtailed between August 15th and October 1st during low to moderate wind speed (at night between one hour after sunset until two hours prior to sunrise the cut in speed is raised to 5 m/s and low rotational speed during the idling phase is realized). This curtailment reduces the risk of bat fatalities but also leads to a loss in energy production.

Since 2015 a substantial amount of new information about bat activity in the Dutch offshore wind farms has been generated by acoustic monitoring. This information was used in this study to define a more efficient curtailment strategy. The goal of this study was to reduce both mortality rate and energy production losses.

By evaluating the existing curtailment strategy it became clear that improvements are strongly recommended. If the existing curtailment strategy would be implemented on modern wind turbines the resulting fatality rate could still be considerable. The main reason for this is the fact that a large proportion of bat activity takes place during wind speeds above 5 m/s when wind speed is measured at wind turbine tower height (100 m). The only way to drastically lower the risk of fatalities is to raise the cut in speed to above 5 m/s. Since energy production significantly increases above 5 m/s, this can only be done during very specific conditions with high bat activity. High temperatures and easterly winds are two significant predictors of bat activity that are currently not being used. A more efficient curtailment strategy is possible by adding these parameters and by shifting the curtailment season to August 25th - October 10th.

To determine the settings of an optimal curtailment strategy a theoretical approach was used to estimate a theoretical fatality risk since the actual fatality rate is unknown. To estimate this fatality risk an association between the number of fatalities and both bat activity and the rotational speed of a wind turbine was assumed. Subsequently, this fatality risk was divided by energy production. Curtailment strategy was optimised by stepwise adding and subtracting conditions to the curtailment with small increments, including conditions with high (above average) ratio of fatalities to energy production and excluding those with low ratio until an optimal setting was achieved with both lowest bat fatality risk and lowest loss of energy production.

The optimal curtailment strategy consists of increasing cut in speeds to 5.5 - 6 m/s at easterly wind and an unaltered cut in speed (the turbines default setting) during low temperatures and westerly wind. Compared to the existing curtailment strategy, this new strategy results in a 12% lower loss in energy production and substantial lower risk of fatalities (15%).

# Voorwoord

De Nederlandse overheid heeft zich gecommitteerd aan het klimaatakkoord van Parijs waarin een bovengrens voor de wereldwijde opwarming van 2 graden Celsius is vastgesteld. Om dat doel te bereiken vindt momenteel de overgang plaats naar het opwekken van energie door middel van duurzame energiebronnen. Een van de manieren waarop dat uitgevoerd wordt, is de aanleg van grote windparken op de Noordzee.

De draaiende rotorbladen van windturbines kunnen sterfte veroorzaken van vogels en vleermuizen. De meest effectieve manier om deze sterfte te voorkomen is door de windturbines op specifieke momenten, met een hoog risico op slachtoffers, stil te zetten. Deze studie is bedoeld om het stilzetten van windturbines op zee zo goed mogelijk af te stellen op deze risicomomenten, zodat het verlies aan energie-opbrengst beperkt blijft.

Deze opdracht werd vanuit Rijkswaterstaat begeleid door Maarten Platteeuw en Martine Graafland. Om ervoor te zorgen dat de juiste weergegevens gebruikt worden heeft Ine Wijnant van het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) belangrijke informatie aangedragen. Vanuit de energiesector hebben Bob Prinsen en Leon van der Meijden (Eneco) hun ervaringen en inzichten gedeeld. Guido Hommel (NWEA) heeft aanvullende informatie verstrekt. Ik dank hun voor hun bijdrage.

# Inhoud

Summary .....	3
Voorwoord .....	4
1 Inleiding.....	6
1.1 Achtergrond.....	6
1.2 Uitgangspunten .....	6
2 Methode.....	8
2.1 Evaluatie huidige stilstandvoorziening .....	8
2.2 Slachtofferrisico .....	8
2.3 Energieopbrengst .....	11
2.4 Optimalisatie .....	12
3 Resultaten.....	13
3.1 Evaluatie huidige stilstandvoorziening .....	13
3.2 Aanscherping stilstandvoorziening .....	17
3.3 Optimalisatie .....	18
3.4 Implementatie .....	20
4 Discussie.....	22
4.1 Methode .....	22
4.2 Effectiviteit huidige stilstandvoorziening .....	23
4.3 Gebied waarin de aanscherping geldt .....	23
4.4 Alternatieve stilstandvoorzieningen .....	25
5 Literatuur.....	27

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In de nazomer en herfst trekken ruige dwergvleermuizen vanuit de Baltische Staten en Rusland onder andere naar Nederland om hier te paren en overwinteren (Hutterer *et al.* 2005). Sinds enkele jaren is aan de hand van diverse terugvangsten van geringde dieren met zekerheid vastgesteld dat ruige dwergvleermuizen ook de Noordzee oversteken naar het Verenigd Koninkrijk (Anonymus 2018). Tijdens deze trek over de Noordzee passeren / doorkruisen ruige dwergvleermuizen offshore windparken.

In het Kader Ecologie en Cumulatie (KEC) (Rijkswaterstaat 2015) is geconstateerd dat het optreden van vleermuisslachtoffers in Nederlandse offshore windparken niet op voorhand is uit te sluiten. Omdat vleermuizen strikt beschermd zijn door de Wet natuurbescherming en de Europese Habitatrichtlijn, zijn in de Kavelbesluiten mitigerende maatregelen opgenomen waarmee het risico op aanvaringslachtoffers onder vleermuizen verlaagd wordt. Deze mitigerende maatregelen bestaan uit het verhogen van de startwindsnelheid en het voorkómen dat de rotorbladen in vrijloop sneller dan 1 rpm draaien gedurende de periode waarin vleermuizen in windparken te verwachten zijn – hierna stilstandvoorziening genoemd. Het op deze wijze stilzetten van windturbines leidt tot een beperkt verlies aan energieopbrengst.

Sinds 2015 is meer informatie beschikbaar gekomen over het voorkomen van ruige dwergvleermuizen op de Noordzee. In diverse offshore windparken zijn batdetectors geplaatst die automatisch de geluiden van vleermuizen opnemen (Lagerveld *et al.* 2017). De vraag is nu aan de orde of deze nieuwe gegevens aanleiding geven om de stilstandvoorziening aan te passen. In dit rapport maken we duidelijk of aanscherping van de stilstandvoorziening zinvol is en wat de optimale verhouding is tussen de reductie van het aantal slachtoffers en het verlies aan energieopbrengst.

## 1.2 Uitgangspunten

Het aanpassen of aanscherpen van de stilstandvoorziening heeft als doel de energieproductie te kunnen verhogen zonder dat dit een toename in vleermuissterfte zal veroorzaken.

De huidige voorgeschreven stilstandvoorziening bestaat uit het volgende (<http://wetten.overheid.nl/BWBR0037802/2017-11-08>):

“... Daarom is gekozen voor een maatregel waar de cut-in windspeed van de turbines wordt verhoogd naar 5,0 m/s op ashoogte gedurende de periode van 15 augustus tot en met 30 september tussen 1 uur na zonsondergang tot 2 uur voor zonsopkomst. Beneden deze windsnelheid moet het aantal rotaties per minuut per windturbine tot minder dan 1 worden gebracht.”

Het aantal jaarlijkse vleermuisslachtoffers in de Nederlandse offshore windparken is niet bekend. Daarnaast heeft de schatting van de populatie-omvang van ruige dwergvleermuizen die over de Noordzee migreren een grote bandbreedte (100 – 1.000.000; Limpens *et al.* 2017). Dat het accepteren van een verruiming van het aantal vleermuisslachtoffers mogelijk is zonder daarbij afbreuk te doen aan de gunstige staat van instandhouding, is op basis van de huidige kennis dus niet te onderbouwen.

De voorwaarden voor de stilstandvoorziening dienen zo eenvoudig mogelijk te zijn, zodat deze voorziening goed toepasbaar en handhaafbaar is en goed te voorspellen is wat de gevolgen zijn op de energieopbrengst en het risico op vleermuisslachtoffers.



## 2 Methode

### 2.1 Evaluatie huidige stilstandvoorziening

Het moment waarop offshore windturbines momenteel stilstaan om vleermuissterfte te reduceren (huidige stilstandvoorziening) is beschreven in paragraaf 1.2 (Uitgangspunten). Er is gebruik gemaakt van de door Wageningen Marine Research aangeleverde analyse en dataset over het vóórkomen van vleermuizen in de Nederlandse offshore windparken PAWP, OWEZ en LUD (Lagerveld *et al.* 2017). De analyse geeft aan welke (weers)omstandigheden van invloed zijn op de kans dat vleermuizen in de windparken aanwezig zijn. Deze analyse is naast de huidige stilstandvoorziening gelegd om te bepalen welke parameters aan de stilstandvoorziening toegevoegd zouden kunnen worden om deze te verbeteren.

De relatie tussen vleermuisactiviteit en seizoen, tijd van de nacht, temperatuur, windrichting en windsnelheid is in beeld gebracht om te beoordelen of de gehanteerde grenswaarden in de huidige stilstandvoorziening goed gekozen zijn.

Lagerveld *et al.* (2017) geven in hun analyse de aan- of afwezigheid van vleermuizen per nacht weer in relatie tot weersomstandigheden en de tijd van het jaar. Dit geeft de 'vertrekbeslissing' van de dieren weer, de omstandigheden waaronder ze de oversteek beginnen. Het geeft echter niet weer op welk tijdstip van de nacht de kans op activiteit het grootst is, dat wil zeggen wanneer de dieren in de windparken op zee arriveren, of wat de mate van activiteit in de windparken is. Hoe hoger de vleermuisactiviteit in de windparken, des te groter de kans op slachtoffers. Voor het formuleren van een stilstandvoorziening gebaseerd op de risico's op slachtoffers is het van belang te weten of er slechts één enkele opname was of vele tientallen. Om meer inzicht te krijgen in de mate van risico is de vleermuisactiviteit per uur gekoppeld aan de gegevens van de Koninklijke Nederlandse Wind atlas (KNW-atlas) van het KNMI. Hierbij is gebruik gemaakt van de temperatuur, windrichting en windsnelheid op 20 m hoogte. Dit komt goed overeen met de hoogte waarop de vleermuisactiviteit is gemeten (15 m).

### 2.2 Slachtofferrisico

Hoeveel slachtoffers er per windturbine per jaar optreden in de offshore windparken, is niet bekend. Het is daarom niet mogelijk om uitspraken te doen over de gevolgen van een stilstandvoorziening op het aantal aanvaringslachtoffers in absolute zin. De geluidsopnames van vleermuizen die in de offshore windparken zijn gemaakt, geven echter wel aan op welke momenten en bij welke weersomstandigheden de activiteit en daarmee het risico op slachtoffers het grootst is. Het aantal vleermuisopnames per tijdseenheid vormt een maat voor de vleermuisactiviteit. Op land is er een significante relatie tussen vleermuisactiviteit op ashoogte en het aantal aanvaringslachtoffers (Korner-Nievergelt *et al.* 2013). Door deze relatie is het mogelijk om in relatieve zin uitspraken te doen over het risico op aanvaringslachtoffers.

In de offshore windparken is de activiteit gemeten op 15 m boven het zee oppervlak, in enkele gevallen vanuit Offshore High Voltage Stations (OHVS; Lagerveld *et al.* 2017) en niet vanuit de nacelle van windturbines. Expliciete aanname is dat de vleermuisactiviteit bij de OHVS vergelijkbaar is met die rond windturbines. Offshore windturbines hebben een relatief geringe tiplaaagte. De windturbines in PAWP hebben bijvoorbeeld een ashoogte van 59 m en rotordiameter van 80 m. Dit betekent dat de tip zich in de laagste stand op slechts 19 m boven zee bevindt. Ruige dwergvleermuizen hebben een detectieafstand van 35 m (Barataud 2015). Een groot deel van het onderste rotorbereik ligt daarmee binnen het bereik van de batdetector. De gemeten vleermuisactiviteit is representatief voor het onderste rotorbereik maar dieren die zich op ashoogte en daarboven bevonden, zijn niet waargenomen. Op basis van de verticale activiteitsprofielen (Wellig *et al.* 2018) is het onderste deel van het rotorbereik ook de plaats waar de kans op slachtoffers het grootst is. Op grotere hoogte is de activiteit bij de ruige dwergvleermuis lager (Wellig *et al.* 2018). Voor de hogere delen van het rotorbereik wordt het slachtofferrisico daarom overschat met deze werkwijze.

De kans op aanvaringslachtoffers wordt bepaald door het aantal vleermuizen dat aanwezig is en de kans dat deze slachtoffer worden. Het aantal vleermuizen wordt in de praktijk bepaald door de mate van activiteit te registreren. De theoretische kans op aanvaringslachtoffers is als volgt berekend:

$$\lambda = \log (Akt+1) * \beta * \mu$$

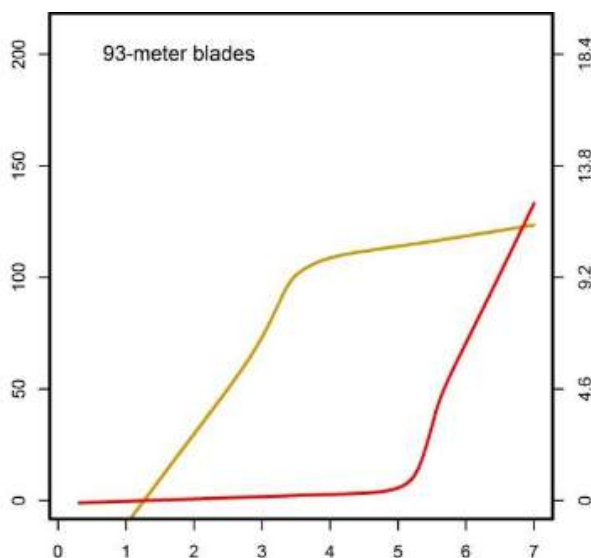
Dit is een theoretische benadering om stilstandvoorzieningen met elkaar te kunnen vergelijken, niet om het werkelijk aantal slachtoffers te bepalen.  $\lambda$  geeft het aantal slachtoffers weer. Deze is afhankelijk van de vleermuisactiviteit (het aantal geluidsopnames van vleermuizen; Akt) en de aanvaringskans ( $\beta$ ). Vleermuizen worden soms tientallen keren in een tijdsbestek van enkele minuten opgenomen. Vleermuizen worden aangetrokken door windturbines en blijven enige tijd rond een windturbine vliegen (Cryan *et al.* 2014). Een groot aantal opnames in een kort tijdsbestek zal daarom in veel gevallen betrekking hebben op slechts één of enkele dieren. De kans dat een dier slachtoffer wordt, neemt natuurlijk toe naarmate hij langer rondvliegt (vaker wordt opgenomen) maar omdat een dier slechts één keer slachtoffer kan worden, is een overschatting van dit risico goed mogelijk. We nemen daarom de logaritme van het aantal opnames om te vermijden dat een betrekkelijk klein aantal uren met zeer hoge vleermuisactiviteit aspect bepalend worden. Dit is gebruikelijk in modellen die aan de hand van akoestische activiteit het aantal slachtoffers voorspellen (Korner-Nievergelt *et al.* 2013). Met  $\mu$  geven we aan of een stilstandvoorziening wel of niet van kracht is. Een stilstandvoorziening is bijvoorbeeld het eerste uur na zonsondergang niet van kracht. Aanname is dat er alleen slachtoffers optreden wanneer de stilstandvoorziening niet van kracht is. Met de aanvaringskans  $\beta$  bedoelen we hier de kans dat een dier slachtoffer kan worden op basis van de draaisnelheid van de rotorbladen.

Een windturbine met vrij kleine rotordiameter ( $< 100$  m) kan beginnen te draaien bij een windsnelheid van 1 m/s. De draaisnelheid neemt aanvankelijk lineair toe met de windsnelheid (figuur 2.1). De draaisnelheid gedurende vrijloop kan aanzienlijk zijn (6-8 rpm). Met vrijloop wordt hier de fase bedoeld waarin een windturbine draait, maar geen energie opwekt. Pas wanneer de windsnelheid hoger is dan de cut in speed of startwindsnelheid, kan een turbine energie opwekken. De startwindsnelheid van de nu nog gangbare windturbines is doorgaans 3,5 m/s.

De modernste offshore windturbines met grotere rotordiameter beginnen bij een windsnelheid van ongeveer 2 m/s te draaien (Korner-Nievergelt *et al.* 2013) en hebben een startwindsnelheid van 3,0 m/s (mond. med. Bob Prinsen en Guido Hommel). Bij windsnelheden beneden de 2 m/s is er dus geen risico op aanvaringssslachtoffers. De draaisnelheid neemt lineair toe met de windsnelheid. Het risico op aanvaringssslachtoffers neemt toe bij toenemende draaisnelheid van de rotorbladen omdat:

1. Vleermuizen minder tijd hebben om uit te wijken.
2. Er een groter drukverschil ontstaat tussen de binnen- en buitenzijde van een rotorblad waardoor het risico op barotrauma toeneemt.
3. Een rotorblad vaker passeert waardoor een vleermuis vaker geraakt kan worden.

Toch blijkt de hoogste aanvaringskans al bij betrekkelijk lage windsnelheid bereikt te worden. Korner-Nievergelt *et al.* (2013) hebben een model ontworpen om op basis van de akoestische activiteit van vleermuizen (gemeten vanuit de nacelle) het aantal aanvaringssslachtoffers te bepalen. In dit model is ook de windsnelheid opgenomen. De modellen laten zien dat bij constante vleermuisactiviteit de hoogste aanvaringskans al bereikt wordt bij 3,5 tot 5,7 m/s.



Figuur 2.1 Relatie tussen draaisnelheid (tipsnelheid linker y-as, rpm rechter y-as) en windsnelheid (m/s x-as). Deze relatie is weergegeven voor een windturbine met een stilstandvoorziening (verhoogde startwindsnelheid en het vermijden van hoge draaisnelheid gedurende vrijloop; in rood) en voor dezelfde windturbine die zonder beperkingen draait (in beige). Figuur is afkomstig uit Arnett *et al.* 2013.

Waarom de aanvaringskans (bij constante activiteit) niet verder toeneemt boven de 5 m/s is niet bekend. Boven de cut in speed (doorgaans 3,5 m/s) neemt de draaisnelheid niet meer zo snel toe met toenemende windsnelheid (lagere hellingshoek; zie figuur 2.1). Daarnaast is bij windsnelheid van 5 m/s mogelijk een draaisnelheid bereikt waarin slachtoffers gemakkelijk kunnen optreden. Net zoals het bij verkeersslachtoffers niet veel uitmaakt of auto's 120 of 130 km/h rijden, zal een toename van de draaisnelheid vanaf dit punt geen wezenlijk verschil uitmaken.

Op basis van bovenstaande gaan we ervan uit dat:

*bij een windturbine die zonder beperkingen functioneert*

bij windsnelheden < 2 m/s de rotorbladen stilstaan:	$\beta = 0$
bij windsnelheden tussen de 2 en 5 m/s de kans op slachtoffers lineair toeneemt (net als de draaisnelheid) van 0 bij 2 m/s tot 1 bij 5 m/s:	$\beta = 1/3 \cdot \text{windsnelheid} - 2/3$
bij windsnelheden boven de 5 m/s:	$\beta = 1$

*Bij een windturbine met stilstandvoorziening (startwind = 5 m/s; 1 rpm in vrijloop)*

bij windsnelheden beneden de startwindsnelheid,	$\beta = 0$
bij windsnelheden boven de 5 m/s.	$\beta = 1$

De hoogste aanvaringskans is gemakshalve op 1 gesteld. Feitelijk zal deze kans veel lager liggen maar omdat het niet de bedoeling is om het werkelijk aantal slachtoffers te berekenen, is dit voldoende om de effectiviteit van stilstandvoorzieningen te bepalen. Wanneer de windsnelheid toeneemt tot boven de startwindsnelheid, dan zal bij een windturbine die is uitgerust met een stilstandvoorziening het scada systeem de windturbine de opdracht geven om de rotorbladen (die 90 graden gepitched waren) weer in de wind te draaien zodat deze weer energie kan gaan opwekken. Binnen enkele minuten zal een windturbine de draaisnelheid bereiken die gebruikelijk is voor die windsnelheid. In onze berekening van de aanvaringskans voor deze situatie negeren we deze eerste minuten waarin de draaisnelheid nog lager kan liggen en gaan we uit van dezelfde aanvaringskans als bij de hogere windsnelheden.

## 2.3 Energieopbrengst

Omdat power curves van moderne windturbines niet openbaar zijn, is de energieopbrengst berekend met de volgende formule:

$$P = \begin{cases} 0, & U < U_{\text{cut-in}} \\ \frac{1}{2} \rho U^3 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \cdot C_P, & U \geq U_{\text{cut-in}} \end{cases}$$

Waar

·  $\rho$  = luchtdichtheid [kg/m<sup>3</sup>] (= 1.225 kg/m<sup>3</sup>)

- $U$  = windsnelheid [m/s],
- $D$  = rotordiameter [m],
- $C_P$  = vermogenscoëfficiënt,

De vermogenscoëfficiënt is afhankelijk van de windsnelheid en het type windturbine. Geschikte waarden die representatief zijn voor moderne windturbines zijn voor deze studie aangeleverd door Eneco. Door zowel de NWEA als Eneco is aangegeven dat voor moderne offshore windturbines het beste een startwindsnelheid van 3,0 m/s gebruikt kan worden. Er is een rotordiameter van 164 m gehanteerd. Om de energieopbrengst te berekenen is de windsnelheid op ashoogte ingevoerd in bovenstaande formule. Hiervoor is gebruik gemaakt van de uurwaarden op 100 m hoogte uit de KNW atlas van het KNMI. De windsnelheden tussen 1979 en 2017 zijn gebruikt voor de relevante periode (15 augustus – 15 oktober, 's nachts). Door de energieopbrengst te delen door het aantal jaren (38) is de opbrengst per turbine per jaar verkregen.

Bij de berekening van de energieopbrengst is geen rekening gehouden met zog effecten (recht achter een windturbine kan de windsnelheid lager zijn dan ervoor).

Verlies aan energieopbrengst is gedefinieerd als de hoeveelheid energie die opgewekt had kunnen worden gedurende de periode waarin de stilstandvoorziening van kracht is.

## 2.4 Optimalisatie

Om de efficiëntie van een stilstandvoorziening te beoordelen is het slachtofferrisico afgezet tegen het verlies aan energieopbrengst. Voor iedere combinatie van temperatuur en windrichting is het theoretisch aantal slachtoffers en het verlies aan energieopbrengst bepaald. Het aantal slachtoffers is gedeeld door het bijbehorend verlies aan energieopbrengst (hierna ratio genoemd). Een hoge ratio betekent veel slachtoffers met een bijbehorend verlies aan energieopbrengst dat beperkt is. Ook een beperkte kans op slachtoffers met een zeer laag verlies aan energieopbrengst kan tot een verhoogde ratio zorgen. Voor iedere combinatie van temperatuur en windrichting is de ratio berekend.

Een stilstandvoorziening is het meest efficiënt wanneer deze van kracht is bij een hoge ratio en niet van kracht bij een lage ratio. De optimalisatie bestond eruit de stilstandvoorziening uitsluitend toe te passen gedurende die momenten waarop de ratio boven het gemiddelde ligt. Om een verbetering ten opzichte van de huidige stilstandvoorziening te realiseren is de stilstand uitgebreid naar enkele specifieke momenten met een hoge ratio terwijl stilstand juist werd losgelaten op een groot aantal momenten met een lage ratio. Er is gezocht naar een zo hoog mogelijke reductie van zowel het aantal slachtoffers als het energieverlies door stapsgewijs momenten toe te voegen en weg te laten uit de stilstandvoorziening. Vanuit de beginsituatie (huidige stilstandvoorziening: verhogen *cut in speed* tot 5 m/s en voorkómen vrijloop) werden stappen gezet van telkens een halve m/s boven of onder de beginsituatie.

## 3 Resultaten

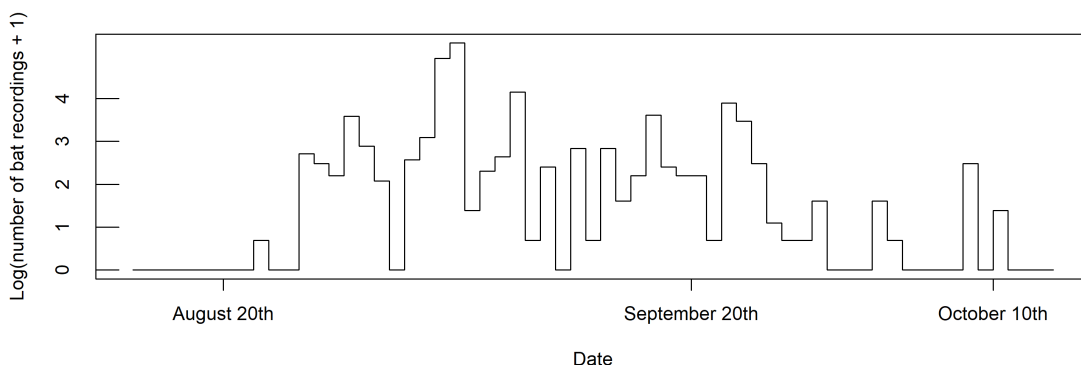
### 3.1 Evaluatie huidige stilstandvoorziening

#### Parameters

Lagerveld *et al.* (2017) maken duidelijk dat het optreden van vleermuisactiviteit zeer goed is te voorspellen op basis van windsnelheid, de tijd van het jaar, windrichting en temperatuur. De hoeveelheid maanlicht leek de kans op vleermuisactiviteit te verhogen. Bewolking verlaagde de kans op activiteit in hun studie. Windsnelheid en tijd van het jaar maken onderdeel uit van de huidige stilstandvoorziening (zie uitgangspunten paragraaf 1.2). Windrichting, temperatuur, maanlicht en bewolking echter niet. Er ontbreken dus enkele belangrijke parameters in de huidige stilstandvoorziening. Windrichting en temperatuur zijn gemakkelijk te implementeren omdat beide worden gemeten door windturbines. Ondanks het feit dat maanlicht en bewolking als significante predictor uit de analyse komen, raden we aan deze niet toe te passen in een stilstandvoorziening. Voor maanlicht is weliswaar een positief effect op vleermuisactiviteit gevonden en voor bewolking een negatief effect, echter vrijwel alle literatuur geeft voor maanlicht een negatief effect en voor bewolking juist een positief aan (o.a. Lang *et al.* 2006; Cryan & Brown 2007). Dit roept de vraag op of het gevonden effect van maanlicht en bewolking robuust is. De hoeveelheid maanlicht is, naast de maanstand, mede afhankelijk van bewolking. De hoeveelheid maanlicht kan als gevolg van bewolking sterk verschillen binnen een nacht en de bewolking kan bij de kust waar de dieren vetrekken anders zijn dan bij de windparken op zee. Op het moment dat vleermuizen besluiten aan te vangen met hun migratie over de Noordzee, is de maan wellicht nog niet opgekomen. Maanlicht en bewolking zijn daarom mogelijk geen goede voorspellers voor de vleermuisactiviteit op zee.

#### Tijd van het jaar

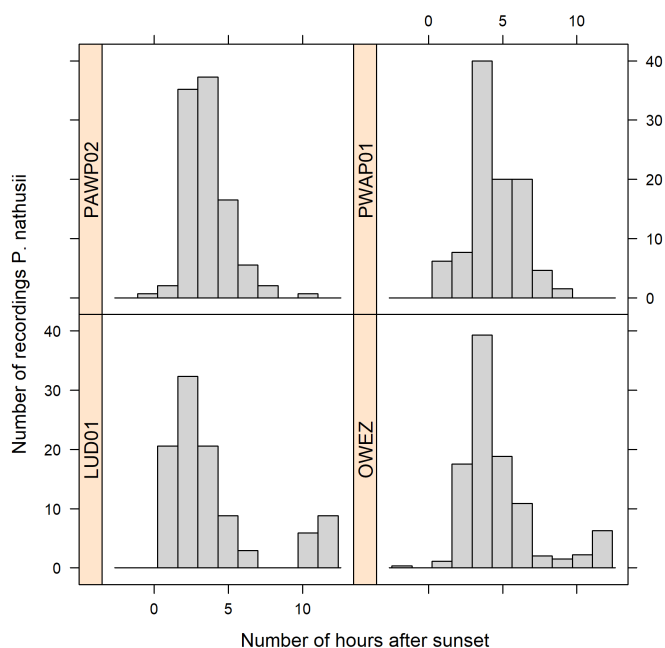
De huidige stilstandvoorziening is geldig voor de periode tussen 15 augustus en 1 oktober. Tussen 15 en 20 augustus is echter geen enkele vleermuisactiviteit waargenomen (in vijf jaren). Hier staat tegenover dat begin oktober nog wel activiteit plaatsvindt. Zonder de periode te verruimen, lijkt een verschuiving van de periode voor het toepassen van de stilstandvoorziening naar de periode tussen 25 augustus en 10 oktober de risico's beter af te dekken. Het optreden van twee pieken in het seizoensverloop zoals genoemd door Lagerveld *et al.* (2017) blijkt niet uit figuur 3.1. Het lijkt daarom niet verstandig hier gebruik van te maken bij het formuleren van een stilstandvoorziening.



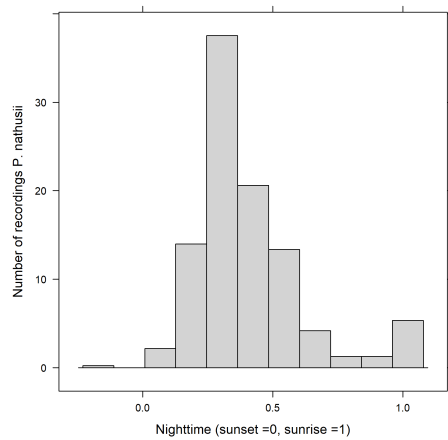
**Figuur 3.1** *Het aantal vleermuisopnames per nacht gedurende de nazomer / het najaar gemeten in 2012 t/m 2016 in de offshore windparken.*

### Tijd van de nacht

De huidige stilstandvoorziening is geldig voor de periode tussen 1 uur na zonsondergang tot 2 uur voor zonsopkomst. Dit komt vrij goed overeen met de vastgestelde vleermuisactiviteit in de windparken (figuur 3.2 en 3.3). Het eerste uur is er nagenoeg geen vleermuisactiviteit. Tussen 2 en 6 uur na zonsondergang vindt zo'n 80% van alle activiteit plaats. Kort voor zonsondergang is sprake van een lichte verhoging van de activiteit. Dit heeft echter betrekking op een enkel uur waarbij vermoedelijk ochtendzwermen plaatsvond door een enkel dier en relatief veel opnames gemaakt zijn.



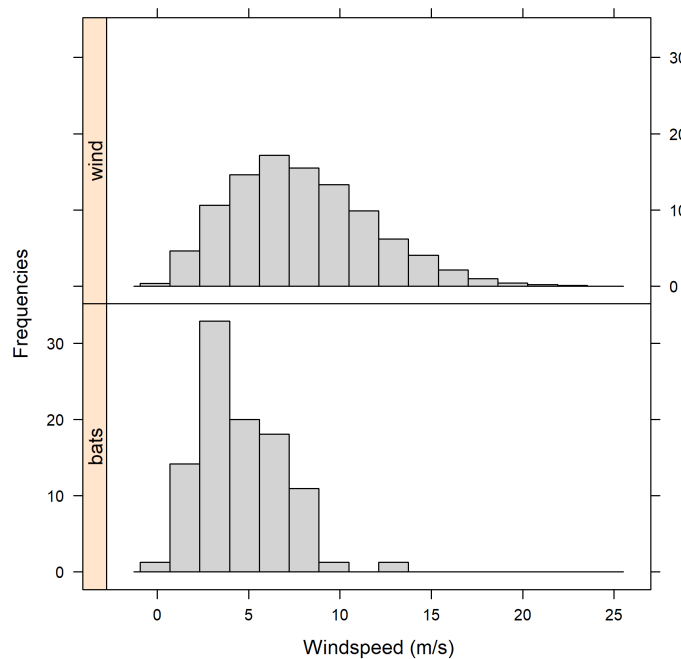
**Figuur 3.2** *Frequentie verdeling van het aantal vleermuisopnames binnen een nacht.*



*Figuur 3.3 Frequentieverdeling van het aantal vleermuisopnames binnen een nacht.*

### **Windsnelheid**

De huidige stilstandvoorziening bestaat uit het verhogen van de startwindsnelheid naar 5 m/s gedurende de momenten waarop vleermuisactiviteit is te verwachten. Uit figuur 3.4 blijkt dat vleermuisactiviteit ook boven de 5 m/s nog relatief veel voorkomt en pas boven de 7,5 m/s duidelijk afneemt. In hoofdstuk 2 is reeds uiteengezet dat de gebruikte dataset mogelijk ontoereikend is voor de hogere delen van het rotorbereik. Voor het onderste deel van het rotorbereik lijkt het waarschijnlijk dat de gebruikte startwindsnelheid vrij laag is. Een veel grotere reductie van het aantal slachtoffers zou behaald worden bij een verhoging van de startwindsnelheid.

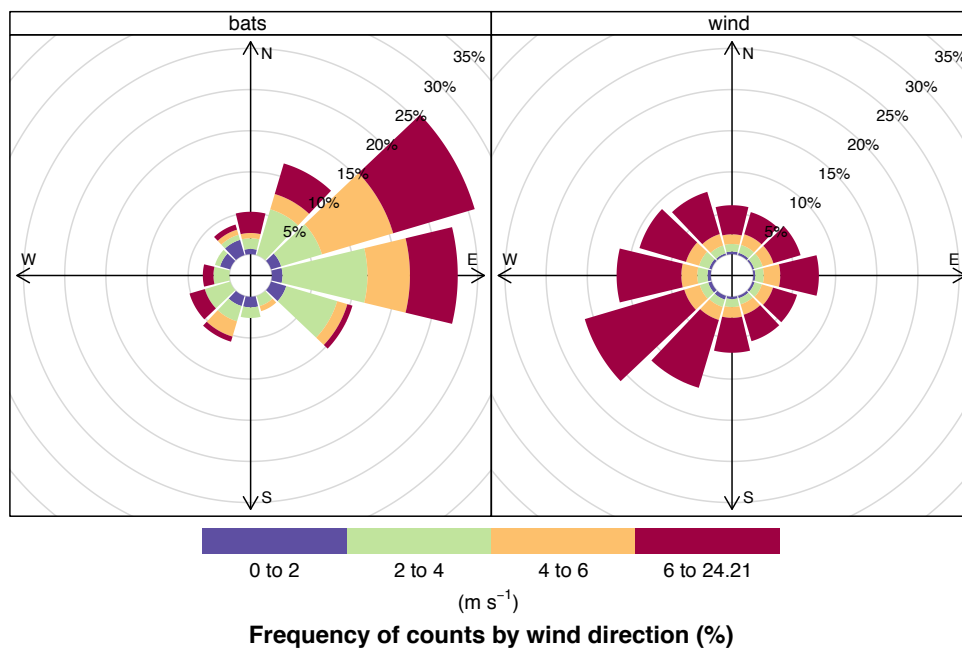


*Figuur 3.4 Frequentieverdeling van het aantal vleermuisopnames (bats) en het voorkomen van verschillende windsnelheden binnen de relevante periode (wind).*



## Windrichting

Windrichting vormt geen onderdeel van de huidige stilstandvoorziening maar is significant in het voorspellen van vleermuisactiviteit (Lagerveld *et al.* 2017). Figuur 3.5 verduidelijkt dit. Vleermuisactiviteit komt vooral voor bij wind uit NO en O richting. Dit is ook de meest gunstige windrichting voor de migratie naar Engeland. Wind uit zuidwestelijke richting komt veel voor binnen de relevante periode maar vleermuisactiviteit is dan schaars. Voor de windsnelheden die relevant zijn voor een stilstandvoorziening (3 tot 6 m/s; groen en oranje in figuur 3.5) geldt dit in bijzondere mate.



Figuur 3.5 Windroos die het voorkomen van verschillende windrichtingen laat zien. Links is de verdeling weergegeven waarbij vleermuizen zijn vastgesteld.

## Temperatuur

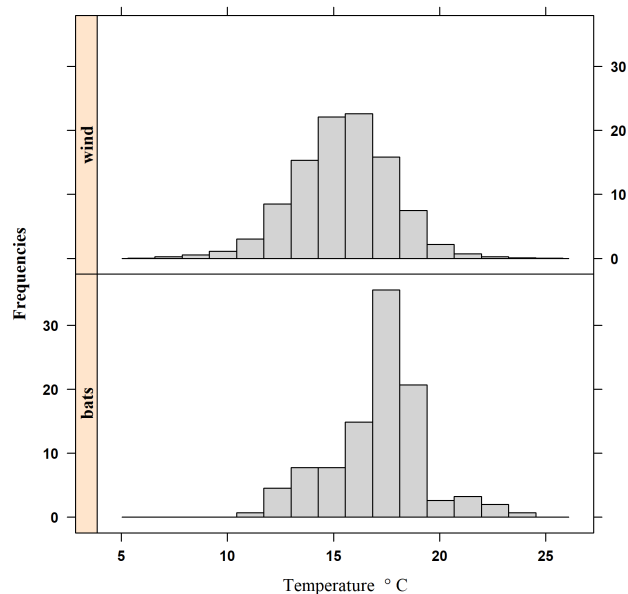
Temperatuur vormt geen onderdeel van de huidige stilstandvoorziening, maar is significant in het voorspellen van vleermuisactiviteit (Lagerveld *et al.* 2017). Figuur 3.6 verduidelijkt dit. De meeste vleermuisactiviteit vindt plaats bij temperaturen die relatief hoog zijn. Bij de hoogste temperaturen (>19 graden) is de vleermuisactiviteit wat lager. Dit wordt veroorzaakt doordat de hoogste temperaturen plaatsvinden in het eerste uur van de nacht waarin vleermuizen die vanaf het vasteland zijn vertrokken, nog niet in de windparken zijn aangekomen.

Bij een kwart van de uren waarin vleermuisactiviteit plaatsvond was sprake van inversie. Op grotere hoogte (100 m) was op dat moment sprake van een hogere temperatuur dan vlak boven zee. Dit verschijnsel kwam gemiddeld genomen (ongeacht of er vleermuisactiviteit was of niet) beduidend minder vaak voor, namelijk bij 8,5 procent van de uren. Het is goed mogelijk dat hier geen sprake is van een causaal verband. Waarschijnlijk komt het verschijnsel relatief veel voor bij

weersomstandigheden waar vleermuizen een voorkeur voor hebben zoals een hoge temperatuur en een lage windsnelheid. Er is besloten geen verdere aandacht aan inversie te besteden omdat het naar verwachting weinig zal toevoegen aan een stilstandvoorziening waar windsnelheid en temperatuur al in zijn opgenomen.

### Efficiëntie

Wanneer de huidige stilstandvoorziening geïmplementeerd zou worden in de moderne windturbines met een ashoogte van ongeveer 100 m en rotordiameter van 164 m, dan zou de theoretische reductie van het aantal slachtoffers slechts 25% bedragen met een bijbehorend verlies aan energieopbrengst van ongeveer 15 MWh per turbine per jaar.



*Figuur 3.6 Frequentieverdeling van de vastgestelde temperatuur (temperatuur) binnen de relevante periode (15 aug – 15 okt, 's nachts; wind) en van het aantal vleermuisopnames (bats).*

## 3.2 Aanscherping stilstandvoorziening

De evaluatie in paragraaf 3.1 gaf aan dat er enkele belangrijke parameters ontbreken in de huidige stilstandvoorziening (temperatuur en windrichting) en dat niet in alle gevallen gebruik is gemaakt van de beste grenswaarden. In dit hoofdstuk vindt een verkenning plaats van de mogelijkheden voor aanscherping van de huidige stilstandvoorziening. We kijken daarbij naar de gevolgen op de kans op aanvaringslachtoffers en de energieopbrengst.

### Tijd van het jaar

Door de tijd van het jaar waarin de stilstandvoorziening van kracht is te verschuiven van 15 augustus tot 1 oktober (huidige situatie) naar 25 augustus tot 10 oktober komt deze beter overeen met het seizoen waarin vleermuisactiviteit plaatsvindt (figuur 3.1). Hoewel de nachtlengte toeneemt richting 21 december, heeft dit geen wezenlijk

effect op het verlies aan energieopbrengst (nog altijd 15 MWh / turbine per jaar). Het aantal slachtoffers kan hiermee dus verlaagd worden zonder dat dit effect heeft op de energieopbrengst.

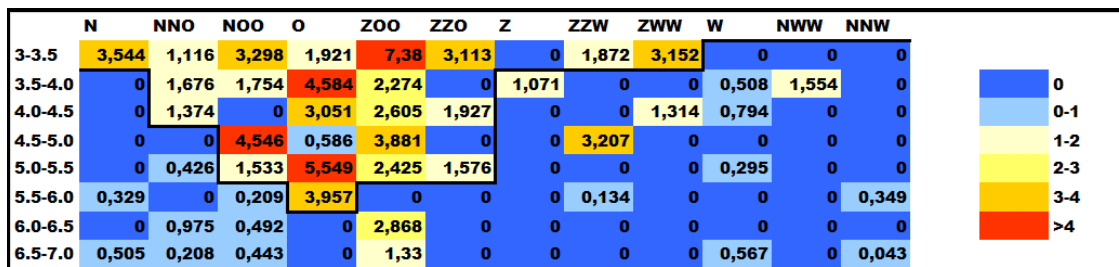
### **Tijd van de dag**

Een zeer efficiënte manier om het aantal slachtoffers te reduceren betreft het voorkomen van een hoge draaisnelheid gedurende vrijloop (bij windsnelheden beneden de cut in speed). Gedurende vrijloop is sprake van een zeer lage windsnelheid. Juist omdat vleermuizen vooral bij lage windsnelheden aanwezig zijn in het rotorbereik bestaat daarom een risico op aanvaringslachtoffers gedurende vrijloop. Arnett *et al.* 2013 vonden in een studie dat door de draaisnelheid van rotorbladen te verlagen naar 1-2 rpm (de rotorbladen worden 90 graden gepitched parallel aan de wind) gedurende vrijloop het aantal slachtoffers met 72% omlaag gebracht werd. Dit is zeer kosteneffectief omdat het plaatsvindt bij windsnelheden waarin geen energie geproduceerd kan worden. Het voorkomen van een hoge draaisnelheid gedurende vrijloop wordt in de huidige stilstandvoorziening alleen toegepast in de nacht tussen een uur na zonsondergang en twee uur voor zonsopkomst. Er vindt buiten dit tijdvenster nog een klein deel van de vleermuisactiviteit plaats. Door de maatregel de gehele nacht uit te voeren, wordt de kans op slachtoffers verlaagd. Omdat de maatregel van kracht is gedurende de windsnelheden die beneden de startwindsnelheid liggen, heeft dit geen gevolgen voor de energieopbrengst.

Wanneer de twee bovenstaande maatregelen genoemd onder 'tijd van het jaar' en 'tijd van de dag' opgenomen worden in de stilstandvoorziening dan is de reductie van het aantal slachtoffers iets hoger, namelijk 28% in plaats van 25% (paragraaf 3.1 efficiëntie).

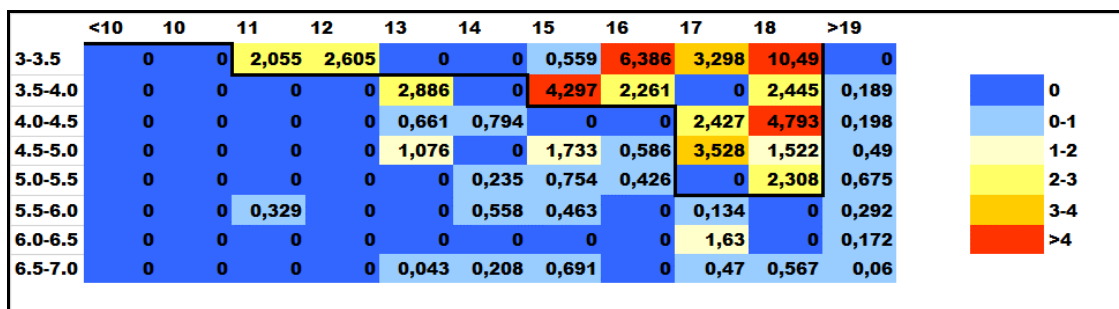
## **3.3 Optimalisatie**

Naar verwachting kan het risico op vleermuislachtoffers beter voorspeld worden en daarmee de stilstandvoorziening verbeterd worden door temperatuur en windrichting eraan toe te voegen (paragraaf 3.1). De verhouding tussen het aantal slachtoffers en de bijbehorende energieopbrengst staat voor windrichting weergegeven in figuur 3.7. Een hoog aantal slachtoffers ten opzichte van een lage energieopbrengst komt vooral voor bij de lage windsnelheden. De energieopbrengst is dan laag. Er zijn duidelijke verschillen tussen de windrichtingen. Bij wind uit west tot noordwestelijke richting vindt ook bij lage windsnelheden nauwelijks vleermuisactiviteit plaats. Stilstand is bij deze windrichtingen niet kosteneffectief. Bij wind uit noordoostelijke tot zuidoostelijke richting is het echter effectief om de stilstand ook bij iets hogere windsnelheden uit te voeren. Boven de 6 m/s wordt beduidend meer energie opgewekt dan bij 5-6 m/s. Het verhogen van de startwindsnelheid tot boven de 6 m/s bij oostelijke wind kan het aantal slachtoffers reduceren maar dit brengt onevenredig hoge kosten met zich mee aan verlies van energieopbrengst. De zwarte lijn in figuur 3.7 geeft de optimale stilstandvoorziening weer op basis van de windrichting.



Figuur 3.7 Het aantal slachtoffers gedeeld door de energieopbrengst voor verschillende combinaties van windrichting (x-as) en windsnelheid (y-as). Een hoge waarde geeft een hoog aantal slachtoffers ten opzichte van een geringe energieopbrengst weer. Nul betekent dat geen vleermuisactiviteit is vastgesteld. De zwarte lijn geeft de optimale grens weer voor de stilstandvoorziening.

Voor temperatuur is hetzelfde gedaan (figuur 3.8). Het toepassen van de stilstandvoorziening is het meest effectief bij de hogere temperaturen. Temperaturen boven de 19 graden C komen onvoldoende tot hun recht omdat ze doorgaans vroeg in de nacht plaatsvinden op het moment dat vleermuizen nog niet in de windparken zijn aangekomen. Beneden de 11 graden is het niet kosteneffectief om stilstand toe te passen. Een lichte verhoging van de startwindsnelheid van 5 m/s tot 5.5 m/s lijkt alleen bij de hoogste temperaturen effectief.



Figuur 3.8 Het aantal slachtoffers gedeeld door de energieopbrengst voor verschillende combinaties van temperatuur (x-as) en windsnelheid (y-as). Een hoge waarde geeft een hoog aantal slachtoffers ten opzichte van een geringe energieopbrengst weer. De zwarte lijn geeft de optimale grens weer voor de stilstandvoorziening.

Een schema waarin voor iedere combinatie van temperatuur en windrichting de ratio (aantal slachtoffers gedeeld door de energieopbrengst) werd weergegeven is geconstrueerd maar bevatte teveel ontbrekende waarden (geen vleermuisactiviteit vastgesteld). De dataset is niet groot genoeg om op dat schaalniveau begrenzings voor de stilstandvoorziening weer te geven.

Tabel 3.1 Optimale stilstandvoorziening. Voor iedere combinatie van temperatuur (linker zijde vertikaal) en windrichting (bovenzijde horizontaal) staat de startwindsnelheid weergegeven.

	N	NNO	NOO	O	ZOO	ZZO	Z	ZZW	ZWW	W	NWW	NNW
<11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
11-15	3.5	4.5	5.5	6	5.5	5.5	3.5	3.5	3.5	3	3	3
15-17	3.5	4.5	5.5	6	5.5	5.5	4.0	3.5	3.5	3	3	3
17-19	3.5	4.5	5.5	6	5.5	5.5	4.0	3.5	3.5	3	3	3
>19	3.5	4.5	5.5	6	5.5	5.5	4.0	3.5	3.5	3	3	3

Het optreden van vleermuisactiviteit is in algemene zin beter te voorspellen aan de hand van windrichting dan temperatuur (Lagerveld *et al.* 2017). Om een effectieve stilstandvoorziening te formuleren zijn specifiek die parameters van belang waarmee de kans op vleermuislachtoffers bij hogere windsnelheid (> 5 m/s) voorspeld kan worden. Wanneer het moment waarop een verhoogde startwindsnelheid het meest effectief is goed voorspeld kan worden, dan kan de tijdsduur waarin dit toegepast moet worden ook sterk begrensd worden. Zoals eerder uiteengezet, kan de kans op slachtoffers bij hogere windsnelheid zeer goed voorspeld worden aan de hand van windrichting. Dit is ook goed te begrijpen. Harde wind is alleen gunstig voor vleermuizen wanneer ze die tijdens de migratie in de rug hebben.

Temperatuur geeft echter weinig aanleiding om de stilstandvoorziening op basis van windrichting (figuur 3.7) te verruimen bij hogere temperaturen. Bij wind uit W tot NW richting is nagenoeg geen vleermuisactiviteit gemeten, ook niet bij hogere temperaturen. Bij wind uit oostelijke richting is een startwindsnelheid van tenminste 5,5 effectief (figuur 3.7). Een verdere verhoging is op basis van temperatuur niet te onderbouwen omdat de activiteit boven de 5,5 m/s ook bij de hoogste temperaturen, zeer gering is. Temperatuur is echter wel bruikbaar om de stilstandvoorziening in te perken. De kans op vleermuislachtoffers is bij temperaturen beneden de 11 graden Celsius zeer gering. Bij deze temperaturen is een verhoging van de startwindsnelheid daarom niet zinvol. De optimale stilstandvoorziening is weergegeven in tabel 3.1.

Bovenstaande stilstandvoorziening toegepast tussen 25 augustus en 10 oktober tussen 1 uur na zonsondergang en twee uur voor zonsopkomst leidt tot een theoretische reductie van het aantal slachtoffers van 40%. Dit is een verbetering van 15 % ten opzichte van de huidige stilstandvoorziening (25%; paragraaf 3.1). In de verbeterde stilstandvoorziening is meegenomen dat een hoge draaisnelheid gedurende vrijloop de **gehele** nacht wordt voorkómen. Het bijbehorend verlies aan energieopbrengst is berekend op 13 MWh / turbine / jaar. Dat is 12% minder dan in de huidige stilstandvoorziening (afgerond 15 MWh; paragraaf 3.1).

Een hogere reductie van het aantal slachtoffers dan 40% kan vrijwel alleen door de startwindsnelheid verder te verhogen. Dit leidt tot onevenredig veel verlies aan energieopbrengst. Omgekeerd geldt ook dat het verlies aan energieopbrengst verlaagd kan worden maar dat dit alleen mogelijk is door de stilstand niet toe te passen op de momenten waarop de kans op slachtoffers relatief groot is.

### 3.4 Implementatie

#### **Aansturing door meting in laatste tijdsinterval**

In deze paragraaf staan we stil bij de manier waarop de stilstandvoorziening voor een windturbine geïmplementeerd dient te worden. De stilstandvoorziening (paragraaf 3.3) is geformuleerd op basis van windsnelheden op 100 m hoogte en sluiten daarmee aan bij de windsnelheid die op ashoogte plaatsvinden. Iedere offshore windturbine heeft een windmeter op het dak van de nacelle en doorgaans is hier ook een thermometer

aanwezig. Iedere 10 minuten worden onder andere gemiddelde windsnelheid, windrichting en temperatuur opgeslagen. Het meest logisch en gebruikelijk is om aan te sluiten bij deze metingen. De opdracht om de draaisnelheid al dan niet te verlagen (door de bladen 90 graden te pitchen) vindt onder andere plaats op basis van de gemiddelde windsnelheid, windrichting en temperatuur **in het laatste tijdsinterval**. Schirmacher *et al.* (2017) hebben onderzoek gedaan naar het verschil tussen het hanteren van een tijdsinterval van 20 minuten ten opzichte van 10 minuten. Een tijdsinterval van 20 minuten resulteerde in lager aantal slachtoffers, er werd meer stroom opgewekt en resulteerde in een lager aantal afschakel- en inschakelmomenten. We raden daarom sterk aan om een tijdsinterval van 20 minuten te gebruiken.

### **Aansturing van windturbine of windpark?**

Bij bepaalde omstandigheden besluiten vleermuizen aan te vangen met hun migratie en komen in windparken op zee terecht. De heersende windsnelheid en windrichting boven de Noordzee bepalen in hoge mate de kans dat vleermuizen in windparken voorkomen. De kans dat vleermuizen bij een windturbine terecht komen is naar verwachting ongeveer gelijk voor alle windturbines binnen een windpark. Aansturing van een geheel windpark ligt daarom meer voor de hand dan een individuele aansturing van windturbines.

Door zog effecten kan de windsnelheid binnen een windpark verschillen. Direct achter een windturbine is de windsnelheid lager dan ervoor. Bij windturbines in een cluster opstelling is hierdoor de windsnelheid niet bij alle windturbines gelijk. Wanneer de stilstandvoorziening in individueel aangestuurde windturbines geïmplementeerd wordt door gebruik te maken van de windsnelheid die op ashoogte gemeten wordt, zou dat er (theoretisch gezien) toe kunnen leiden dat er binnen een windpark ruimtelijke verschillen zijn in het moment dat een stilstandvoorziening van kracht is. Dit lijkt een onwenselijke situatie omdat de kans op aanvaringsslachtoffers naar verwachting voor alle windturbines in een park gelijk is. In de praktijk is het echter onwaarschijnlijk dat zog effecten een belangrijke factor zijn bij de implementatie van de stilstandvoorziening voor vleermuizen. Zog effecten spelen bij lage windsnelheden naar verwachting geen rol van betekenis (mond. med. B. Prinsen en L. Van der Meijden). Bovendien zijn windparken ruimtelijk zo geconfigureerd dat zog effecten geminimaliseerd worden. Het individueel aansturen van windturbines zal daarom naar verwachting tot dezelfde resultaten leiden als bij een centraal aansturing.

Mocht uit evaluatie blijken dat zog effecten ook bij lage windsnelheden (< 5-6 m/s) een rol van betekenis hebben dan is centrale aansturing aan te bevelen. Het meetpunt voor de centrale aansturing zou de 'ongestoorde', heersende condities zo goed mogelijk in beeld moeten brengen. Er zou dus in geen geval gebruik gemaakt moeten worden van een locatie in een windpark waar zog effecten kunnen optreden.

## 4 Discussie

### 4.1 Methode

#### Underschatting slachtofferrisiko?

De vleermuisactiviteit zoals die gemeten is in de offshore windparken is representatief voor het onderste deel van het rotorbereik (paragraaf 2.2). Wanneer vleermuizen zich boven zee anders gedragen dan boven land, dan is de gemeten activiteit mogelijk minder geschikt voor het definiëren van een stilstandvoorziening. Hiervoor zijn echter geen aanwijzingen. De vleermuisactiviteit, zoals die op de Noordzee is gemeten in relatie tot de weersomstandigheden, komt zeer sterk overeen met wat op land vanuit de nacelle wordt waargenomen. Vleermuisactiviteit komt vooral voor bij lage windsnelheden in de nazomer / het najaar. Ook op zee lijken vleermuizen de windturbines niet simpelweg te passeren. Na een periode van dagen waarin geen enkele activiteit is waargenomen, worden opeens meerdere opnames van roepende vleermuizen in een tijdsbestek van enkele minuten gemaakt. Gelet op de tijdstippen waarop de opnames plaatsvinden, lijkt het waarschijnlijk dat dieren enige tijd blijven rondvliegen rond een windturbine, precies zoals dat ook op land wordt waargenomen (o.a. Brinkmann *et al.* 2011; Limpens *et al.* 2013). Vanwege deze sterke gelijkenis met de vleermuisactiviteit op land is er geen reden om aan te nemen dat vleermuizen zich in windparken op zee wezenlijk anders gedragen dan op land.

In de V.S. zijn waarnemingen verricht van vleermuizen (*Lasiurus borealis*) op meer dan 200 m hoogte boven zee (Hatch *et al.* 2013). Omdat de windsnelheid toeneemt met toenemende hoogte zou dit een manier kunnen zijn om optimaal te profiteren van een rugwind. Indien dit gedrag ook bij de ruige dwergvleermuis zou voorkomen dan zou dit tot een hoger slachtofferrisiko zorgen dan op basis van de vleermuisactiviteit blijkt. Vleermuissoorten verschillen onderling sterk in de mate waarin zij geneigd zijn op grotere hoogte te vliegen en de ruige dwergvleermuis behoort niet tot de hoogst vliegende soorten (Roemer *et al.* 2017, Wellig *et al.* 2018). Ruige dwergvleermuizen hebben tijdens de migratie een voorkeur voor een vlieghoogte waarbij ze nog contact kunnen maken met de grond door middel van echolocatie (enkele tientallen meters; Šuba 2014, Roemer *et al.* 2017, Wellig *et al.* 2018).

In Zweden zijn vleermuizen boven zee met behulp van radar waargenomen. De kleinere soorten, waartoe de ruige dwergvleermuis behoort, vlogen doorgaans 0-10 m boven het zee oppervlak (Ahlen *et al.* 2007). In een Zweeds offshore windpark was de gemeten activiteit van ruige dwergvleermuis vlak boven zee beduidend hoger dan vanuit de nacelle (Ecocom 2015). Er is dus geen reden om aan te nemen dat ruige dwergvleermuizen op zee talrijker voorkomen in de hogere dan in de lagere delen van het rotorbereik. Op basis van deze vlieghoogtes is mogelijk zelfs sprake van een overschatting van het slachtofferrisiko omdat vleermuizen geregeld onder de 'rotor swept area' doorvliegen.

Een andere manier waardoor het slachtofferrisiko in de offshore windparken onderschat zou kunnen zijn is wanneer veel ruige dwergvleermuizen niet langer

gebruik maken van echolocatie wanneer zij boven de Noordzee vliegen. Ook hiervoor is geen concreet bewijs. In algemene zin kost het gebruik van echolocatie tijdens de vlucht geen extra energie voor vleermuizen (Speakman & Racey 1991). Er is voor de dieren dus geen energetisch voordeel voor het uitschakelen van echolocatie. Hierdoor lijkt het formuleren van een stilstandvoorziening op basis van de vleermuisactiviteit zoals gemeten boven zee gerechtvaardigd.

#### **Theoretisch versus werkelijke reductie**

In deze studie is de theoretische reductie van het aantal slachtoffers berekend voor stilstandvoorzieningen. Om diverse redenen kan de werkelijke reductie afwijken van de theoretische reductie. We noemen hier twee redenen. 1. In werkelijkheid wordt de stilstandvoorziening niet het gehele jaar toegepast. Ook in het voorjaar en de herfst bestaat een kleine kans op aanvaringsslachtoffers in perioden waarin de stilstandvoorziening niet van kracht is. 2. Een windturbine met een stilstandvoorziening schakelt op (of af) op basis van windsnelheden die in het verleden zijn gemeten; er is dus sprake van een zekere vertraging. We gaan ervan uit dat deze afwijkingen bij alle stilstandvoorzieningen een rol spelen en dat ze dus wel kunnen worden vergeleken op basis van de theoretische reductie.

## **4.2 Effectiviteit huidige stilstandvoorziening**

De huidige stilstandvoorziening reduceert maar een kwart van het theoretisch aantal slachtoffers. De belangrijkste reden voor de lage reductie is het feit dat een groot deel van de vleermuisactiviteit plaatsvindt op de momenten waarop de windsnelheid op ashoogte hoger is dan 5 m/s. Bij het formuleren van de stilstandvoorziening is destijds waarschijnlijk gekeken naar de relatie tussen vleermuisactiviteit en de windsnelheid die gemeten is door KNMI weerstations op zee. Deze metingen geven de windsnelheid op 10 m hoogte die beduidend lager is dan de windsnelheid op ashoogte (100 m). Omdat de stilstandvoorziening juist uitgaat van de windsnelheid op ashoogte (zie paragraaf 2.1 uitgangspunten) wordt de stilstand bij toenemende windsnelheid al opgeheven op het moment dat het beneden nog vrijwel windstil is en de kans op vleermuisactiviteit betrekkelijk hoog. Dit speelt in mindere mate een rol bij de bestaande windparken zoals PAWP en OWEZ omdat deze windturbines geen ashoogte van 100 m maar van 60-80 m hebben. Bij de geplande grotere windturbines gaat dit wel een rol spelen.

## **4.3 Gebied waarin de aanscherping geldt**

De hier geformuleerde stilstandvoorziening is gebaseerd op de vleermuisactiviteit die is gemeten in windparken die betrekkelijk dicht bij de kust liggen. Hier is bewust voor gekozen omdat de vleermuisactiviteit hier in samenhang met de weersomstandigheden, inzicht geeft in de 'vertrekbeslissing.' Het laat zien bij welke omstandigheden vleermuizen besluiten aan te vangen met de migratie over de Noordzee. Het voorkomen van vleermuizen in de windparken die verder van de kust



liggen, is naar verwachting minder goed te voorspellen. Het kost meer tijd voor vleermuizen om deze windparken te bereiken waardoor de kans bestaat dat de weersomstandigheden zijn veranderd ten opzichte van het moment van vertrek. Door de beperkte mogelijkheden om uit te rusten en te foerageren boven de Noordzee, hebben vleermuizen weinig keus dan de migratie voort te zetten, ook bij minder optimale omstandigheden. Hierdoor is de verwachting dat het voorkomen van vleermuizen in verder weg gelegen windparken minder goed is te voorspellen.

De vraag is aan de orde voor welk deel van de Noordzee de aangescherpte stilstandvoorziening toepasbaar is. Bij verder uit de kust gelegen locaties, die niet in dezelfde nacht van vertrek door de vleermuizen bereikt kunnen worden, spelen andere factoren dan de 'vertrekbeslissing' een rol. De stilstandvoorziening is dus naar verwachting alleen generiek toepasbaar voor de kustzone ten westen van de Hollands-Zeeuwse kust die binnen één nacht na vertrek voor vleermuizen bereikbaar is.

Om deze afstand te bepalen is gekeken naar de dagelijkse migratiesnelheid. Op basis van terugmeldingen van geringde dieren is een minimale vliegsnelheid van 5-10 km/h vastgesteld (Petersons 2004). De afgelegde afstand bedraagt 31 tot 77 km per nacht (gemiddeld 48 km; Petersons 2004). Dit zijn minimale waarden omdat in werkelijkheid een grotere afstand is afgelegd dan een kaarsrechte lijn tussen de ringplaats en de locatie van de terugmelding. Daarnaast kan de migratie tijdens de periode zijn onderbroken om te foerageren of te rusten.

De dagelijkse migratiesnelheid is ook onderzocht aan de hand van de fenologie. Op basis van geografische verschillen (op verschillende locaties in de Oostzee) in het moment waarop een piek in de akoestische activiteit plaatsvond is een **gemiddelde** migratiesnelheid van 55 km per dag vastgesteld (Rydell *et al.* 2014). Dit komt dus goed overeen met de door Petersons gerapporteerde waarden.

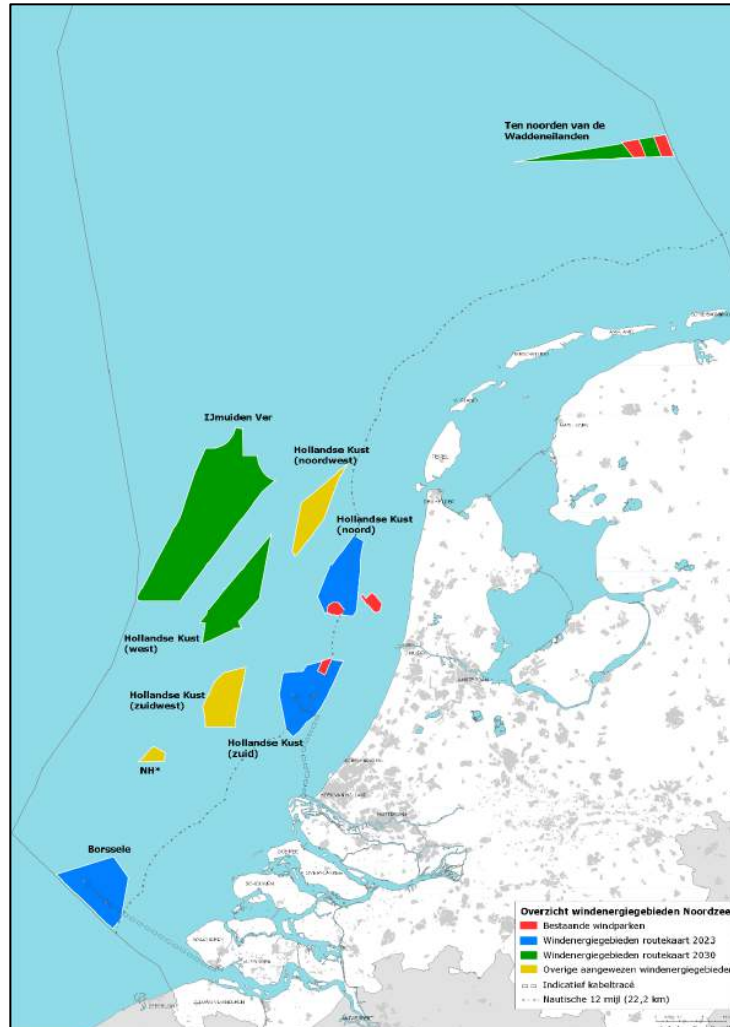
Boven de Noordzee zijn minder opties om te rusten of te foerageren dan voor dieren die de kust van de Oostzee volgen. Het is dan ook te verwachten dat de dieren boven de Noordzee gericht en continu trekken waardoor ze grotere afstanden kunnen afleggen. Hierdoor zal de migratie boven de Noordzee naar verwachting relatief snel plaatsvinden. Het lijkt daarom gerechtvaardigd om uit te gaan van een **maximale** dagelijkse migratieafstand van ongeveer 70 km.

De gebruikte dataset van WMR bevat geen meetpunten in het gebied ten noorden van de Waddeneilanden. Windparken zoals PAWP, LUD en OWEZ lijken niet representatief voor dit gebied. De vleermuisactiviteit ligt in het gebied ten noorden van de Waddeneilanden naar verwachting lager omdat dieren waarschijnlijk grotendeels de kustlijn volgen vanuit Duitsland.

#### **Om welke windenergiegebieden gaat het?**

In figuur 4.1 zijn de windenergiegebieden in de Noordzee weergegeven. Zoals eerder aangegeven zijn de onderzochte locaties naar verwachting niet representatief voor het gebied ten noorden van de Waddeneilanden. De kavel IJmuiden Ver ligt op 75-80 km uit de kust en valt dus niet meer binnen het gebied dat ruige dwergvleermuizen naar

verwachting binnen een nacht bereiken. Alle overige kavels van figuur 4.1 wel. Een aangescherpte stilstandvoorziening zal dus toepasbaar zijn in de windparken in deze gebieden.



Figuur 4.1 Overzicht windenergiegebieden op de Noordzee.

#### 4.4 Alternatieve stilstandvoorzieningen

De optimale stilstandvoorziening die in deze studie is berekend op basis van de gemeten vleermuisactiviteit is veel efficiënter dan de stilstandvoorzieningen die tot dusver in de kavelbesluiten zijn opgenomen. De reductie van het aantal slachtoffers en het verlies aan energieopbrengst zijn beide beduidend lager (paragraaf 3.3).

Er zijn diverse stilstandvoorzieningen voor vleermuizen op de markt en het is daarom zinvol om te bepalen of deze een meerwaarde voor de offshore windparken kunnen hebben.

### *Shut down on demand*

Omdat het systeem alleen stilstaat bij detectie van vleermuizen kan de reductie van het energieverlies aanzienlijk zijn. Er zijn twee systemen waarvan bekend is dat ze meer dan 80% reductie in het aantal slachtoffers realiseren (EPRI 2017 & DT Bat systeem (<https://www.dtbat.com/>)). Het grote nadeel voor toepassing voor de offshore windparken is dat iedere windturbine met dit systeem uitgerust zou moeten worden. De activiteit van vleermuizen is namelijk nooit gelijk bij alle windturbines in een park. De microfoons die zowel op de mast als in de nacelle geplaatst worden, zouden regelmatig vervangen moeten worden omdat de gevoeligheid al binnen enkele maanden sterk kan teruglopen. Dit maakt het systeem onpraktisch en kostbaar voor de offshore windparken.

### *Pro Bat*

Pro Bat is een stilstandvoorziening waarmee het aantal slachtoffers gereduceerd wordt door de windturbine stil te zetten gedurende de condities waarop de kans op aanvaringslachtoffers het grootst is. Na afloop van akoestische monitoring gedurende een geheel seizoen kan de voorziening geformuleerd worden. De basis voor de voorziening vormt de relatie tussen akoestische activiteit en slachtoffers, die is onderzocht door middel van slachtofferonderzoek dat op tientallen locaties in Duitsland is uitgevoerd bij betrekkelijk kleine windturbines (rotordiameter 70 m). De instellingen van de stilstandvoorziening sluiten aan bij randvoorwaarden die voortvloeien uit Duitse wetgeving en zorgen ervoor dat het aantal slachtoffers per turbine beperkt blijft tot twee vleermuizen per turbine per jaar (Behr *et al.* 2017).

Voor toepassing op de Nederlandse offshore windparken zijn er diverse nadelen. Het systeem is ontwikkeld voor windparken op land in Duitsland waar rosse vleermuizen een belangrijk aandeel van de slachtoffers vormen. Eurobats (2018) geeft aan dat het systeem niet geschikt is voor locaties met veel ruige dwergvleermuizen. Een verklaring hiervoor wordt niet gegeven maar hangt mogelijk samen met de hogere windtolerantie van de ruige dwergvleermuis ten opzichte van bijvoorbeeld rosse vleermuis en gewone dwergvleermuis (Brinkmann *et al.* 2011; Limpens *et al.* 2013). Daarnaast is het de vraag of de voorziening toepasbaar is bij de offshore windturbines die wat betreft rotordiameter meer dan twee keer zo groot zijn als de destijds in het Duitse onderzoek betrokken windturbines.

### *Chirotech*

Chirotech van het Franse bedrijf Biotope is niet openbaar. De exacte werking ervan is dan ook niet te verifiëren zonder het systeem aan te schaffen. De werking is vermoedelijk sterk vergelijkbaar met de in dit rapport gehanteerde methode. Het gaat uit van verschillende startwindsnelheden. De hoogte van de startwindsnelheid wordt afgestemd op het risico op aanvaringslachtoffers dat is bepaald op basis van akoestische monitoring.

## 5 Literatuur

- Ahlen I., L. Bach, H.J. Baagoe, J. Petersson 2007. Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden, 36 pp.
- Anonymus, 2018. National Nathusius' Pipistrelle Project. [http://www.bats.org.uk/pages/national\\_nathusius\\_pipistrelle\\_project.html](http://www.bats.org.uk/pages/national_nathusius_pipistrelle_project.html).
- Arnett E.B., G.D. Johnson, W.P. Erickson & C.D. Hein 2013. A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- Barataud, M. 2015. Acoustic ecology of European bats. Species Identification and Studies of Their Habitats and Foraging Behaviour. Biotope Editions, Mèze; National Museum of Natural History, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 340 p.
- Behr O., R. Brinkmann, K. Hochradel, J. Mages, F. Korner-Nievergelt, I. Niermann, M. Reich, R. Simon, N. Weber & M. Nagy 2017. Mitigating Bat Mortality with Turbine-Specific Curtailment Algorithms: A Model Based Approach. In: Köppel J. (eds) Wind Energy and Wildlife Interactions. Springer, Berlin.
- Brinkmann R., O. Behr, I. Niermann & M. Reich 2011. Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäuse an Onshore-Windkraftanlagen. Bericht eines Forschungsvorhabens. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Cryan P.M. & A.C. Brown 2007. Migration of bats past a remote island offers clues towards the problem of bat fatalities at wind turbines. *Biological conservation* 139: 1-11.
- Cryan P.M., P.M. Gorresen, C.D. Hein, M.R. Schirmacher, R.H. Diehl, M.M. Huso, D.T.S. Hayman, P.D. Fricker, F.J. Bonaccorso, D.H. Johnson, K. Heist & D.C. Dalton 2014. Behavior of bats at wind turbines. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1406672111>.
- Ecocom 2015. Uppföljande studie av fladdermöss vid Kårehamnporten – En jämförelse mellan förekomst och aktivitet av fladdermöss före respektive efter etablering av vindkraftverk. unpubl. report to E.On Vind Sverige AB: 14 pp.
- EPRI 2017. Bat Detection and Shutdown System for Utility-Scale Wind Turbines. Technical report prepared by Normandeau Associates, Inc. for Electric Power Research Institute (EPRI). 3002009038 Final Report, July 2017. Palo Alto, California, U.S (98 pp).
- Eurobats 2018. Report of the IWG on Wind Turbines and Bat Populations. -1-Doc.EUROBATS.StC14-AC23.9.
- Hatch S.K., E.E. Connelly, T.J. Divoll, I.J. Stenhouse & K.A. Williams 2013. Offshore observations of Eastern red bats (*Lasiurus borealis*) in the Mid-Atlantic United States using multiple survey methods. *PLoS One* 8 (12): e83803.
- Hutterer R., T. Ivanova, C. Meyer-Cords & K. Rodrigues 2005. Bat migrations in Europe, a review of banding data and literature. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 28: 1-162.
- Korner-Nievergelt F, R. Brinkmann, I. Niermann & O. Behr 2013. Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. *PLoS ONE* 8(7): e67997. doi:10.1371/journal.pone.0067997.
- Lagerveld S., D. Gerla, J.T. van der Wal, P. de Vries, R. Brabant, E. Stienen, K. Deneudt, J. Manshanden & M. Scholl, 2017. Spatial and temporal occurrence of bats in the southern North Sea area. Wageningen Marine Research (University & Research centre), Wageningen Marine Research report C090/17; 52 p.
- Lang A.B., E.K.V. Kalko, H. Römer, C. Bockholdt, & D.K.N. Dechmann 2006. Activity levels of bats and katydids in relation to the lunar cycle. *Oecologia* 146: 659–666. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-005-0131-3>.
- Limpens H.J.G.A., M. Boonman, F. Korner-Nievergelt, E.A. Jansen, M. van der Valk, M.J.J. La Haye, S. Dirksen & S.J. Vreugdenhil 2013. Wind turbines and bats in the Netherlands

- Measuring and predicting. Report 2013.12, Zoogdiervereniging & Bureau Waardenburg.
- Limpens H.J.G.A., S. Lagerveld, I. Ahlén, D. Anxionnat, T. Aughney, H.J. Baagøe, , L. Bach, P. Bach, J.P.C. Boshamer, K. Boughey, T. Le Campion, M. Christensen, J.J.A. Dekker, T. Douma, M.-J. Dubourg-Savage, J. Durinck, M. Elmeros, A.-J. Haarsma, J. Haddow, D. Hargreaves, J. Hurst, E.A. Jansen, T.W. Johansen, J. de Jong, D. Jouan, J. van der Kooij, E.-M. Kyheroinen, F. Mathews T.C. Michaelsen, J.D. Møller, G. Pētersons, N. Roche, L. Rodrigues , J. Russ, Q. Smits, S. Swift, E.T. Fjederholt, P. Twisk, B. Vandendriesche & M.J. Schillemans 2017. Migrating bats at the southern North Sea - Approach to an estimation of migration populations of bats at southern North Sea . Rapport 2016.031. Zoogdiervereniging, Nijmegen/ Wageningen Marine Research.
- Petersons G. 2004. Seasonal migrations of north-eastern populations of Nathusius' bat *Pipistrellus nathusii* (Chiroptera). *Myotis* 41-42: 49-56.
- Rijkswaterstaat 2015. Kader Ecologie en Cumulatie t.b.v. uitrol windenergie op zee Deelrapport B - Bijlage Imares onderzoek Cumulatieve effecten op vogels en vleermuizen. Ministerie van Economische Zaken en Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag.
- Roemer C., T. Disca, A. Coulon & Y. Bas 2017. Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological conservation* 215: 116-122.
- Rydell J., L. Bach, P. Bach, L. Guia Diaz, J. Furmankiewicz, N. Hagner-wahlsten, E-M. Kyheroinen, T. Lilley, M. Masing, M.M. Meyer, G. Pētersons, J. Šuba, V. Vasko, V. Vintulis & A. Hedenström, 2014. Phenology of Migratory Bat Activity Across the Baltic Sea and the South-Eastern North Sea. *Acta Chiropterologica*. 16. 139–147. 10.3161/150811014X683354.
- Schirmacher M., A. Prichard, T. Mabee & C. Hein. 2017. Multi-year operational minimization study in West Virginia: potential novel strategy to reducing bat fatalities at wind turbines. Presentation at WW2017, Estoril.
- Šuba J. 2014. Migrating Nathusius's pipistrelles *Pipistrellus nathusii* (Chiroptera: Vespertilionidae) optimise flight speed and maintain acoustic contact with the ground. *Environmental and Experimental Biology* (2014) 12: 7–14.
- Speakman J.R. & P.A. Racey 1991. No cost of echolocation for bats in flight. *Nature*. 1991 Apr 4;350(6317):421-3.
- Wellig S.D., S. Nusslé, D. Miltner, O. Kohle, O. Glazit, V. Braunisch, M.K. Obrist & R. Arlettaz 2018. Mitigating the negative impacts of tall wind turbines on bats: Vertical activity profiles and relationships to wind speed. *PLoS One*. 2018 Mar 21;13(3):e0192493. doi: 10.1371/journal.pone.0192493. eCollection 2018.



**Bureau Waardenburg bv**

Onderzoek en advies voor ecologie en landschap

Postbus 365, 4100 AJ Culemborg

Telefoon 0345-512710, Fax 0345-519849

E-mail [info@buwa.nl](mailto:info@buwa.nl), [www.buwa.nl](http://www.buwa.nl)