

Monitoring van vleermuizen in windparken op land

E. Klop, S. Lagerveld, M. Boonman, B. Jonge Poerink, S. Halters & M.J. Epe



2023.41

rapport van de Zoogdierverseniging
in het kader van NIEWHOL-subsidie ministerie van LNV

Monitoring van vleermuizen in windparken op land

Auteurs:	E. Klop (Altenburg & Wymenga), S. Lagerveld (Wageningen Marine Research), M. Boonman (Waardenburg Ecology), B. Jonge Poerink (EcoSensys), S. Halters (Buijs Eco Consult) & M.J. Epe (Zoogdierverseniging)
Omslagfoto:	Dwergvleermuis <i>spec.</i> als slachtoffer van een windturbine (fotograaf: S. Halters)
Datum uitgave:	23 mei 2024
Status:	definitief
Rapportnummer:	2023.41
Projectnummer:	2021.043.3/4/5
Productie:	Zoogdierverseniging , onderdeel van de Zoogdierverseniging Toernooiveld 1 6525 ED Nijmegen Postbus 6531 6503 GA Nijmegen 024 7410500 secretariaat@zoogdierverseniging.nl www.zoogdierverseniging.nl
Subsidieverstrekker:	Ministerie van LNV



Dit rapport kan geciteerd worden als:

Klop, E., S. Lagerveld, M. Boonman, B. Jonge Poerink, S. Halters & M.J. Epe. 2024. Monitoring van vleermuizen in windparken op land. Rapport 2023.41. Zoogdierverseniging, Nijmegen.

De Zoogdierverseniging is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van de Zoogdierverseniging; opdrachtgever vrijwaart de Zoogdierverseniging voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Niets uit dit rapport mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en de Zoogdierverseniging, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Inhoud

1	Inleiding	8
1.1	Achtergrond	8
1.2	Monitoringsprotocol vleermuizen	9
1.3	Leeswijzer	9
2	Preconstructie-onderzoek	11
2.1	Doel	11
2.2	Achtergrond	11
2.3	Uitgangspunten en randvoorwaarden	13
2.4	Opzet preconstructie-onderzoek	14
2.4.1	Vooronderzoek	14
2.4.2	Vaststellen risicofactoren en gebruiksfuncties	15
2.4.3	Identificatie werkzaamheden	15
2.4.4	Veldonderzoek	16
2.4.5	Dataverwerking, interpretatie en rapportage	18
2.5	Nader onderzoek zeldzame vleermuizen	19
2.5.1	Opsporen verblijfplaatsen	19
2.5.2	Functie plangebied	20
3	Akoestische monitoring	21
3.1	Doel	21
3.2	Algemene werkwijze en principes akoestische monitoring bij windturbines	21
3.3	Onderzoeksinspanning	23
3.4	Eisen meetapparatuur	24
3.5	Stroomuitval en elektromagnetische straling	25
3.6	Controle op afstand	25
3.7	Minimale onderzoeksduur	26
3.8	Dataverwerking	26
4	Slachtoffermonitoring	27

4.1	Doel	27
4.2	Noodzaak	27
4.3	Opzet	27
4.4	Registratie velddata	29
4.5	Correctiefactoren	29
4.5.1	Vindkans	30
4.5.2	Predatiekans	30
4.5.3	Zoekoppervlak	32
4.6	Statistische analyse	32
4.6.1	Vindkans	32
4.6.2	Predatiekans	32
4.6.3	GenEst	33
4.6.4	R-script	34
4.6.5	Zoekoppervlak	34
4.7	Wat te doen bij nul slachtoffers?	35
5	Ontwerp stilstandvoorziening	36
5.1	Doel	36
5.2	Achtergrond	36
5.3	Uitgangspunten en randvoorwaarden	38
5.3.1	Locatiespecifiek	38
5.3.2	Soortspecifiek	38
5.3.3	Relatie akoestische activiteit en aantal dieren	39
5.3.4	Ruimtelijke spreiding	39
5.3.5	Verhouding opnamen en slachtofferrisico	40
5.3.6	Invloed van draaisnelheid	40
5.4	Statistisch model	40
5.5	Presentatie van de uitkomsten	41
5.6	Werkwijze	41
5.7	Weerdata	44

6	Kennislacunes	45
7	Literatuurlijst	46
8	Bijlagen	51
	Bijlage 1 - Definities	52
	Bijlage 2 – Standaardinstellingen stationaire recorders	53



Samenvatting

In het kader van door de ministeries van LNV en EZ beschikbaar gesteld onderzoeksbudget voor kennislacunes op het gebied van vleermuizen en windturbines is het protocol voor onderzoek naar vleermuizen in windparken geactualiseerd. Het oorspronkelijke protocol (Boonman *et al.* 2013) en de aanpassing daarop (Brenninkmeijer *et al.* 2021) zijn hierbij geactualiseerd vanwege veranderingen in de sector en nieuwe inzichten in de wetenschappelijke literatuur. Daarnaast is ook een protocol voor het preconstructie-onderzoek, voorafgaand aan de realisatie van een windpark, toegevoegd.

Bij de totstandkoming van dit onderzoek zijn experts van verschillende organisaties betrokken die zich bezighouden met de verschillende aspecten van onderzoek naar vleermuizen in windparken. Er is voor de voorgestelde minimale eisen die aan goed onderzoek gesteld worden, zoveel mogelijk gewerkt met wetenschappelijke onderbouwingen, maar op sommige punten is ook gebruik gemaakt van in gezamenlijk overleg opgestelde *expert judgement* van de experts.

Een aantal belangrijke veranderingen ten opzichte van het protocol van Brenninkmeijer *et al.* (2021) is dat er wordt gemonitord totdat is aangetoond dat de mortaliteit lager is dan de drempelwaarde uit de ontheffing, dat er ook in het voorjaar slachtoffermonitoring plaatsvindt, dat het akoestisch onderzoek een paar weken langer doorloopt en dat dit gebeurt bij meer turbines.

In Tabel 1 staat een beknopt overzicht van de belangrijkste punten uit dit protocol. Meer details en de onderbouwing ervan zijn te vinden in de betreffende hoofdstukken.

Tabel 1. Samenvattend overzicht van de minimale eisen bij het onderzoek in windparken.

preconstructie-onderzoek	hoofdstuk 2
Vooronderzoek	Inventarisatie en beoordeling bestaande gegevens en informatiebronnen
Vaststellen risicofactoren en gebruiksfuncties	Inventarisatie terreintypen in en rond plangebied; risicofactoren (preferente landschapselementen, risicogebieden, kolonies en verblijfplaatsen)
Identificatie werkzaamheden	Werkzaamheden en potentiële effecten vastleggen voor de aanlegfase, operationele fase en ontmanteling
Veldonderzoek	Twee jaar met zowel mobiele detectoren als stationaire monitoring
Dataverwerking en rapportage	Beschrijving van de beoogde ingreep, monitoringsresultaten en duiding per soort van de gebruiksfuncties en het belang van het plangebied Impact per gebruiksfunctie per fase Indien van toepassing, aanbevelingen per fase Beschrijving/duiding van onzekerheden (met name van belang bij windparken waar geen slachtoffermonitoring kan plaatsvinden)
Nader onderzoek zeldzame soorten	Van toepassing indien tijdens de kraamperiode regelmatig bosvleermuis, tweekleurige vleermuis en/of kleine dwergvleermuis in het plangebied zijn waargenomen

akoestische monitoring	hoofdstuk 3
Stationaire monitoring	Minimaal twee turbines met recorder, oplopend met aantal turbines Tussen 1 april en 1 november Meting vanuit gondel en op tiplaaft
slachtofferonderzoek	hoofdstuk 4
Onderzoeksinspanning	Monitoring totdat is aangetoond dat mortaliteit lager is dan de drempelwaarde uit de ontheffing of vergunning en ten minste 2 jaar Minimaal zes turbines, oplopend met grootte windpark Minimaal 1 ha binnen 0,5 x tiphoogte + al het verhard oppervlak tot afstand tiphoogte Voorjaar (apr-mei) + najaar (juli – half oktober) Twee- tot driemaal per week zoeken
Registratie velddata	Digitaal in mobiel GIS Alle relevante metadata Soort, geslacht, leeftijd (indien mogelijk), versheid slachtoffer enz. Foto's
Correctiefactoren	Vindkans: minimaal 20 karkassen per terreintype, seizoen enz. Predatiekans: controleren op dag 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14 Zoekoppervlak: correctie afhankelijk van afstand tot mast
stilstandvoorziening	hoofdstuk 5
Ontwerp stilstandmodel	Op basis van akoestische activiteit in het windpark in combinatie met het aantal slachtoffers
Uitgangspunten en randvoorwaarden	De stilstandvoorziening is locatiespecifiek en soortspecifiek; Er is een relatie tussen de gemeten akoestische activiteit en het aantal vleermuizen binnen de rotorzone; Er wordt rekening gehouden met de ruimtelijke spreiding van vleermuizen in het windpark; Verhouding tussen aantal opnamen en aantal slachtoffers per soort is constant gedurende het seizoen en tussen verschillende turbines; Het risico op aanvaring is nul bij een omloopsnelheid tot 1 RPM en neemt daarna lineair toe met toenemende draaisnelheid.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Nederland bevindt zich volop in de energietransitie die nodig is om klimaatverandering en de negatieve effecten op mens en natuur zoveel mogelijk tegen te gaan. Energie opgewekt door windturbines is hierbij een belangrijk onderdeel.

Windparken en hoogspanningsleidingen hebben onder andere sterfte van vogels en vleermuizen door aanvaring, en verstoring door habitatverlies of barrièrewerking, tot gevolg. De gunstige Staat van Instandhouding van kwetsbare vogel- en vleermuissoorten komt hiermee onder druk te staan.

Het Rijk (ministeries van LNV en EZK), provincies, brancheorganisatie NWEA, TenneT en groene partijen (Vogelbescherming Nederland, Zoogdierverseniging en de Natuur- en MilieuFederaties) werken samen in het traject *Natuurinclusieve energietransitie voor wind en hoogspanning op land* (NIEWHOL). Het doel van deze zogenaamde *Mutual Gain Approach* is om te komen tot afspraken waarmee zowel wordt gezorgd voor de doorgang van de ontwikkeling van windparken, als voor een vermindering van de negatieve effecten ervan op kwetsbare vogels en vleermuizen.

Een van de resultaten van dit traject is het beschikbaar stellen van onderzoeksbudget; dit is gebeurd middels een subsidiebeschikking (1400012278) aan de Zoogdierverseniging. Hiermee wordt een aantal projecten gefinancierd waaronder het herzien van het monitoringsprotocol in windparken en de randvoorwaarden voor vooronderzoek. De ecologische monitoring van windparken op land richt zich voornamelijk op vliegactiviteit en slachtoffers onder vogels en vleermuizen en vormt vaak een integraal onderdeel van de vergunningsvoorwaarden. Dit levert waardevolle informatie op over het gebruik van het windpark door deze soortgroepen en de risico's op aanvaring, waaraan ook de resultaten van eerder uitgevoerde effectbeoordelingen kunnen worden gespiegeld.

Een hoger liggend doel is dat door de uitvoering van verschillende monitoringsprojecten steeds meer kennis wordt vergaard over de ecologische impact van windparken, waardoor de cumulatieve effecten van de energietransitie door windparken op land beter kunnen worden geduïd. Ook kunnen mitigerende maatregelen, zoals een stilstandvoorziening door een verbeterde beschikbaarheid van data, beter worden onderbouwd. Tegelijkertijd is de complexiteit van monitoring hoog (zowel het veldwerk als de analyse en interpretatie) en is sprake van verschillen in meetmethodiek, looptijd, locatiespecifieke factoren etc. waardoor de resultaten van verschillende monitoringsprogramma's vaak niet eenduidig in samenhang zijn te interpreteren. Verwacht mag worden dat het volgen van een goed uitgewerkt monitoringsprotocol voor vleermuizen kan bijdragen om deze verschillen te verkleinen.

Het voorliggende monitoringsprotocol vleermuizen in windparken is een van de resultaten van het NIEWHOL-onderzoeksprogramma. Het opstellen van het protocol is gedaan door specialisten van verschillende bureaus en uit de wetenschap, waarbij een gezamenlijk en breed gedragen product is



nagestreefd. De Zoogdierverseniging heeft de rol van penvoerder vervuld en tevens inhoudelijk bijgedragen. Daarnaast zijn wij dankbaar voor de hulp Manuela Huso (USGS) die heeft geholpen met de statistische onderbouwing van de opzet en analyse van slachtoffergegevens. Ten slotte heeft er via het Netwerk Groene Bureaus (NGB) een review van het protocol plaatsgevonden; dank voor alle waardevolle opmerkingen die we daarbij terugkregen.

1.2 Monitoringsprotocol vleermuizen

Dit protocol, dat zich enkel op vleermuizen richt, bouwt voort op twee eerder verschenen protocollen: het protocol vleermuisonderzoek bij windturbines van Boonman *et al.* (2013) en het monitoringsprotocol wind op land 2021 van Brenninkmeijer *et al.* (2021). Het protocol bestaat uit een set randvoorwaarden waaraan de monitoring van vleermuizen (zowel akoestische monitoring als slachtofferonderzoek) moet voldoen. Daarbij worden meerdere doelen nagestreefd:

- het geven van praktische werkinstructies voor de opzet en uitvoering van een kwalitatief degelijk monitoringsprogramma;
- het stellen van minimum kwaliteitseisen waaraan de monitoring moet voldoen om tot zinvolle resultaten te kunnen leiden;
- het standaardiseren van monitoringsonderzoek, zodat de resultaten uit verschillende windparken onderling kunnen worden vergeleken.

Zoals hiervoor gezegd wordt door de standaardisatie en minimum kwaliteitseisen een betere analyse van cumulatieve sterfte in Nederlandse windparken mogelijk gemaakt. Dit is van groot belang om de ecologische impacts van de huidige energietransitie beter te kunnen duiden. Ten tweede wordt een verfijning (specifieker stilstaan en dus meer ruimte voor in bedrijf zijn van de turbine) of aanscherping (bij meer weersomstandigheden stilstaan) van de bestaande stilstandmodellen mogelijk gemaakt, waarbij een reductie in mortaliteit wordt bereikt door middel van stilstand onder bepaalde weersomstandigheden. Zowel voor vleermuizen als voor de windparken is het van belang dat een stilstandvoorziening zo effectief mogelijk is. Het is dus zaak dat verzamelde data beschikbaar zijn voor nadere analyse en onderzoek zodat dit protocol met enige regelmaat (elke twee tot vier jaar) kan worden aangepast aan de nieuwste inzichten die zijn opgedaan.

1.3 Leeswijzer

Dit protocol is opgedeeld in vier inhoudelijke thema's:

1. preconstructie-onderzoek
2. akoestische monitoring
3. slachtofferonderzoek
4. ontwerp stilstandvoorziening

De verschillende monitoringsvoorschriften per onderdeel zijn nader uitgewerkt en onderbouwd in de hoofdstukken 2 tot en met 5; deze volgen de hierboven genoemde inhoudelijke thema's. Daarnaast



staan in hoofdstuk 6 enkele kennislacunes genoemd. In Bijlage 1 staat een aantal definities en in Bijlage 2 wordt een overzicht gegeven van de standaardinstellingen voor stationaire recorders.



2 Preconstructie-onderzoek

2.1 Doel

Het doel van dit protocol is het definiëren van een eenduidige werkwijze met betrekking tot het benodigde vleermuisonderzoek in het kader van de ontwikkeling van een windpark. Het preconstructie onderzoek moet antwoord geven op de vraag wat de aanvaringsrisico's zijn voor de verschillende soorten vleermuizen in het geplande windpark.

De in dit protocol uitgewerkte richtlijnen voor onderzoek moeten gezien worden als de minimale standaard. Een uitgebreider preconstructie-onderzoek kan, afhankelijk van de ligging en omvang van het windpark en de plaatselijke context, noodzakelijk of aan te bevelen zijn.

2.2 Achtergrond

Vanwege de negatieve effecten die windparken kunnen hebben op zowel lokale als migrerende populaties vleermuizen is het essentieel dat, voorafgaand aan de bouw van het windpark, nauwgezet wordt onderzocht wat deze effecten kunnen zijn. Tot op heden zijn in Nederland, bij gebrek aan een specifiek protocol voor preconstructie-onderzoeken, veelal de richtlijnen van het Vleermuisprotocol (Vleermuisvakberaad *et al.* 2021) gebruikt. Het Vleermuisprotocol geeft aan dat *“als er grootschalige lijnvormige landschapselementen zoals kustzones, grootschalige dijken, duinenrijen, rivierdalen of waterpartijen die een verbindingsroute zouden kunnen vormen tussen zomer- en winterleefgebieden aanwezig zijn in een plangebied er een nader onderzoek naar mogelijke migratieroutes van o.a. meervleermuis, rosse vleermuis, ruige dwergvleermuis en tweekleurige vleermuis in voor- en najaar moet plaatsvinden”*.

Het Vleermuisprotocol is ontwikkeld voor kleinere ingrepen en is daarmee ontoereikend om een goede inschatting van het risico op aanvaringslachtoffers in een plangebied te kunnen maken. Om bij de planning van windparken rekening te kunnen houden met vleermuizen is in het kader van NIEWHOL daarom een protocol voor preconstructie-onderzoek opgesteld. Dit protocol is grotendeels gebaseerd op de richtlijnen van Eurobats voor vleermuisonderzoek bij windparken (Rodrigues *et al.* 2015), in combinatie met recente wetenschappelijke literatuur. Daarnaast is gebruik gemaakt van de standaardrichtlijnen die in de Duitse deelstaat Niedersachsen worden gehanteerd (Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz Niedersachsen 2016). Het noorden van de deelstaat Niedersachsen is qua ligging, landschappen, vleermuissoorten en migratieroutes grotendeels met Nederland te vergelijken.

Een complicerende factor van een preconstructie-vleermuisonderzoek is dat de realisatie van een windpark zorgt voor een verandering van de habitat en dat vleermuizen soms worden aangetrokken door windturbines (Guest *et al.* 2022; Leroux *et al.* 2022). Dit maakt het lastig om op basis van uitsluitend preconstructie-onderzoek betrouwbare uitspraken te doen over het aantal te verwachten slachtoffers. Dit wordt ondersteund door verschillende onderzoeken waarbij geen relatie is gevonden tussen de preconstructie akoestische activiteit en het aantal postconstructie slachtoffers (Hein *et al.*

2013, Solick *et al.* 2020). De uitkomsten van preconstructie-onderzoek dienen daarom als indicatief te worden beschouwd en dienen in alle gevallen te worden gevalideerd met postconstructie akoestische monitoring (hoofdstuk 3) en slachtoffermonitoring (hoofdstuk 4).

Offshore windparken of windparken in meren en plassen verdienen specifieke aandacht omdat het bij deze windparken niet mogelijk is postconstructie-slachtofferonderzoek uit te voeren (Lagerveld *et al.* 2020). Foutieve aannamen tijdens het preconstructie-onderzoek kunnen in dat geval grote gevolgen hebben omdat deze niet aan het licht zullen komen gedurende de gehele levensduur van het windpark (gewoonlijk ca. 25 - 30 jaar).

Bij het preconstructie-onderzoek wordt ook gekeken naar risicofactoren zoals bepaalde landschapselementen, de ligging in of nabij risicogebieden (Box 2.2) en *expert judgement* van de onderzoeker zelf.

Box 2.1. Aandachtsoorten.

De aanvaringsrisico's bij windturbines zijn niet voor alle soorten gelijk. Laagvliegende soorten, zoals meervleermuis, watervleermuis, baardvleermuis en grootoorvleermuis hebben slechts een geringe kans op aanvaring met een windturbine. Hoger vliegende en/of migrerende vleermuissoorten maken een relatief grote kans op aanvaring met een windturbine. Voor een onderbouwing van de aanvaringsrisico's in relatie tot vlieghoogte, zie Roemer *et al.* (2017). De volgende soorten lopen de hoogste risico's op aanvaring: rosse vleermuis, bosvleermuis, ruige dwergvleermuis en tweekleurige vleermuis. Daarnaast kunnen ook gewone dwergvleermuis, kleine dwergvleermuis en laatvlieger risico op aanvaring lopen, met name bij turbines met een relatief lage rotorzone (tiplagte <60 meter).

Box 2.2. Risicofactoren.

In het preconstructie-onderzoek moeten de volgende risicofactoren expliciet worden meegenomen in de onderzoeksopzet:

Risicogebieden

Het preconstructie-onderzoek dient zich specifiek te richten op die gebieden die als migratieroute, vliegroute of foerageergebied worden gebruikt door de aandachtsoorten. Bij migratie gaat het om seizoenmigratie tussen zomer en wintergebieden. Vliegroutes betreffen vliegbewegingen tussen verblijfplaats en foerageergebied. De gebieden of regio's met een verhoogde kans op aanvaringslachtoffers onder vleermuizen zijn de kustzone, rivieren en deltagebieden, grote meren, moerassen en bossen.

Landschapselementen

Bepaalde landschapselementen kunnen preferent door vleermuizen worden benut, waardoor sprake is van een verhoogde vleermuisactiviteit en daardoor verhoogde risico's op aanvaring met een windturbine. Het betreft 1) lijnvormige houtopstanden en struiken (lanen, houtwallen, hagen), 2) dijken (zeedijken, slaperdijken, dijken langs rivieren en vaarten etc.), 3) sloten en vaarten met een hoge oevervegetatie, 4) poelen, vijvers en meren, en 5) bosschages.

Verblijfplaatsen

In de directe omgeving van verblijfplaatsen, zoals kraamverblijfplaatsen, zomerverblijfplaatsen, massawinterverblijfplaatsen en (concentraties van) paarverblijfplaatsen, bestaat een verhoogde vleermuisactiviteit en een verhoogde kans op aanvaringslachtoffers. Het gaat daarbij om zowel de foerageergebieden van deze kolonies als de vliegroutes van en naar de verblijfplaatsen. Daarom moeten eventuele verblijfplaatsen van de aandachtsoorten die in het plangebied voorkomen binnen het plangebied plus een bufferzone van 3 – 5 kilometer (zie paragraaf 2.5) in kaart worden gebracht. Deze afstand wordt gemeten vanaf de randen van het windpark. Ook dienen de lokale vliegroutes van de verblijfplaatsen richting de foerageergebieden in kaart te worden gebracht.

2.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Het preconstructie-onderzoek moet worden uitgevoerd door ervaren personen op het gebied van vleermuisonderzoek. Voor veldmedewerkers geldt dat deze moeten beschikken over minimaal drie jaar veldervaring en een goede kennis van de identificatie en leefwijze van Nederlandse vleermuizen, in staat moeten zijn verblijfplaatsen op te sporen en om de gebruiksfuncties van een gebied vast te stellen. De verantwoordelijk onderzoeker dient te beschikken over degelijke kennis met betrekking



tot de ecologie van vleermuizen in relatie tot windparken en minimaal vijf jaar ervaring met het uitvoeren van effectbeoordelingen.

2.4 Opzet preconstructie-onderzoek

Het preconstructie-onderzoek bestaat uit de volgende onderdelen:

1. vooronderzoek: inventarisatie en beoordeling bestaande gegevens en informatiebronnen;
2. vaststellen potentiële gebruiksfuncties in en rond het plangebied;
3. identificatie werkzaamheden en drukfactoren in ruimte en tijd;
4. veldonderzoek;
5. dataverwerking, interpretatie en rapportage.

2.4.1 Vooronderzoek

Voor aanvang van de veldwerkzaamheden dienen zo veel mogelijk bestaande gegevens te worden geïnventariseerd en beoordeeld. Het gaat dan bijvoorbeeld om informatie over welke soorten in het plangebied aanwezig kunnen zijn (NDFV-Verspreidingsatlas:

<https://www.verspreidingsatlas.nl/zoogdieren> en NDFV-uitvoerportaal <https://ndff-ecogrid.nl/uitvoerportaal/login.zul>), reeds bekende gegevens over vleermuiskolonies en verblijfplaatsen (onder andere via lokale vleermuiswerkgroepen, gemeentelijke soortmanagementplannen), terreinkaarten en informatie over vliegroutes en migratieroutes.

Daarnaast wordt de informatie over het windpark zelf in kaart gebracht, zoals aantallen, afmetingen en de ligging van de turbines. Ten slotte moet ook onderzocht worden welke andere plannen er binnen de invloedssfeer van het te ontwikkelen windpark zijn en op welke manier deze de situatie kunnen (gaan) veranderen; denk hierbij aan voorgenomen natuurcompensatie in de directe omgeving.

Tabel 2. Overzicht van de activiteiten die moeten plaatsvinden bij het vooronderzoek.

activiteit	toelichting
Vaststellen begrenzing studiegebied	Het studiegebied omvat het plangebied waarbinnen de ruimtelijke ingreep plaatsvindt, plus het gebied tot op een afstand van 1 kilometer van het plangebied. Indien er zeldzame soorten worden aangetroffen wordt voor deze soorten het studiegebied vergroot, zie paragraaf 2.5.
Inrichting windpark in kaart brengen	De ruimtelijke inrichting van het toekomstige windpark wordt in kaart gebracht: <ul style="list-style-type: none"> • aantal turbines • afmetingen turbines (ashoogte, rotordiameter, tiplaaagte) • ruimtelijke configuratie • eventuele varianten ten aanzien van bovenstaande aspecten
Vaststellen potentiële soortenlijst	In deze fase zijn alle soorten vleermuizen relevant. Ook de soorten waarvan het aanvaringsrisico verwaarloosbaar is in verband met het mogelijk verloren gaan van verblijfplaatsen, vliegroutes en/of foerageergebied.

2.4.2 Vaststellen risicofactoren en gebruiksfuncties

Aan de hand van bovenstaande informatie kan een eerste inschatting worden gemaakt van de mogelijke aanwezigheid van aandachtsoorten (Box 2.1) of risicofactoren als preferente landschapselementen, vleermuiskolonies en verblijfplaatsen en de ligging van potentiële foerageergebieden, vliegroutes en migratieroutes (Box 2.2).

Tabel 3. Overzicht van de werkzaamheden bij het vaststellen van de risicofactoren en gebruiksfuncties.

activiteit	toelichting
Vaststellen habitats en landschapselementen in het plangebied en de directe omgeving	Op basis van een habitatkaart of verkennend veldbezoek wordt in beeld gebracht welke terreintypen en landschapselementen in en rond het plangebied aanwezig zijn.
Vaststellen risicofactoren (zie Box 3.2)	<ul style="list-style-type: none"> • Preferente landschapselementen • Risicogebieden • Verblijfplaatsen
Identificatie potentiële gebruiksfuncties per soort	<ul style="list-style-type: none"> • Potentiële gebruiksfuncties (zie ook definities in Bijlage 1): <ul style="list-style-type: none"> ○ Migratieroute ○ Vliegroute ○ Foerageergebied ○ Kraamverblijfplaats ○ Zomerverblijfplaats ○ (geclusterde) Paarverblijfplaats ○ Winterverblijfplaats • Leg de potentiële gebruiksfuncties per soort vast in een tabel

2.4.3 Identificatie werkzaamheden

In deze stap worden de verschillende fasen (aanleg, operationeel, ontmanteling) van het windpark zelf in kaart gebracht, zowel ruimtelijk (de configuratie van het windpark) als in de tijd (planning en tijdsduur per fase). De werkzaamheden en potentiële effecten of drukfactoren worden per fase in beeld gebracht.

Tabel 4. Overzicht van de werkzaamheden die op de verschillende momenten aan de orde zijn in de verschillende fases van een windpark.

activiteit	toelichting
Werkzaamheden tijdens aanlegfase	<ul style="list-style-type: none"> • Benodigde werkzaamheden (kappen, slopen, wegaanleg, transport, heien enz.) • Identificatie drukfactoren (verlies van foerageergebied en/of verblijfplaatsen, barrièrewerking, verlichting, geluid enz.) • Planning en tijdsduur van de werkzaamheden en drukfactoren
Werkzaamheden tijdens operationele fase	<ul style="list-style-type: none"> • Windenergieproductie • Onderhoudsactiviteiten • Identificatie drukfactoren (sterfte, barrièrewerking, aantrekking, verlichting) • Tijdsduur van de werkzaamheden en drukfactoren
Ontmanteling van het windpark	<ul style="list-style-type: none"> • Benodigde werkzaamheden (slopen, transport enz.) • Identificatie van drukfactoren (verlichting, geluid enz.) • Tijdsduur van de werkzaamheden en drukfactoren
Vastlegging potentiële effecten	Leg per fase de werkzaamheden en drukfactoren vast in de tabellen van de gebruiksfuncties per soort

2.4.4 Veldonderzoek

Het veldonderzoek heeft als doel om de vliegactiviteit en gebruiksfuncties per soort in en rond het plangebied vast te stellen, om op basis daarvan in fase 5 de effectbeoordeling te kunnen maken. In dit protocol worden enkele randvoorwaarden gesteld die afwijken van het laatste monitoringsprotocol (Brennikmeijer *et al.* 2021):

- De onderzoeksperiode wordt verlengd naar minimaal twee jaar. Op die manier kunnen fluctuaties in vleermuisactiviteit beter worden ondervangen en kan indien nodig in het tweede jaar aanvullend onderzoek worden uitgevoerd als de resultaten van het eerste jaar daar aanleiding toe geven. In uitzonderlijke gevallen kan de noodzaak bestaan voor een derde jaar veldonderzoek.
- Naast mobiel detectoronderzoek wordt standaard met stationaire recorders gemeten, zodat niet alleen het ruimtelijk gebruik goed kan worden vastgelegd, maar ook trends in vliegactiviteit over het seizoen per soort kunnen worden gekwantificeerd.
- Er wordt een maximum gesteld aan het oppervlak dat door één veldwaarnemer effectief kan worden bemonsterd.

Het akoestische onderzoek vindt plaats in de periode 1 april – 15 november. Binnen deze periode zijn de voorjaarsmigratie, de zomer/kraamperiode en de najaarsmigratie het meest van belang. Hierbij worden de volgende datumgrenzen aangehouden:

- voorjaarsmigratie: 1 april – 1 juni;
- kraam- en zomerperiode: 1 juni – 15 augustus;
- najaarsmigratie: 15 augustus – 15 november.

Het onderzoek met **mobiele detectoren** heeft als doel om het ruimtelijk terreingebruik van vleermuizen op de planlocatie in beeld te brengen. Doel is om de gebruiksfuncties (zie Tabel 3) waaronder vliegroutes, migratieroutes en (belangrijke) verblijfplaatsen in het onderzoeksgebied in kaart te brengen. Hiervoor worden heterodyne batdetectors met *time expansion* en de mogelijkheid tot het maken van opnamen gebruikt. Het aantal meetnachten is afhankelijk van de te verwachten gebruiksfuncties van het gebied per soort; hiervoor wordt verwezen naar het meest actuele Vleermuisprotocol (<https://www.netwerkgroenebureaus.nl/werken-aan-kwaliteit/soortinventarisatieprotocollen/vleermuisprotocol>).

De **stationaire akoestische monitoring** wordt uitgevoerd door middel van ultrasonische recorders (Avisoft, Batcorder, Batlogger of gelijkwaardig). Het aantal in te zetten recorders neemt toe met het aantal turbines in het windpark (zie Tabel 5) waarbij de recorders zodanig over het plangebied worden verspreid dat daardoor een goede dekking van het toekomstige windpark wordt verkregen. De recorders worden op ca. 5 meter hoogte geplaatst. Metingen op grotere hoogte (gondel) worden alleen gedaan indien daartoe mogelijkheden zijn, zoals een bestaand windpark (bij *repowering*), een hoge meetmast en dergelijke. Indien windturbines in water worden gerealiseerd kunnen boeien worden gebruikt. Om de invloed van neerslag op de microfoon te beperken, wordt deze in oostelijke richting geplaatst. Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de meetlocaties is het van belang dat de microfoon recentelijk (minder dan 1 jaar geleden) is geïjkt door de fabrikant of leverancier, dat dagelijks een controle van de microfoon met een testsignaal plaatsvindt en dat dagelijks een statusupdate van het testsignaal van de microfoon, de accuspanning en de ruimte op het opslagmedium wordt doorgegeven. De belangrijkste instellingen voor Avisoft, Batcorder en Batlogger zijn gegeven in Bijlage 2.

Na afloop van het eerste veldseizoen worden de resultaten geëvalueerd en wordt vastgesteld of in het tweede jaar aanvullend onderzoek (naast het standaardmeetprotocol) moet plaatsvinden. Het gaat hier met name om de zeldzame soorten kleine dwergvleermuis, tweekleurige vleermuis en bosvleermuis¹. Indien een van deze soorten tijdens de kraamperiode op regelmatige basis wordt aangetroffen dan dient de verblijfplaats van deze dieren te worden opgespoord (zie hiervoor paragraaf 2.5). Telemetrisch onderzoek is in dat geval de meest efficiënte methode om dat te doen. Het telemetrisch onderzoek kan op twee manieren goed worden gebruikt om meer inzicht te krijgen in het terreingebruik van vleermuizen in een plangebied:

1. Door het vangen en zenderen van vleermuizen binnen het plangebied. Aan de hand van het gezenderde dier kan vervolgens de verblijfplaats worden opgespoord. Deze methode werkt voor de aandachtsoorten vooral gedurende de zomer- en kraamperiode.
2. Door het vangen en zenderen van vleermuizen bij bekende verblijfplaatsen kan worden onderzocht in hoeverre dieren vanuit deze verblijfplaats gebruik maken van het plangebied, waar de vliegroutes richting de foerageergebieden lopen en wat de belangrijkste foerageergebieden

¹ Andere zeldzame soorten worden in dit protocol niet meegenomen omdat daarvan bekend is dat ze veel minder vaak slachtoffer worden van windturbines. Dat laat niet onverlet dat bij er bij de ontheffingsaanvraag rekenschap gegeven moet worden van het voorkomen van deze soorten en de impact die een windpark op de populatie kan hebben.

binnen het plangebied zijn.

Bij het vangen en zenderen van vleermuizen dienen de 'Richtlijnen vangen en hanteren van vleermuizen' zoals opgenomen in het 'Voorstel voor invoering van het Vleermuis-vangstelsysteem' te worden aangehouden; meer hierover is te vinden op de website vleermuizenvangen.nl.

Tabel 5. Overzicht van de werkzaamheden van het veldwerk.

activiteit	toelichting																
Mobiel detectoronderzoek	<ul style="list-style-type: none"> • Waarnemers zijn uitgerust met een standaard veldwerk-kit voor vleermuiswerkers: thermische camera, kwalitatief goede handheld batdetector • Aantal meetnachten conform Vleermuisprotocol • Maximaal oppervlak per waarnemer 1 km² per bezoek van 2 uur 																
Stationaire akoestische monitoring	<ul style="list-style-type: none"> • Periode 1 april – 15 november • Aantal detectors is afhankelijk van beoogd aantal windturbines: <table border="1" data-bbox="571 792 1075 1099"> <thead> <tr> <th>Aantal turbines</th> <th>Aantal detectors</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2 - 5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>6 - 10</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>11-15</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>16-20</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>21-30</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>>30</td> <td>25% van het totaal aantal</td> </tr> </tbody> </table> 	Aantal turbines	Aantal detectors	1	1	2 - 5	2	6 - 10	4	11-15	5	16-20	6	21-30	7	>30	25% van het totaal aantal
Aantal turbines	Aantal detectors																
1	1																
2 - 5	2																
6 - 10	4																
11-15	5																
16-20	6																
21-30	7																
>30	25% van het totaal aantal																
Duiding en evaluatie van veldresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • Verslaglegging per soort van de: <ul style="list-style-type: none"> ○ stationair gemeten akoestische activiteit ○ verblijfplaatsen ○ foerageergebieden ○ vliegroutes ○ migratieroutes • Initiële duiding van de gegevens en verificatie van de initieel ingeschatte potentiële gebruiksfuncties per soort • Vaststellen noodzaak aanvullend onderzoek (bijvoorbeeld telemetrie, veldbezoeken of een grotere afstand van het plangebied) 																

2.4.5 Dataverwerking, interpretatie en rapportage

Op basis van de resultaten van het veldonderzoek wordt een effectbeoordeling opgesteld, waarin de volgende onderdelen aan bod komen:

1. inleiding en achtergrond (beschrijving windpark, fasering enzovoort);
2. methoden, opzet en verantwoording onderzoek;
3. beschrijving veldresultaten;
4. duiding per soort van de gebruiksfuncties en het belang van het plangebied voor deze soort

5. beoordeling van de effecten per gebruiksfunctie per soort voor zowel de aanlegfase, de operationele fase en de ontmanteling;
6. noodzaak en effectiviteit van mitigerende maatregelen;
7. cumulatieve effecten;
8. conclusies.

Tabel 6. Overzicht van de werkzaamheden voor de rapportage.

activiteit	toelichting
Rapportage	<ul style="list-style-type: none"> • Beschrijving van de beoogde ingreep (3 fasen) en indien aan de orde andere (geplande) ingrepen • Monitoringsresultaten • Duiding per soort van de gebruiksfuncties en het belang van het plangebied • Inschatting van de impact per gebruiksfunctie per fase • Indien van toepassing, aanbevelingen per fase: <ul style="list-style-type: none"> ○ Aanleg (bijvoorbeeld locaties windturbines) ○ Operationeel (stilstandvoorziening) ○ Ontmanteling • Beschrijving/duiding van onzekerheden (met name van belang bij windparken waar geen slachtoffer-monitoring kan plaatsvinden)

2.5 Nader onderzoek zeldzame vleermuizen

Wanneer tijdens het eerste jaar van het preconstructie-onderzoek uit akoestische metingen blijkt dat regelmatig bosvleermuis, tweekleurige vleermuis en/of kleine dwergvleermuis in het plangebied voorkomen, dan dient in het tweede jaar nader onderzoek naar deze soorten te worden verricht. De populaties van bosvleermuis, tweekleurige vleermuis en kleine dwergvleermuis in Nederland zijn zeer klein, zodat kleine aantallen slachtoffers al snel een effect op de staat van instandhouding van deze soorten kunnen hebben. Het is aan de uitvoerend onderzoeker om te onderbouwen of dit nader onderzoek wel of niet nodig is.

Het nader onderzoek hoeft alleen te worden uitgevoerd als het gaat om waarnemingen tijdens de kraamperiode van de betreffende soorten. Dergelijke waarnemingen zijn een indicatie dat er mogelijk een kraamverblijfplaats in of nabij het plangebied aanwezig is. Het aanvullend onderzoek is gericht op:

- het opsporen van eventuele (kraam)verblijfplaatsen binnen en in de omgeving van het plangebied;
- het bepalen van de functie van het plangebied voor de lokale populatie.

2.5.1 Opsporen verblijfplaatsen

Voor de zeldzame vleermuizen die tijdens de kraamperiode regelmatig zijn waargenomen dient in een gebied met een bepaalde straal om het plangebied naar verblijfplaatsen te worden gezocht. Op



basis van de status van de soort in Nederland en de gemiddelde afstand tussen (kraam)verblijfplaatsen en foerageergebieden, zijn soortspecifieke afstanden (i.e. straal zoekgebied gemeten vanaf buitencontour plangebied) vastgesteld waarbinnen naar verblijfplaatsen gezocht dient te worden.

Tabel 7. Overzicht van te onderzoeken gebied van de zeldzame soorten.

soort	straal zoekgebied verblijfplaatsen	bronnen bij genoemde straal
bosvleermuis	5 kilometer	Waters <i>et al.</i> (1999)
tweekleurige vleermuis	5 kilometer	Safi (2006); Jonge Poerink <i>et al.</i> (in prep.)
kleine dwergvleermuis	3 kilometer	Kirkpatrick <i>et al.</i> (2018)

Verblijfplaatsen van de genoemde soorten kunnen worden opgespoord door middel van:

- ochtendtellingen, waarbij aan de hand van zwermgedrag de verblijfplaatsen gelokaliseerd kunnen worden
- overdag zoeken van koloniebomen van bosvleermuis aan de hand van sociale geluiden in de kolonieboom en mestsporen bij de invliegopening
- het vangen en zenderen van individuen, om deze vervolgens naar de verblijfplaats te volgen. Opgemerkt dient te worden dat in de praktijk deze methode vaak niet toepasbaar zal zijn omdat het vangen van de hoogvliegende soorten binnen de veelal open plangebieden erg moeizaam is.

Indien van bosvleermuis, tweekleurige vleermuis en/of kleine dwergvleermuis in de nabijheid van het plangebied verblijfplaatsen zijn aangetroffen, dan dient het aantal dieren dat gebruik maakt van de verblijfplaatsen door middel van uitvliegtellingen te worden bepaald.

2.5.2 Functie plangebied

Als in de nabijheid van het plangebied (kraam)verblijfplaatsen van bosvleermuis, tweekleurige vleermuis en/of kleine dwergvleermuis zijn aangetroffen dan dient het relatieve belang van het plangebied voor de betreffende groep te worden bepaald. Het relatieve belang van het foerageergebied kan worden bepaald door een combinatie van telemetrisch onderzoek en waarnemen met batdetector en warmtebeeldcamera. Voor het telemetrisch onderzoek worden dieren in de directe nabijheid van de verblijfplaats gevangen en gezenderd. Het vangen en zenderen kan met behulp van mistnetten of harpvallen, waarbij gebruikt kan worden gemaakt van een *bat lure* om de dieren aan te trekken. Er dient een representatief aantal dieren van de lokale populatie te worden gezenderd. Als representatief geldt 10% van het aantal van de betreffende populatie, met een minimum van 10 dieren. De seksen en leeftijdsklassen (eerste kalenderjaar en adult: vanaf tweede kalenderjaar) moeten gelijkmatig worden verdeeld over de steekproef. De dieren moeten per individu minimaal gedurende 7 nachten worden gevolgd. Aan de hand van de homeranges van de individuen en de gezamenlijk gezenderde dieren kan de functie van het plangebied voor de betreffende groep worden gemaakt en een inschatting van de te verwachten risico's van de geplande windmolens op de lokale populatie.

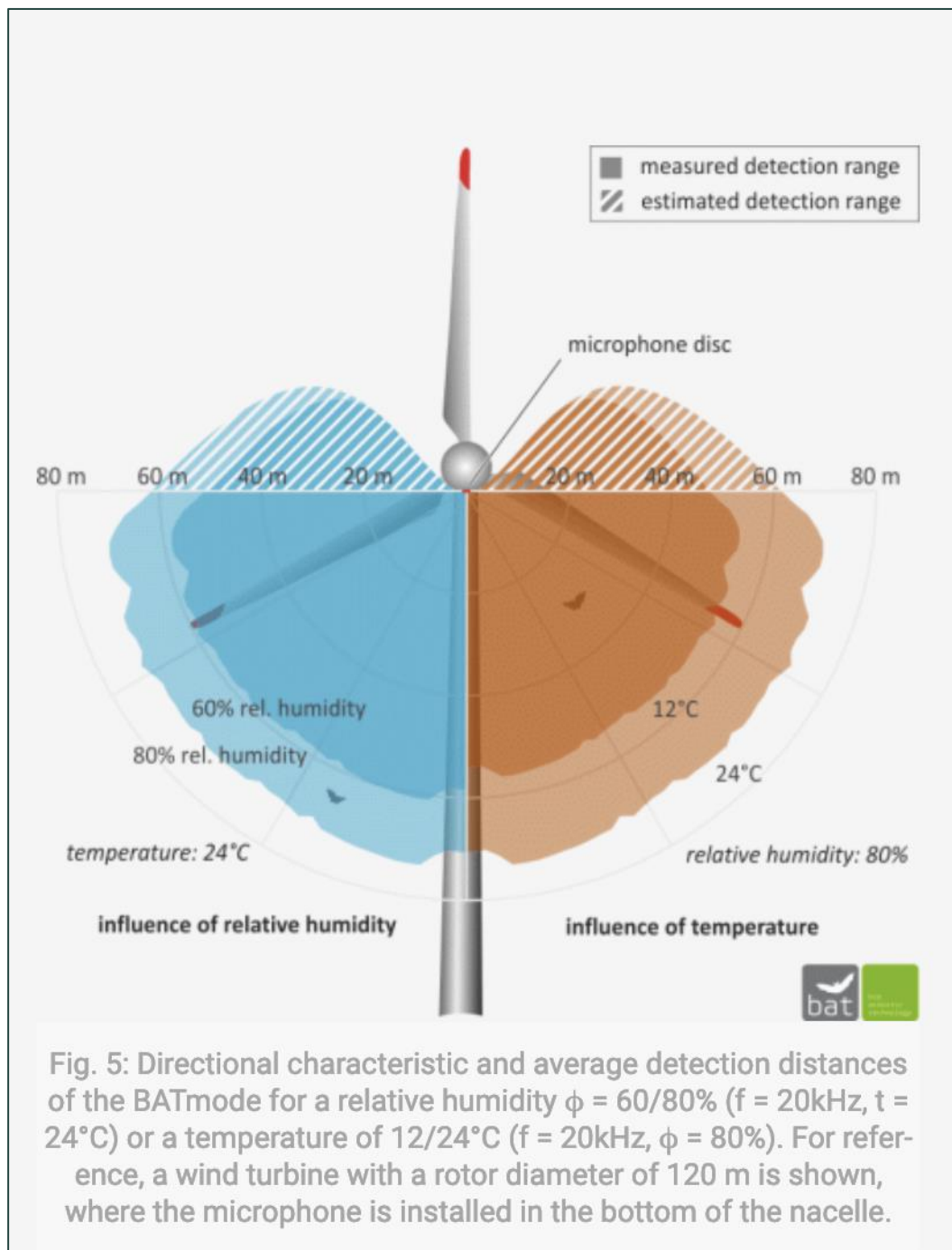
3 Akoestische monitoring

3.1 Doel

Het doel van de akoestische monitoring is in de eerste plaats het bepalen van de omstandigheden (weer / periode van het jaar / tijd binnen een etmaal) waarbij vleermuizen in het rotorbereik van windturbines voorkomen. Hiermee kan een stilstandvoorziening worden geformuleerd, of een opgelegde generieke stilstandvoorziening worden verbeterd. Het doel van dit protocol is te zorgen dat monitoring van vleermuizen in windparken met daarvoor geschikte apparatuur, een technisch goede werkwijze en gestandaardiseerd plaatsvindt. Dit voorkomt dat gegevens op onjuiste manier worden verzameld en zorgt ervoor dat locaties met elkaar kunnen worden vergeleken.

3.2 Algemene werkwijze en principes akoestische monitoring bij windturbines

De vleermuisactiviteit die gemeten wordt in het rotorbereik hangt samen met het aantal slachtoffers (Korner-Nievergelt *et al.* 2013). Om de vleermuisactiviteit in het rotorbereik te meten dient de apparatuur in windturbines geïnstalleerd te worden. Ultrasoon geluid van vleermuizen heeft namelijk een beperkte reikwijdte. Rosse vleermuizen kunnen maximaal tot op 60-70 meter afstand worden opgenomen (Figuur 1), voor dwergvleermuizen die geluiden van 40 kHz gebruiken is dit enkele tientallen meters (Barataud, 2015; Voigt *et al.* 2021). Vanaf de grond kunnen vleermuizen die in het rotorbereik vliegen dus in de regel niet worden opgenomen. De standaardmethode om vleermuizen op te nemen vanuit windturbines is door vanuit de gondel te meten met de microfoon verticaal naar beneden gericht. Op deze wijze worden vleermuizen geregistreerd die ook daadwerkelijk slachtoffer kunnen worden omdat ze in de buurt van de rotorbladen vliegen. Door de beperkte reikwijdte van het geluid en de obstakels zoals de toren die voorkomen dat geluiden de microfoon kunnen bereiken kan slechts een zeer beperkt deel van de vleermuizen die in het rotorbereik vliegen gedetecteerd worden (4-23% bij rotorbladlengte van 60 meter; Runkel 2020; Voigt *et al.* 2021). Dit aandeel is niet constant maar afhankelijk van de frequentie van het geluid, de gevoeligheid van de microfoon, temperatuur en luchtvochtigheid (Figuur 1). Ook onder optimale omstandigheden is het onmogelijk om alle vleermuizen binnen het rotorbereik te detecteren. De monitoring is bedoeld als steekproef om de omstandigheden waarbij slachtoffers vallen te kunnen voorspellen.



Figuur 1. Invloed van luchtvochtigheid en temperatuur op maximale detectieafstand van ultrasoon geluid (bron: Bio Acoustics Technology, <http://www.bioacousticstechnology.de/nacelle-monitoring-of-bats-at-wind-turbines/?lang=en>).

3.3 Onderzoeksinspanning

In Tabel 8 is de minimale onderzoeksinspanning weergegeven. Deze inspanning dient zodanig verdeeld te worden over het park dat verschillende terreintypen bemonsterd worden. Bij de grote windparken is het daarnaast van belang om voldoende ruimtelijke spreiding aan te houden. Ten slotte moeten de onderzochte locaties zo goed mogelijk samenvallen met de turbines waar slachtofferonderzoek wordt uitgevoerd. In een monitoringplan wordt beschreven welke windturbines van het park worden onderzocht en welke overwegingen daaraan ten grondslag gelegen hebben. Het onderzoek kan eventueel worden gecombineerd met dat in windparken in de onmiddellijke omgeving.

Tabel 8. Minimale onderzoeksinspanning voor de akoestische monitoring.

aantal turbines	turbines met recorder
1	1
2-5	2
6-10	4
11-15	5
16-20	6
21-30	7
>30	25%

Iedere nacht dient gemeten worden tussen een half uur voor zonsondergang en een half uur na zonsopkomst. De monitoring dient tussen 1 april en 1 november uitgevoerd te worden zolang er niet twee opeenvolgende jaren zijn waarbij het aantal slachtoffers (zie hoofdstuk 4) lager is dan de drempelwaarde uit de ontheffing.

Windturbines worden steeds groter. Het gevolg hiervan is dat een steeds kleiner aandeel van de vleermuizen die in het rotorbereik vliegen, vanuit de gondel kan worden gedetecteerd (zie paragraaf 3.2). Naast het meten van de vleermuisactiviteit vanuit de gondel dient daarom een aanvullende meting plaats te vinden vanuit de toren ter hoogte van tiplaaagte. Wanneer het niet mogelijk is exact op tiplaaagte te meten dan heeft een meetlocatie boven tiplaaagte de voorkeur boven meten beneden (buiten) het rotorbereik. Een meting vanuit de toren vindt plaats door middel van minimaal één microfoon die horizontaal gericht is.

De rotor richt zich op de wind waardoor de rotorbladen niet altijd voor hetzelfde deel van de toren draaien. Een optimale meting wordt uitgevoerd door drie tot vier microfoons in alle windrichtingen waardoor er altijd ten minste één microfoon is die in het rotorbereik meet. Omdat het in de praktijk niet altijd mogelijk is om in verschillende richtingen te meten, kan worden volstaan met een meting door middel van één microfoon.

Box 3.1. Waarom meten vanuit de toren?

Zoals hierboven uiteengezet, is bij lange rotorbladen, het bemonsterde deel van het rotorbereik beperkt. Dit hoeft geen probleem te zijn wanneer de steekproef voldoende representatief is voor het gehele rotorbereik (Voigt *et al.* 2022). Omdat vleermuizen aangetrokken kunnen worden door windturbines en in de richting van de gondel vliegen (Cryan *et al.* 2014) kan dit nog op zeer grote hoogte het geval zijn. Niet alle soorten zijn echter in dezelfde mate geneigd om op grotere hoogte te vliegen (Wellig *et al.* 2018). Wanneer in het onderste rotorbereik veel vleermuizen voorkomen die vanuit de gondel niet opgenomen kunnen worden dan geeft de meting geen goed beeld meer (d in figuur 4.2). Een extra meting op tiplaatte voorkomt deze mismatch. Het is op dit moment niet met zekerheid te zeggen wanneer deze mismatch optreedt, met name omdat de hoogteprofielen (a in figuur 4.2) mogelijk niet representatief zijn voor vleermuizen die nabij windturbines vliegen.

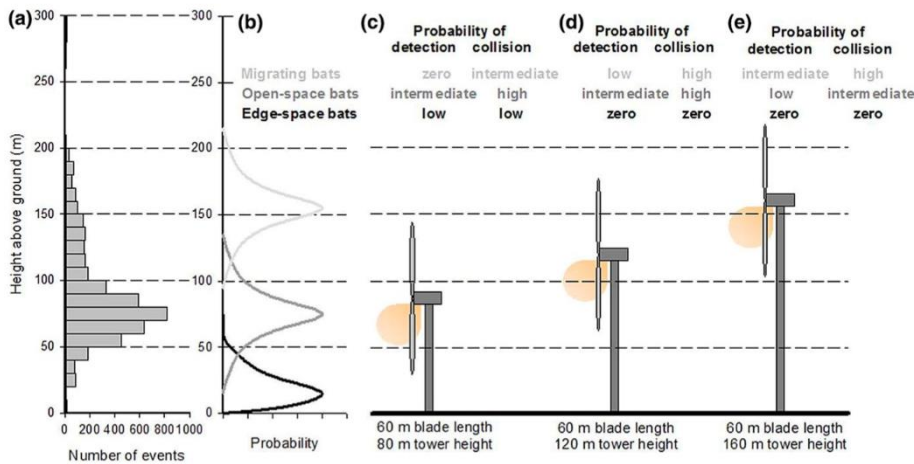


Fig. 5. Schematic description of probable flight altitude of bats in relation to the detection probability and collision risk at wind turbines (WTs) with variable tower height (80–160 m). (a) Flight altitudes of non-migrating noctules *Nyctalus noctula* (Roeleke *et al.* 2016) when foraging above farmland. (b) Schematic density plots of flight altitudes for edge-space foraging bats (black), open-space foraging bats (dark grey), and migrating bats (light grey). (c–e) Detection probability and collision risk at three different WT heights for the three flight scenarios depicted in (b) and for the focal area of acoustic bat detection (depicted in light pink) at each WT. Note the mismatch between detection probability and collision probability under certain conditions.

Figuur 2. Schematische weergave van mogelijke vluchthoogte in relatie tot de mogelijkheid van detectie en aanvaringsrisico bij verschillende windturbinehoogtes; zie verder Engelstalige onderschrift (uit: Voigt *et al.* 2021).

3.4 Eisen meetapparatuur

De maximale afstand waarop vleermuizen door een apparaat kunnen worden opgenomen is afhankelijk van de gevoeligheid van de microfoon. Een goede meetreeks is alleen mogelijk wanneer de gevoeligheid van de microfoon bij aanvang voldoende en gestandaardiseerd is. Daarnaast moet de toestand van de microfoon gedurende het meetseizoen worden bijgehouden. Jaarlijks dient de microfoon voorafgaand aan het meetseizoen gekalibreerd te worden door de fabrikant of ander

erkend bedrijf. Uit de kalibratie volgt een correctiefactor die in de instellingen van de recorder gezet moeten worden. Door een dagelijks testsignaal kan de gevoeligheid gedurende de meting gevolgd worden. Een tijdelijke daling van de gevoeligheid is normaal en kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld mistig weer (condens), een regenbui of een insect voor de microfoon. Wanneer de gevoeligheid vijf dagen achtereen een afwijking van meer dan 6 dB (Brinkmann *et al.* 2011) laat zien ten opzichte van de uitgangssituatie en dit niet verklaard kan worden door aanhoudend mistig of regenachtig weer, dan dient deze vervangen te worden.

Een gevoelige afstelling van de microfoon is niet altijd beter. Windturbines produceren veel stoorgeluiden door bijvoorbeeld de draaiende rotorbladen, ventilatoren en dergelijke. Bij recorders met een eenvoudige trigger functie zoals het overschrijden van een bepaalde geluidsdruk zal de geheugenruimte snel volraken. Omdat de recorders maandenlang moeten kunnen functioneren, is een beetje extra geheugenruimte niet toereikend. Meer geavanceerde recorders slaan alleen geluiden op met vleermuis karakteristieken. Deze recorders kunnen dus gevoelig worden ingesteld zonder dat de geheugenruimte snel vol raakt. Recorders die in ieder geval aan de hierboven genoemde eisen voldoen zijn Batcorder, Batloggers en Avisoft/BATmode. Een ander belangrijk aandachtspunt bij de keuze van een recorder is de mogelijkheid om een microfoon die in de toren geplaatst kan worden aan te kunnen sluiten.

3.5 Stroomuitval en elektromagnetische straling

Er is een aantal technische aandachtspunten die vanuit ecologisch onderzoeksperspectief niet noodzakelijk maar die erg nuttig zijn. Ten eerste is het raadzaam een recorder te gebruiken die goed kan omgaan met stroomuitval en elektromagnetische straling. Stroomuitval komt vooral bij recentelijk opgeleverde windturbines regelmatig voor omdat monteurs bepaalde werkzaamheden alleen spanningsloos mogen uitvoeren. Elektromagnetische straling komt veel voor in windturbines en kan apparatuur beïnvloeden en in het ergste geval zelfs valse triggers veroorzaken. De invloed van deze straling kan worden beperkt door de apparatuur in een metalen kist te plaatsen, deze goed te aarden en korte gebalanceerde kabels van hoge kwaliteit te gebruiken.

3.6 Controle op afstand

Een bepaalde vorm van performance monitoring is noodzakelijk om een goede meetreeks te kunnen verzamelen. Dit kan bijvoorbeeld door een dagelijks SMS-bericht (onder andere bij de Batcorder) met daarin informatie over de testresultaten van de microfoon, de batterijspanning, de geheugenruimte en eventuele storingen. Bij sommige apparaten is het mogelijk de instellingen (zie Bijlage 2) van het apparaat te wijzigen door middel van een verstuurd SMS. Ten slotte is volledige remote access mogelijk bij enkele recorders, waarbij instellingen op afstand kunnen worden gewijzigd en/of data op afstand kunnen worden uitgelezen (BATmode / Batlogger WE X). De controle op afstand voorkomt dat je pas bij het verwijderen van de apparatuur erachter komt dat de meting niet goed is uitgevoerd.



3.7 Minimale onderzoeksduur

Het akoestisch onderzoek dient uitgevoerd te worden zo lang er slachtoffermonitoring plaatsvindt. Dit betekent dat als na 2 jaar blijkt dat in beide jaren het aantal slachtoffers nog boven de drempelwaarde ligt, er een derde jaar slachtoffer monitoring nodig is en dus ook akoestische monitoring. Wanneer een recorder pas laat in het seizoen geïnstalleerd kan worden, gedurende de meting uitvalt of de gevoeligheid van de microfoon onvoldoende is (zie paragraaf 3.4) dan wordt niet het gehele seizoen bemonsterd waarin vleermuizen in windparken verwacht kunnen worden. In de logfile van een recorder kun je terugvinden wanneer een apparaat naar behoren gefunctioneerd heeft. Het seizoen waarin vleermuizen in windparken gemonitord worden loopt van 1 april tot 1 november. De tijd waarin de meeste activiteit te verwachten is zijn de maanden juli tot en met september (hierna gemakshalve zomer genoemd). Wanneer gedurende drie jaar gemeten wordt, dient ieder jaar tenminste 75% van zowel het gehele seizoen als van de zomer gemeten te worden. Uitval van iets meer dan een maand is dus mogelijk zolang dit maar niet meer dan 23 nachten in de zomer plaatsvindt. Slechts binnen één van de drie jaren mag de uitval meer dan 25% bedragen. Wanneer minder dan 66% van het seizoen of zomer gemeten wordt dan wordt deze meting als onvoldoende beschouwd. Concreet betekent dit dat wanneer een meting pas half juni ingezet kan worden, deze niet als volledig beschouwd kan worden.

3.8 Dataverwerking

Stoorgeluiden van windturbines kunnen soms sterk op vleermuisgeluiden lijken. De geluidsanalyse moet daarom uitgevoerd worden door iemand die hier ervaring mee heeft en de mogelijkheden en beperkingen van de verschillende software kent. Er is grote overlap tussen vleermuissoorten in de geluiden die ze maken en de automatische determinatie tools zijn (nog) niet in staat de geluiden betrouwbaar te identificeren. Hoe vleermuisgeluiden geanalyseerd en gedetermineerd moeten worden staat onder andere beschreven in diverse handboeken zoals Barataud (2015) en Rus (2021). We beperken ons hier tot de werkzaamheden die specifiek zijn voor de akoestische monitoring rond windturbines.

Met name de zeer gevoelige apparatuur van Avisoft is in staat om nog zeer zachte geluiden van vleermuizen op te nemen. Deze vleermuispulsen worden niet meer door programma's als BcAdmin, Batscope of Kaleidoscope gedetecteerd. De standaardmethode waarmee je bepaalt welke opnames nu wel of niet vleermuispulsen kunnen bevatten vindt plaats met de 'Automated WEA offline analysis' van het programma Avisoft recorder. Het programma maakt een map aan met 'accepted' files die vervolgens nog geanalyseerd moeten worden.



4 Slachtoffermonitoring

4.1 Doel

Het primaire doel van het monitoren van vleermuisslachtoffers in windparken is het vaststellen van het aantal slachtoffers (per turbine per jaar) in het betreffende windpark. Daaraan gekoppeld zijn enkele andere doelen zoals:

- Het valideren van de voorspellingen uit de effectbeoordeling;
- Het produceren van data die nodig zijn voor een stilstandvoorziening (onder andere de relatie tussen het aantal slachtoffers en de gemeten akoestische vleermuisactiviteit)
- Het valideren van het resultaat van een bestaande stilstandvoorziening;

Het mogelijk maken en vergroten van de nauwkeurigheid van een schatting van cumulatieve effecten van windenergie (zowel voor residente als migrerende soorten).

4.2 Noodzaak

Het blijkt dat de daadwerkelijke mortaliteit, zoals vastgesteld tijdens monitoring, vaak aanzienlijk afwijkt van de voorspelde mortaliteit in effectbeoordelingen (dus voorafgaand aan de bouw van het windpark). Het vaststellen van de daadwerkelijke mortaliteit is echter noodzakelijk om aan de hiervoor genoemde doelen te kunnen voldoen. Het uitgangspunt moet daarom zijn dat bij de realisatie van een nieuw windpark of het vervangen van de turbines door een ander model, altijd slachtoffermonitoring plaatsvindt, tenzij er zwaarwegende redenen zijn om dat niet te doen. Deze afweging is aan het bevoegd gezag.

4.3 Opzet

De opzet van het monitoringsonderzoek moet voldoen aan een aantal eisen ten aanzien van tijdsduur, steekproefgrootte, monitoringsintensiteit en een statistisch solide correctie voor de vindkans, predatiekans en delen van het zoekoppervlak die niet kunnen worden afgezocht. De verschillende aspecten ten aanzien van het veldwerk worden in Tabel 9 nader gespecificeerd. Het onderstaande protocol wijkt in enkele opzichten af van het voorgaande protocol (Brenninkmeijer *et al.* 2021). Een belangrijk verschil is dat in het huidige protocol wordt uitgegaan van monitoring in zowel het voorjaar als najaar. Deze keuze is gemaakt omdat op dit moment onvoldoende zicht is op de mortaliteit tijdens de voorjaarsmigratie. Daarnaast is, in elk geval voor het eerste jaar, de tijdsduur in het najaar verlengd tot drieënhalve maand (1 juli tot 15 oktober) aangezien uit verschillende monitoringsonderzoeken blijkt dat dit de meest risicovolle periode is. Op basis van de resultaten van het eerste jaar kunnen de exacte periodes worden aangepast.

Wanneer gedurende de voorjaarsmigratie geen slachtoffers gevonden worden en de akoestische monitoring in deze periode slechts een beperkte activiteit (minder dan 100 opnames als totaal van de twee microfoons) laat zien, dan kan slachtoffermonitoring in het tweede jaar achterwege gelaten



worden in het voorjaar.

Standaard wordt drie keer in de week naar slachtoffers gezocht. Wanneer uit verdwynproeven in het eerste jaar blijkt dat minder dan een derde van de slachtoffers na drie dagen verdwenen is, kan volstaan worden met twee keer in de week zoeken.

Daarnaast wordt hier de lengte van het monitoringsprogramma gekoppeld aan de resultaten: de monitoring dient door te lopen totdat de mortaliteit gedurende twee opeenvolgende jaren lager is dan de drempelwaarde uit de ontheffing. Op deze manier wordt voorkomen dat onnodig lang wordt gemonitord, en tegelijkertijd moet worden aangetoond dat aan de voorwaarden van het bevoegd gezag wordt voldaan.

Tabel 9. Overzicht onderzoek slachtoffermonitoring.

aspect	toelichting
Steekproefgrootte (aantal turbines dat moet worden afgezocht)	Afhankelijk van de grootte van het windpark: 1 – 6 turbines: alle turbines afzoeken 7 – 10 turbines: 6 turbines afzoeken 11 – 20 turbines: 8 turbines afzoeken 21 – 30 turbines: 10 turbines afzoeken 31 – 40 turbines: 12 turbines afzoeken Etc.
Zoekoppervlak	Minimaal 1 ha afzoekbaar oppervlak per turbine binnen 0,5 maal de tiphoogte; plus alle wegen en verhard oppervlak tot een afstand gelijk aan de tiphoogte
Periode	Voorjaar (april + mei) + najaar (1 juli tot 15 oktober); eventueel kunnen de periodes worden aangepast op basis van de resultaten van het eerste jaar.
Frequentie	bij goed afzoekbaar terrein en lage predatiekans 2x per week bij hoge predatiekans 3x per week
Intensiteit	Minimaal 1 uur per ha
Zoekstrategie	Zoekbanen met breedte van 3 m (gras) tot 5 m (verhard oppervlak) Uitsluitend zoeken op verhard terrein, kale en vlakke grond of zeer kort gras Hogere vegetatie of gewassen uitsluiten van zoekoppervlak Volgorde turbines rouleren per zoekronde

aspect	toelichting
Speurhond	Uitsluitend toegestaan met goed getrainde speurhond met ervaring Aparte vindkansproef nodig voor speurhond Geen onderzoek met zowel speurhonden als menselijke zoekers

4.4 Registratie velddata

Per gevonden slachtoffer worden de gps-coördinaten opgenomen en worden ter plaatse foto's gemaakt zonder het slachtoffer te roeren. De registratie vindt plaats in mobiel GIS en de data worden tijdens of direct na het veldbezoek gesynchroniseerd en gebackupt. Alle gevonden slachtoffers worden meegenomen naar de opslag en ingevroren waarna een nadere determinatie/analyse plaatsvindt van de slachtoffers. Voor vervoer en in bezit hebben van deze dieren is ontheffing nodig.

Ten minste de volgende parameters worden geregistreerd:

- metadata: windpark, datum, nummer zoekronde, start- en eindtijd zoekronde, naam onderzoeker
- turbine (code)
- datum + tijd
- GPS-coördinaten slachtoffer
- afstand tot turbinemast
- soort
- geslacht
- leeftijdsklasse (indien mogelijk)
- indicatie versheid slachtoffer
- waargenomen schade
- doodsoorzaak (waarschijnlijkheid dat het een turbine slachtoffer is)
- bijzonderheden
- foto
- wel/geen uitgelegd slachtoffer voor vindkans- of predatiekansproef (indien van toepassing)

4.5 Correctiefactoren

In monitoringsprogramma's van turbineslachtoffers worden nooit alle slachtoffers gevonden. Sommige karkassen zijn moeilijk zichtbaar, waardoor zij niet worden gevonden. Ook kunnen karkassen zijn verslept of opgegeten door aaseters of zij liggen in delen van het zoekgebied die niet kunnen worden afgezocht. Het is daarom noodzakelijk te corrigeren voor de vindkans, de predatiekans en het niet-afzoekbare oppervlak.



4.5.1 Vindkans

De vindkans hangt af van de ervaring van de veldwerker en de mate waarin de dode vleermuizen opvallen op de ondergrond. Dit wordt vooral beïnvloed door de grootte van de vleermuis en het kleurcontrast tussen vleermuis en ondergrond, maar ook de vegetatie speelt een belangrijke rol. De vindkans wordt bepaald door het uitleggen van een aantal dode dieren, waarna door een andere onderzoeker (zonder kennis van de locaties en aantallen uitgelegde dieren) wordt onderzocht welk deel hiervan teruggevonden wordt. Indien van toepassing wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen verschillende terreintypen.

Ten aanzien van het bepalen van de vindkans zijn verschillende factoren van belang bij de opzet van de proef:

1. Diersoort. Voor de proef kunnen dode vleermuizen uit voorgaand slachtofferonderzoek worden gebruikt, mits daarvoor een ontheffing in bezit is. Zo niet, dan kunnen dode bruine muizen als *proxy* worden gebruikt. Deze zijn commercieel verkrijgbaar. Het is van belang dat de grootte en kleur van de muizen overeenkomen met die van de relevante vleermuissoorten.
2. Codering. De karkassen worden voorzien van een klein label zodat duidelijk is welke dieren zijn teruggevonden en welke niet. Het is essentieel dat het label niet zichtbaar is voor degene die de karkassen gaat zoeken.
3. Steekproefgrootte: minimaal 20 karkassen per covariaat (terreintype, seizoen enzovoort). De karkassen worden uitgelegd bij verschillende turbines. Niet meer dan enkele karkassen per turbine (geen voederplaats maken).
4. Om te voorkomen dat de onderzoeker beter of efficiënter gaat zoeken om een zo hoog mogelijke vindkans te halen, worden de karkassen gedurende de looptijd van de monitoring uitgelegd en niet alles in één vindkansproef. Op die manier weet de onderzoeker nooit hoeveel karkassen te verwachten zijn.
5. Seizoens- of jaareffecten. Indien sprake is van mogelijke effecten van het seizoen of het jaar waarin naar slachtoffers wordt gezocht op de vindkans en/of predatiekans, moeten meerdere proeven worden uitgevoerd waarin deze variatie wordt gedekt.

4.5.2 Predatiekans

Om de kans te berekenen dat een slachtoffer binnen een bepaalde tijdsperiode wordt opgegeten of weggesleept door predatoren dient een predatieproef uitgevoerd te worden. Deze proeven bestaan uit het uitleggen van een aantal (gemarkeerde) dode slachtoffers (bijv. eerder gevonden dieren of bruine muizen, waarna door een onderzoeker regelmatig gecontroleerd wordt welke slachtoffers verdwenen en/of verplaatst zijn. Op basis van deze proeven kan de correctiefactor voor predatie worden bepaald. De predatiekans is vaak hoog bij verse slachtoffers, maar neemt af naarmate een kadaver langer ligt.



Aanvullend hierop kan gebruik worden gemaakt van een wildcamera met beweging/warmtesensor die naast het weggelegde slachtoffer ligt (Figuur 3). Deze hulpmiddelen zorgen ervoor dat niet alleen het moment van verdwijnen van de slachtoffers beter vastgelegd wordt, maar ook inzicht wordt verkregen op de in het gebied aanwezige predatoren en het tijdstip van de dag dat predatie plaatsvindt.



Figuur 3. Voorbeeld van inzet wildcamera bij predatieonderzoek.

Aanvullend op de factoren die van belang zijn voor de vindkansproef (zie paragraaf 4.5.1) zijn nog enkele andere uitgangspunten van belang bij de opzet van de predatieproef: de predatieproef duurt twee weken om een statistisch degelijke verdwijnsnelheid te kunnen berekenen.

De karkassen worden tot en met dag 5 dagelijks gecontroleerd om te zien of deze nog aanwezig zijn. Daarna vinden controles plaats op dag 7, 10 en 14 om de verdwijnsnelheid op latere dagen goed te kunnen modelleren.

4.5.3 Zoekoppervlak

Correctie voor niet afgezocht oppervlak is noodzakelijk indien bepaalde delen van het zoekoppervlak niet effectief afgezocht kunnen worden, bijvoorbeeld in hoge vegetatie, open water en dergelijke. De afzoekbare en niet-afzoekbare delen worden tijdens het veldwerk digitaal ingetekend in mobiel GIS. Indien nodig wordt dit periodiek geactualiseerd (bijvoorbeeld om het contrast tussen seizoenen weer te geven).

4.6 Statistische analyse

4.6.1 Vindkans

De correctiefactor voor de vindkans kan eenvoudig worden berekend aan de hand van de verhouding tussen de gevonden en uitgelegde karkassen. De correctiefactor wordt berekend als $1 / (\text{fractie teruggevonden karkassen})$. Indien van toepassing, moet de vindkans worden berekend voor verschillende terreintypen, seizoenen, waarnemers of andere relevante categorieën die van invloed zijn op de vindkans. Per categorie wordt de bijbehorende vindkansfactor gehanteerd.

Meer complexe analyses van de vindkans zijn mogelijk in het R-pakket GenEst (zie paragraaf 4.6.3). GenEst biedt de mogelijkheid om meerdere variabelen in de analyse van de vindkans te verwerken en op basis daarvan het best passende model te kiezen. Ook is het mogelijk om een verloop in vindkans tijdens meerdere bezoeken te modelleren.

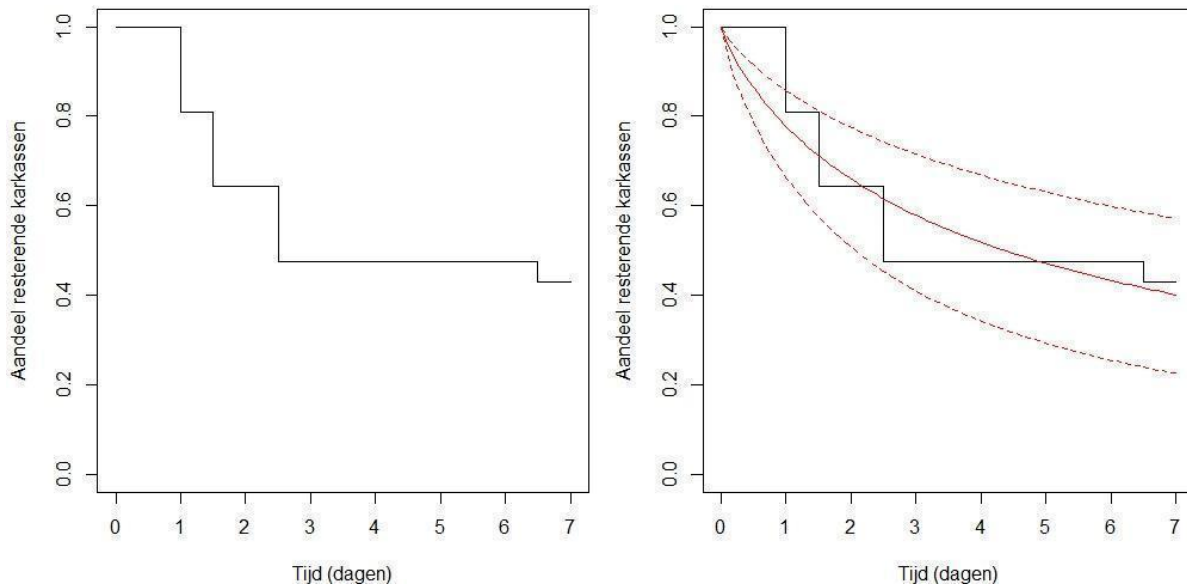
4.6.2 Predatiekans

De kern van de analyse van de predatiekans bestaat uit het bepalen van de verdwijnsnelheid van de uitgelegde karkassen. Deze analyse vraagt enige kennis van statistiek en het werken in een statistisch softwarepakket als R. Voor het bepalen van de predatiekans zijn kant-en-klare R-pakketten als GenEst en Carcass (gratis) verkrijgbaar, maar de analyse kan ook relatief eenvoudig met een zelfgemaakt R-script worden uitgevoerd. Hieronder worden deze opties in meer detail besproken.

De verdwijnsnelheid van karkassen wordt gemodelleerd aan de hand van een survival analyse (een wat onhandige term in het kader van slachtofferonderzoek). Survival analyse wordt gebruikt om de tijd tot een bepaalde gebeurtenis (in dit geval het verdwijnen van een karkas door predatie) te modelleren, en is uitermate geschikt voor de analyse van predatieproeven (Bernardino *et al.* 2011, Bispo *et al.* 2013, Korner-Nievergelt *et al.* 2015). Het resultaat van deze analyse is een 'overlevingsfunctie' (Kaplan-Meier) die de kans weergeeft dat na een x-aantal dagen een karkas nog aanwezig is. Deze Kaplan-Meierfunctie vertoont een karakteristiek trapsgewijs patroon waarbij het aandeel resterende karkassen per dag wordt weergegeven. Een voorbeeld is gegeven in het linker deel van Figuur 4.

Onder de aanname dat de predatiekans in werkelijkheid geleidelijk afneemt in de tijd, in plaats van sprongsgewijs, wordt een parametrische regressie uitgevoerd. Hierdoor wordt een vloeiende curve verkregen (rechterdeel van Figuur 4) die ook kan worden gebruikt voor interpolatie of extrapolatie,

zodat de predatiekans voor ieder realistisch tijdstip kan worden berekend. Daarbij wordt ook het 95% betrouwbaarheidsinterval berekend (zie de stippellijnen in het rechterdeel van Figuur 4). Aan de hand van deze curve voor de verdwijnsnelheid worden de aantallen gevonden slachtoffers gecorrigeerd voor de predatiekans.



Figuur 4. Kaplan-Meier overlevingsfunctie (links) en met regressiecurve en 95% betrouwbaarheidsinterval (rechts).

Indien tijdens de reguliere slachtoffermonitoring het exacte tijdstip waarop een slachtoffer is gevallen niet bekend is (bijvoorbeeld als geen gebruik wordt gemaakt van wildcamera's en er meerdere dagen tussen twee zoekrondes zitten), wordt de predatiefactor gehanteerd voor het tijdstip halverwege het interval. Indien met GenEst wordt gewerkt, wordt op basis van simulaties een mediane predatiefactor berekend voor het betreffende zoekinterval. Indien het exacte tijdstip wel bekend is, wordt uiteraard de predatiefactor voor dat tijdstip gehanteerd.

4.6.3 GenEst

Het door de USGS ontwikkelde pakket GenEst (generalized estimator; Dalthorp *et al.* 2018, Simonis *et al.* 2018) is een uitgebreid R-pakket dat gebruikt kan worden voor de analyse van zowel de vindkans als de predatiekans. Deze correctiefactoren kunnen in GenEst direct worden toegepast op de resultaten van het slachtofferonderzoek, waarmee GenEst een fraai integraal pakket biedt voor de analyse van aanvaringslachtoffers. De analyses kunnen plaatsvinden in een standaard R-omgeving of via een meer gebruiksvriendelijke user interface. Het R-pakket, inclusief fictieve datasets en een gebruiksaanwijzing, zijn te vinden op de website <https://code.usgs.gov/ecosystems/GenEst>.

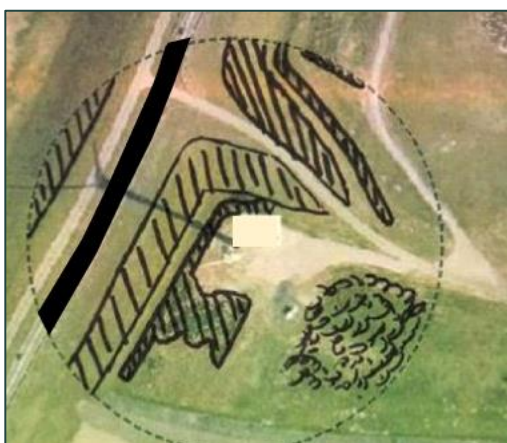
4.6.4 R-script

De predatiekansen met bijbehorende betrouwbaarheidsintervallen kunnen worden berekend door middel van een survivalanalyse in het statistische softwarepakket R. Hierbij wordt een Kaplan-Meier-overlevingsfunctie berekend en vervolgens een parametrische regressie uitgevoerd. De meest gebruikelijke verdelingen zijn 1) exponentieel, 2) Weibull, 3) log-logistisch en 4) lognormaal. De best passende verdeling wordt gekozen op basis van visuele inspectie (de fit van de curve door de Kaplan-Meier functie) en aan de hand van het Akaike Information Criterion (AIC), waarbij de verdeling met de laagste AIC-waarde in principe de best passende is. Het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval kan worden berekend conform de methodiek beschreven in Tableman (2012).

4.6.5 Zoekoppervlak

In de meest simpele vorm wordt per turbine een uniforme correctie toegepast op basis van het percentage van het zoekoppervlak dat is afgezocht. Deze correctie kan worden gebruikt zolang geen sprake is van wijzigingen in de vegetatiehoogte of andere veranderingen in het terrein. Indien daar wel sprake van is, bijvoorbeeld als gevolg van snelgroeiende vegetatie, moet een correctie per zoekronde worden toegepast.

In de praktijk blijkt dat de ruimtelijke spreiding van slachtoffers rondom de turbine niet uniform is verdeeld. Vaak neemt het aantal gevonden slachtoffers af met toenemende afstand. In plaats van een uniforme correctie heeft het daarom de voorkeur om de zoekcirkel te verdelen in ringen van 10 meter en per ring een correctie toe te passen. Op die manier wordt voorkomen dat dichtbij liggende slachtoffers worden verrekend met een onrealistisch hoge correctiefactor voor niet-afgezocht oppervlak verder weg van de mast. Indien wordt gewerkt met GenEst, kan met behulp van het R-pakket 'dwp' de verdeling van de slachtoffers rond de mast worden gemodelleerd en als input in GenEst worden gebruikt.



Figuur 5. Voorbeeld uitwerking verschillende vegetatiehoogten in zoekstraal; arcering en zwart: niet doorzoekbaar.



Figuur 6. Voorbeeld uitwerking looppoute bij locatie zonder gewassen maar met niet doorzoekbaar gebied; zoekstraal 50 meter en beperkingen.

4.7 Wat te doen bij nul slachtoffers?

In gevallen waarbij geen slachtoffers zijn gevonden is het lastig om de daadwerkelijke mortaliteit te berekenen. Het gevonden aantal slachtoffers (X) is zowel afhankelijk van het feitelijk aantal slachtoffers (M) als van de correctiefactor (g), welke afhankelijk is van de vindkans, verdwijnsnelheid en het beschikbare zoekoppervlak (zie voorgaande secties). In formulevorm: $X = M * g$.

Indien nul slachtoffers gevonden worden kan dat betekenen dat het feitelijk aantal slachtoffers (M) minimaal is, bijvoorbeeld als gevolg van een stilstandvoorziening. Het kan echter ook betekenen dat de correctiefactor (g) zeer klein is, terwijl het feitelijk aantal slachtoffers (M) groot is. Het onderscheid tussen deze twee opties is van cruciaal belang bij het schatten van de sterfte van een bepaalde soort, met name wanneer het een zeldzame soort betreft.

Een analyse van Huso *et al.* (2015) laat zien dat de correctiefactor (g) groter of gelijk aan 0,45 moet zijn indien nul slachtoffers gevonden worden. Alleen in dit geval kan met voldoende zekerheid worden geconcludeerd dat het feitelijk aantal slachtoffers minimaal of nul is. Bij een lagere waarde van de correctiefactor kan bij nul vondsten niet worden geconcludeerd dat de daadwerkelijke mortaliteit ook nul is. In dat geval zal de opzet van het onderzoek moeten worden aangepast (zodat $g > 0,45$) en zal de slachtoffermonitoring moeten worden voortgezet. Deze aanpassingen kunnen betrekking hebben op het vergroten van de steekproef (aantal turbines dat wordt afgezocht), het vergroten van het zoekoppervlak, het verhogen van de vindkans (bijvoorbeeld door te maaien), of het verhogen van de zoekfrequentie.

De waarde van de correctiefactor g kan eenvoudig worden berekend indien met GenEst wordt gewerkt. In GenEst is dit de '*detection probability*'. Ook het R-pakket '*Evidence of Absence*' (Dalthorp *et al.* 2017) kan hiervoor worden gebruikt.

5 Ontwerp stilstandvoorziening

5.1 Doel

Het doel van een stilstandvoorziening is te komen tot een reductie van het aantal slachtoffers, zodat het aantal slachtoffers niet hoger is dan het maximale aantal dat is vastgesteld door het bevoegd gezag.

5.2 Achtergrond

Vleermuizen worden regelmatig slachtoffer van windturbines door aanvaringen (Bach & Rahmel 2004, Kunz *et al.* 2007, Arnett *et al.* 2008, Baerwald *et al.* 2009, Rydell *et al.* 2010, Cryan, *et al.* 2014) en mogelijk in sommige gevallen ook door barotrauma (Rollins *et al.* 2012, Lawson *et al.* 2020, Grodsky *et al.* 2011). De meeste slachtoffers vallen tijdens de nazomer en betreffen soorten uit de geslachten *Pipistrellus*, *Nyctalus*, *Eptesicus* en *Vespertilio*. Een goed ontworpen stilstandvoorziening is een zeer effectieve maatregel om het aantal slachtoffers te verminderen (Peste *et al.* 2015, Arnett *et al.* 2011, Adams *et al.* 2021, Whitby *et al.* 2021, Arnett *et al.* 2013). Een dergelijke stilstandvoorziening is gebaseerd op de relatie tussen de activiteit van vleermuizen enerzijds en een aantal sturende omgevingsfactoren anderzijds.

Een stilstandvoorziening kan op verschillende manieren worden geïmplementeerd:

1. Stilstand op basis van omgevingsfactoren waarbij vleermuisactiviteit verwacht kan worden op basis van 'vuistregels', zoals bijvoorbeeld: datumgrenzen tussen 1 april en 31 oktober, een tijdstip tussen zonsondergang en zonsopkomst, een windsnelheid lager dan 7 meter per seconde en een nachttemperatuur boven de 10 graden Celsius. Voordeel van deze aanpak is dat de stilstandvoorziening met minimale inspanning en kosten kan worden ontwikkeld, en op eenvoudige wijze kan worden geïmplementeerd. Nadeel is echter dat deze methode niet goed is afgestemd op de aanwezige vleermuisactiviteit waardoor de kans groot is dat windturbines ook stopgezet worden op momenten met een klein risico op slachtoffers. Dit is de enige optie wanneer er geen informatie beschikbaar is van de locatiespecifieke vleermuisactiviteit, bijvoorbeeld het eerste operationele jaar van een windpark. Eventueel kan deze vorm van stilstandvoorziening ook voor de jaren erna bruikbaar zijn, maar dat zal leiden tot een groter verlies aan energieopbrengst in vergelijking met op de locatie toegesneden stilstandvoorzieningen.
2. Stilstand die wordt berekend door een standaardapplicatie (Probat), op basis van de gemeten akoestische data in het windpark, de weergegevens en de eigenschappen van de windturbines (ashoogte, rotordiameter etc.), in combinatie met dezelfde gegevens van andere windparken. Het voordeel van deze aanpak is dat met een relatief beperkte

inspanning (akoestische monitoring en applicatie draaien) de stilstandvoorziening kan worden ontwikkeld, zonder gedegen kennis van de achterliggende statistiek. Het nadeel is echter dat deze applicatie onvoldoende rekening houdt met de locatiespecifieke omstandigheden (zie paragraaf 5.3.1) doordat de lokaal verzamelde akoestische data worden samengevoegd met de dataset in de applicatie (die voornamelijk in centraal Duitsland is verzameld). Hierdoor kunnen locatiespecifieke risicofactoren onvoldoende naar voren komen, waardoor de windturbines stopgezet kunnen worden op momenten met een klein risico op slachtoffers, maar ook niet stopgezet kunnen worden op momenten met een hoog risico. Probat kan daarom uitsluitend worden gebruikt op locaties waar de vleermuisactiviteit goed overeenkomt met die in (centraal) Duitsland. Dit zijn bijvoorbeeld locaties in het oosten van Nederland waar vooral rosse vleermuizen voorkomen. Locaties met veel ruige dwergvleermuizen en/of waar windrichting een sterke invloed heeft en/of waar het voorkomen gedurende het jaar en gedurende de nacht niet overeenkomt met de verwachtingen van het programma zijn niet geschikt om Probat toe te passen.

3. Stilstand op basis van *real time* gemeten vleermuisactiviteit (bijvoorbeeld BPS, DT Bat of TIMR). Het voordeel van deze methode is dat de windturbines in principe alleen afgeschakeld worden indien er daadwerkelijk vleermuizen aanwezig zijn. Nadeel is dat op dit moment de effectiviteit van de verschillende systemen onduidelijk is, hoewel van één systeem wel veelbelovende resultaten zijn gerapporteerd (EPRI, 2017) Met name het volume/oppervlak dat effectief akoestisch gemonitord kan worden is een belangrijk aandachtspunt. Bij een bladlengte van 60 meter wordt slechts 4% van de aanwezige dwergvleermuizen gedetecteerd vanuit de gondel (Voigt *et al.* 2021). Dit percentage zal toenemen wanneer behalve vanuit de gondel ook vanuit de toren wordt gemeten maar met toenemende rotorbladlengte zal het aandeel van de vleermuizen dat gedetecteerd worden echter verder afnemen. Daarnaast neemt de gevoeligheid van de microfoons gedurende een jaar sterk af. Het systeem vereist daarom regelmatige kalibratie of vervanging van de microfoons.
4. Stilstand op basis van de gemeten akoestische activiteit in het windpark (zie hoofdstuk 3) in combinatie met het aantal slachtoffers (zie hoofdstuk 4). Het voordeel is dat deze aanpak in principe resulteert in een effectieve stilstandvoorziening, waarbij windturbines (altijd met een bepaalde marge) uitsluitend stopgezet worden op de momenten met een hoog slachtofferrisico doordat deze is toegesneden op de lokale situatie. Nadeel is dat deze methode een forse investering in tijd vraagt.
5. Ten slotte kan een stilstandvoorziening ook worden gebaseerd op basis van uitsluitend de gemeten akoestische activiteit in het windpark (zie hoofdstuk 3) zonder dat slachtoffermonitoring heeft plaatsgevonden. Een groot nadeel van deze methode is dat het onmogelijk is de effectiviteit van de stilstandvoorziening te verifiëren.

In dit protocol wordt methode 4 verder uitgewerkt vanwege belangrijke bezwaren die aan de andere methoden kleven. Methode 1 leidt potentieel tot veel verlies van productietijd; methode 2 is in grote delen van Nederland niet bruikbaar; van methode 3 is de werking van de systemen nog niet (onafhankelijk) gevalideerd en ontbreken richtlijnen die de juiste werking van de apparatuur waarborgen in de loop van de tijd; en van methode 5 kan de effectiviteit niet worden geverifieerd.

5.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden

De opzet van een stilstandvoorziening is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

1. De stilstandvoorziening is locatiespecifiek;
2. De stilstandvoorziening is soortspecifiek;
3. Er is een relatie tussen de gemeten akoestische activiteit en het aantal vleermuizen binnen de rotorzone;
4. Er wordt rekening gehouden met de ruimtelijke spreiding van vleermuizen in het windpark;
5. De verhouding tussen het aantal opnamen en het aantal slachtoffers per soort is constant gedurende het seizoen en tussen verschillende turbines;
6. Het risico op aanvaring is nul bij een omloopsnelheid tot 1 RPM en neemt daarna lineair toe met toenemende draaisnelheid.

5.3.1 Locatiespecifiek

Een belangrijk aandachtspunt bij het ontwikkelen van een stilstandvoorziening is dat deze *specifiek moet zijn ontwikkeld voor het betreffende windpark*. Dit is noodzakelijk omdat op elke locatie de lokale vleermuispopulatie een andere soortensamenstelling kan hebben, het gebied voor iedere soort een variërend aantal gebruiksfuncties kan hebben en dat de vliegactiviteit in het gebied sterk seizoensgebonden kan zijn (bijvoorbeeld door migratie). Daarnaast kan de vleermuisactiviteit in een windpark een ruimtelijk patroon hebben, waardoor in een specifiek gedeelte of bij bepaalde windturbines veel slachtoffers vallen, terwijl op andere locaties in hetzelfde windpark het slachtofferrisico lager is (bijvoorbeeld als gevolg van verschillende terreintypen, *onshore* vs. *offshore* enzovoort).

5.3.2 Soortspecifiek

Verschillen in ruimtelijke patronen kunnen ook in het verticale vlak aanwezig zijn doordat verschillende soorten verschillende vlieghoogtes gebruiken of één specifieke soort verschillende vlieghoogtes kan gebruiken (bijvoorbeeld foerageren of migreren). In combinatie met het feit dat windturbines steeds hoger worden, waardoor laagvliegende soorten kunnen worden gemist, is het daarom noodzakelijk te monitoren op tenminste twee verschillende hoogtes: zie hoofdstuk 3. Bij elke soort kan er een andere relatie zijn tussen de gemeten akoestische activiteit en het slachtofferrisico. Er wordt daarom één model per soort gemaakt. Dat geldt ten minste voor soorten

uit het geslacht *Pipistrellus*. Vanwege onzekerheden of fouten in de identificaties van soorten die behoren tot de Nyctaloid-groep (geslachten *Nyctalus*, *Eptesicus*, *Vespertilio*) kunnen deze opnamen eventueel worden gegroepeerd en kan hiervoor één model worden ontwikkeld, waarbij de (veronderstelde) soortensamenstelling uiteindelijk weer kan worden gebruikt om te komen tot slachtofferrisico op soortniveau. Dit geldt eventueel ook voor de Myotis-groep voor het (onwaarschijnlijke) geval dat er ook niet-incidentele slachtoffers vallen in deze groep. Daarbij wordt per soort bepaald welke detectoren wordt gebruikt (afhankelijk van het vlieggedrag van de soort en de voorspellende waarde van het statistische model bij de betreffende dataset). In algemene zin zullen door de 'lage' detector de meeste *Pipistrellus*-soorten worden gedetecteerd, terwijl voor hoogvliegende soorten zoals rosse vleermuis de hoge detector mogelijk de beste optie is. Vervolgens wordt de stilstandvoorziening gebaseerd op het model van de meest 'kritische' soort, dat wil zeggen een *worst-case*-insteek.

5.3.3 Relatie akoestische activiteit en aantal dieren

In dit protocol werken we met de aanname dat er een relatie is tussen de gemeten vleermuisactiviteit (per soort) en het aantal dieren. Op basis van deze aanname kunnen we de akoestische activiteit gebruiken als proxy voor het aantal dieren dat zich nabij de windturbine bevindt en potentieel slachtoffer kan worden. Uit onderzoek op land is ook bekend dat er een duidelijke relatie is tussen het aantal slachtoffers en de gemeten postconstructie vleermuisactiviteit, waarbij deze activiteit weer afhangt van het seizoen, het tijdstip in de nacht, neerslag, windsnelheid en temperatuur (Kunz *et al.* 2007, Baerwald & Barclay 2009, Baerwald & Barclay 2011, Korner-Nievergelt *et al.* 2013). Daarnaast kunnen andere omgevingscondities van belang zijn. Zo is er bij migrerende ruige dwergvleermuizen in het najaar een relatie tussen de migratie-intensiteit, de windrichting en maancyclus vastgesteld (Lagerveld *et al.* 2023).

5.3.4 Ruimtelijke spreiding

Het model dient tevens rekening te houden met eventueel aanwezige ruimtelijke spreiding in de akoestische activiteit. Bij geringe variatie kan worden volstaan met het windturbinennummer als random effect. Indien er grote verschillen zijn tussen individuele windturbines dan dient het windturbinennummer als categorische variabele in het model te worden meegenomen. Indien deze verschillen samenhangen met een of meerdere habitatkarakteristieken (bijvoorbeeld afstand tot de dijk, afstand tot de bomenrij etc.) en niet zozeer zijn toe te schrijven aan verschillen tussen individuele windturbines, dan kan deze ruimtelijke variatie ook worden gevat in een of meerdere covariabelen waarmee de ruimtelijke variatie van habitatkarakteristieken kan worden beschreven. Ten slotte is het ook mogelijk om de ruimtelijke variatie te beschrijven middels een XY (tensor) smoother indien op een groot aantal windturbines gemonitord is (meer dan 10).

5.3.5 Verhouding opnamen en slachtofferrisico

Omdat onbekend is op welke specifieke tijdstippen slachtoffers vallen (slachtoffers kunnen niet *real time* worden vastgesteld), wordt ervanuit gegaan dat de verhouding tussen het aantal (soortspecifieke) opnamen en het aantal slachtoffers van de desbetreffende soort constant is gedurende het seizoen in een bepaald windpark en onafhankelijk is van de individuele windturbine binnen het windpark. Onderstaande werkwijze kan dus uitsluitend worden gebruikt voor windparken waarin een kwalitatief goed slachtoffermonitoring mogelijk is. Het kan dus sowieso niet worden gebruikt bij windturbines die in het water staan (zie Lagerveld *et al.* 2020 voor achtergrondinformatie) of windturbines in gebieden met een zodanige vegetatiebedekking dat slachtoffers zoeken niet haalbaar is.

5.3.6 Invloed van draaisnelheid

Het slachtofferrisico wordt niet alleen bepaald door het aantal dieren (akoestische activiteit), maar ook door de windturbine zelf. Bij oude windturbines wordt er vaak van uitgegaan dat er geen slachtoffers vallen indien de 'vrijloop' omloopsnelheid wordt beperkt tot 1 RPM (Rodrigues *et al.* 2014). Door de almaar toenemende rotordiameter (en bijbehorende tipsnelheid) van moderne windturbines is het de vraag of deze waarde nog steeds klopt. Vanaf een bepaalde windsnelheid, meestal rond de 2 meter per seconde gaat de turbine draaien totdat de zogenaamde 'rated speed' wordt bereikt waarbij de turbine draait op nominaal vermogen. Vanaf ca. 3 meter per seconde gaat de windturbine energie produceren. Het lijkt aannemelijk dat er een verband is tussen de tipsnelheid van de rotor en het slachtofferrisico. Echter, hoe dit verband er precies uitziet is onbekend. We houden daarom aan dat de blootstelling 0 is bij een omloopsnelheid tot 1 RPM, en dat de blootstelling lineair toeneemt van 0 tot 1 tussen 1 RPM en de 'rated speed'.

5.4 Statistisch model

Het model kan worden gedefinieerd als:

$$F_s(t) = E(t) * P(A(t)) * P(f)$$

met:

$F_s(t)$ = aantal slachtoffers per soort(groep) per tijdseenheid

$E(t)$ = blootstelling per tijdseenheid (0 bij $RPM \leq 1$, lineair toenemend van 0 tot 1 bij $RPM = 1$ tot $RPM = RPM_{max}$, en 1 bij $RPM > RPM_{max}$)

$P(A(t))$ = verwacht aantal opnames per soort(groep) per tijdseenheid

$P(f)$ = slachtoffer-risico (wordt iteratief bepaald, zie hieronder)

waarbij:

$P(A(t)) = f(\text{covariaten}) + \text{autocorrelatiestructuur}$ (zie Werkwijze).

De analyse wordt voor het gehele vliegseizoen gedaan (periode 1 april – 1 november). Om



statistische problemen met het aantal nulwaarnemingen in de dataset (zero-inflatie) zoveel mogelijk te beperken wordt de vleermuisactiviteit binnen een zo klein mogelijke tijdseenheid geanalyseerd. Het minimum daarbij is 10 minuten (vanwege het detailniveau van de SCADA-data) en het maximum is één uur om het aantal nullen te beperken. Het doel hierbij is om de stilstandvoorziening zo specifiek als mogelijk te maken.

Nadat het model is afgerond kan middels de predictor-effect plots een goed inzicht worden verkregen in het 'gewicht' van elke covariabele.

Op basis van historische weergegevens kan het verwacht aantal opnamen per tijdseenheid worden berekend, die vervolgens worden gecorrigeerd met blootstelling. Op basis van het gecorrigeerde aantal opnamen in combinatie met het totaal aantal slachtoffers (hoofdstuk 4) kan vervolgens het slachtofferrisico worden bepaald. Door middel van een iteratieve benadering kan vervolgens worden bepaald op welke wijze (bij welke waarden van de voorspellers) de beoogde reductie in aantal slachtoffers kan worden gerealiseerd.

Het bovenstaande gaat uit van een uitgangssituatie zonder stilstandvoorziening. Indien er al een stilstandvoorziening van kracht is dient deze tot uitdrukking te worden gebracht in de blootstelling. Vervolgens kan dezelfde werkwijze worden aangehouden.

5.5 Presentatie van de uitkomsten

Ondanks de complexe statistiek die noodzakelijk is om tot een gedegen stilstandvoorziening te komen, is het zaak dat de uitkomsten op begrijpelijke wijze worden gerapporteerd zodat ook niet-statistici de resultaten kunnen duiden. Dit kan door bijvoorbeeld de invloed van enkele belangrijke variabelen (zoals windsnelheid, temperatuur, tijd in het seizoen etc.) te visualiseren in histogrammen, density plots of predictor-effect plots. Daarnaast kan in tabellen de effectiviteit van de stilstandvoorziening bij bepaalde parameters worden gekwantificeerd.

5.6 Werkwijze

Personen die onderstaande berekeningen uitvoeren dienen te beschikken over een gedegen kennis op het gebied van statistiek op minimaal MSc-niveau, en dat ten minste de volgende onderdelen omvat: data exploration, LR, GLM, GAM, mixed-effect models, zero-inflated/hurdle models, spatial models, spatiële & temporele autocorrelatie en model validation.

Onderstaande werkwijze is gebaseerd op Zuur *et al.* (2010) en Zuur & Ieno (2016).

stap	activiteiten	opmerkingen
Datamanagement	Akoestische data	
	Scheiden opnamen vleermuizen en "ruis"	
	Identificatie op soort(groep) niveau	
	Metadata detector:	

stap	activiteiten	opmerkingen
	Type Monitoringsperiode / tijd aan/uit Hoogte en oriëntatie Windturbinenummer	
	Metadata windpark Aantal windturbines Verband windsnelheid/omloopsnelheid Habitatkaracteristieken Eigenschappen windturbines Windturbinenummer Type Hub-hoogte Rotordiameter Locatie	
	Data windturbine Windturbinenummer Periode operationeel/onderhoud Per tijdseenheid: Omloopsnelheid Windsnelheid [m/s] op hub-hoogte Windrichting [gr] op hub-hoogte	
	Weerdata per tijdseenheid Temperatuur [graden Celsius] Neerslag [millimeter]	Uit SCADA (zie hieronder)
	Respons variabele definiëren	Aantal opnamen per soort per tijdseenheid (max 1 uur)
	Covariabelen definiëren:	Minimaal: datum [nachtnummer in jaar] tijdstip in de nacht [% van de nachtlengte] neerslag [mm per tijdseenheid] windsnelheid [m/s]. temperatuur [grC]
Data-exploratie	Outliers in respons variabele en covariaten	In principe uitsluitend foutieve waarden verwijderen.
	homogeniteit van variantie in respons variabele	Variantie in monitoringsresultaten van de verschillende windturbines zou ongeveer even groot moeten zijn
	Check verdeling respons variabele	

stap	activiteiten	opmerkingen
	Zero inflation?	Geschikt model kiezen dat kan omgaan met nullen in de dataset zoals Negatief binomiaal of Hurdle model. Als dat niet afdoende is om een kwalitatief goed model te fitten, dan mogelijk andere respons variabele kiezen (tijdsinterval vergroten)
	Check relatie tussen covariabelen	Sterk gecorreleerde covariaten (VIF >3) kunnen niet beiden meedoen in de analyse
	Check relatie tussen respons variable en covariaten	Liefst lineaire covariaten. Indien niet mogelijk (bijv nacht in jaar) dan smoother. Windrichting per definitie als circular smoother.
	Check eventuele interacties tussen covariabelen	
	Onafhankelijkheid van waarnemingen	Belangrijk aandachtspunt bij deze dataset. Er zit vrijwel zeker temporele autocorrelatie in deze dataset en mogelijk ook spatiële.
Statistische analyse	Identificeer de afhankelijkheidsstructuur in de data (zie ook voorgaande stap)	Er zijn verschillende mogelijkheden om hier mee om te gaan, zie Zuur & Ieno 2016. In sommige gevallen kan spatiële autocorrelatie ook 'ongedaan' worden gemaakt door covariaten toe te voegen zoals bijvoorbeeld afstand tot de dijk/bomenrij etc)
	Definieer het model	
	Run het model	
	Valideer het model	Een cruciale stap waarbij de residuals moeten worden geplot tegen de gefitte waarden en covariabelen. Check wederom de autocorrelatie in ruimte en tijd, en eventuele overdispersie
	Output van het model	Beoordeel welke covariabelen belangrijk zijn, en welke niet.
	Visuele representatie van het model	Om de invloed van individuele covariaten te kunnen beoordelen

stap	activiteiten	opmerkingen
		worden zogenaamde predictor-effectplots gemaakt
	Simuleer op basis van het model	Check bijvoorbeeld in hoeverre de hoeveelheid voorspelde nullen overeenkomt met die van de dataset
Tunen stilstandvoorziening	Per nacht aantal slachtoffers voorspellen op basis van historische weerdata Middels iteratie waarbij telkens de waarden van weerparameters in kleine stapjes worden verhoogd (of verlaagd) aantal slachtoffers opnieuw voorspellen, totdat de beoogde reductie wordt gehaald.	
Verificatie stilstandvoorziening	Verifiëren op basis van slachtoffermonitoring in het veld of de beoogde reductie is behaald.	

5.7 Weerdata

Een windturbine legt onder andere windrichting, windsnelheid en temperatuur vast die vanuit de gondel zijn gemeten in zogenoemde 10 minuten gemiddelden. Dit zijn zeer nauwkeurige metingen op vrijwel exact dezelfde locatie als waar de recorder aanwezig is. Het gebruik van deze weerdata heeft dus de voorkeur boven andere gegevens. KNMI-gegevens van weerstations zullen in veel gevallen op grotere afstand van het windpark worden verzameld en hebben een temporele resolutie van een uur (bij SCADA-data is dat 10 minuten) en zijn derhalve minder goed bruikbaar. Het is niet mogelijk om zowel KNMI-windgegevens als SCADA-windgegevens in dezelfde analyse te gebruiken omdat KNMI-winddata op 10 meter hoogte worden gemeten en SCADA-data op gondel-niveau.

Wanneer de vleermuisactiviteit gekoppeld wordt aan weergegevens dan moeten beide datasets in dezelfde tijdzone staan. SCADA-winddata van windturbines staan niet standaard in UTM maar kunnen ook UTM+1 staan of zelfs correcties voor zomertijd bevatten. Daarnaast kunnen nog fouten ontstaan wanneer bijvoorbeeld een tijdstempel niet het begin maar het einde van een tijdsinterval weergeeft, of dat een geluidsanalyse programma automatisch een zomertijd correctie toepast. Het is dus zeer belangrijk om na afloop te controleren of de koppeling op de juiste manier is verlopen.

6 Kennislacunes

Met de voorgestelde methodes in dit protocol ligt er een voorstel op basis van de meest recente wetenschappelijke kennis aangevuld met gedegen *expert knowledge*. Op een aantal gebieden is er sprake van kennislacunes; hieronder noemen we een aantal belangrijke. De verwachting is dat hier de komende jaren nader onderzoek naar zal worden gedaan en dat op basis van nieuwe data en publicaties dit protocol zal moeten/kunnen worden aangepast. Hiervoor is het dan wel noodzakelijk dat alle verzamelde data beschikbaar zijn voor nadere analyse/onderzoek.

De belangrijkste kennislacunes:

- De gebruikte routes van migrerende soorten zijn niet goed bekend.
- Het voorspellen van de gepiekte migratie is nog niet mogelijk.
- Het aantal slachtoffers van windturbines in water (of ander niet-afzoekbaar habitat) kan niet worden bepaald.
- Het is niet bekend in hoeverre gebruiksfuncties en aantallen slachtoffers van een windpark in de loop van de tijd kunnen veranderen, bijvoorbeeld als gevolg van klimaatverandering.
- De exacte relatie tussen tipsnelheid en het aanvaringsrisico is niet bekend (mogelijk soortspecifiek en turbinespecifiek).
- De relatie tussen het aantal dieren en de akoestische activiteit is niet bekend.
- Bepalen effectiviteit (over langere tijd) van stilstand-applicaties (DT BAT of anders).
- Aanname verifiëren: verhouding tussen het aantal (soortspecifieke) opnamen en het aantal slachtoffers van de desbetreffende soort is constant gedurende het seizoen in een bepaald windpark, en is onafhankelijk van de locatie binnen het windpark.

Tot slot het verzoek om indien de komende tijd interessante informatie beschikbaar komt uit literatuur of eigen onderzoek, als er bedenkingen zijn bij bepaalde aannames, waardes, etc., kortom alles wat een volgende versie van het protocol beter zou kunnen maken: stuur dit door aan info@zoogdiervereniging.nl met als onderwerp: "monitoringsprotocol vleermuizen windparken op land – aanpassingen"; ze kunnen dan worden meegenomen bij de volgende revisie van het protocol.

7 Literatuurlijst

Adams, E.M., J. Gulka & K.A. Williams. 2021. A review of the effectiveness of operational curtailment for reducing bat fatalities at terrestrial wind farms in North America. PLoS ONE 16, e0256382.

Arnett, E.B., W.K. Brown, W.P. Erickson, J.K. Fiedler, B.L. Hamilton, T.H. Henry, A. Jain, A., G.D. Johnson, J. Kerns & R.R. Koford. 2008. Patterns of Bat Fatalities at Wind Energy Facilities in North America. J. Wildl. Manag. 72, 61–78.

Arnett, E.B., M.M. Huso, M.R. Schirmacher & J.P. Hayes. 2011. Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. Front. Ecol. Environ. 9, 209–214.

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; Report; National Renewable Energy Laboratory: Austin, TX, USA.

Bach, L. & U. Rahmel. 2004. Summary of wind turbine impacts on bats—Assessment of a conflict. Bremer Beiträge Nat. Nat. 7, 245–252.

Baerwald, E.F., Edworthy, J., Holder, M. & R.M.R. Barclay. 2009. A Large-Scale Mitigation Experiment to Reduce Bat Fatalities at Wind Energy Facilities. J. Wildl. Manag. 73, 1077–1081.

Baerwald, E. F. & R. M. R. Barclay. 2009. Geographic Variation in Activity and Fatality of Migratory Bats at Wind Energy Facilities. Journal of Mammalogy, 90(6), 1341–1349. <https://doi.org/10.1644/09-mamm-s-104r.1>.

Baerwald, E. F. & R.M.R. Barclay. 2011. Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. Journal of Wildlife Management 75: 1103–1114.

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.

Bernardino, J., R. Bispo, P. Torres, R. Rebelo, M. Mascarenhas & H. Costa. 2011. Enhancing carcass removal trials at three wind energy facilities in Portugal. Wildlife Biology in Practice 7: 1-14.

Bispo R., J. Bernardino, T.A. Marques & D. Pestana. 2013. Modeling carcass removal time for avian mortality assessment in wind farms using survival analysis. Environmental and Ecological Statistics 20:147–165.



Boonman, M., H.J.G.A. Limpens, M.J.J. La Haye, M. van der Valk & J.C. Hartman. 2013. Protocolen vleermuisonderzoek bij windturbines. Rapport 2013.28, Zoogdiervereniging & Bureau Waardenburg.

Brenninkmeijer, A., N. Bolt, H. Limpens, M. Boonman, P. Joop, H. Prinsen & M. Epe. 2021. Monitoringsprotocol nieuwe windparken in Nederland (project NIEWHOL).

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. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(42), 15126–15131.

Dalthorp, D., M. Huso & D. Dail. 2017. Evidence of absence (v2.0) software user guide: U.S. Geological Survey Data Series 1055, 109 p., <https://doi.org/10.3133/ds1055>.

Dalthorp, D., L. Madsen, M. Huso, P. Rabie, R. Wolpert, J. Studyvin, J. Simonis & J. Mintz. 2018. GenEst statistical models—A generalized estimator of mortality: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 7, chap. A2, 13 p., <https://doi.org/10.3133/tm7A2>.

Dietz, C. & A. Kiefer. 2014. *Die Fledermäuse Europas*. Kosmos Verlag, Stuttgart.

EPRI. 2017. Bat Detection and shutdown System for Utility-Scale Wind Turbines. – final report 3002009038 from The Electric Power Research Institute Palo Alto, CA.: 98 pp.

Grodsky, S.M.; M.J. Behr, A. Gendler, D. Drake, B.D. Dieterle, R.J. Rudd & N.L. Walrath. 2011. Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. *J. Mammal.* 92, 917–925.

Guest, E. E., B.F. Stamps, N.D. Durish, A.M. Hale, C.D. Hein, B.P. Morton, S.P. Weaver, & S.R. Fritts. 2022. An updated review of hypotheses regarding bat attraction to wind turbines. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 12(3), 343. <https://doi.org/10.3390/ani12030343>.

Hein, C. D., J. Gruver & E. B. Arnett. 2013. Relating pre-construction bat activity and post-construction bat fatality to predict risk at wind energy facilities: a synthesis. Bat Conservation International (BCI), Austin, Texas. March 2013. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/relating-preconstruction-bat-activity.pdf>.

Huso, M. M., P. D. Dalthorp, D. Dail & L. Madsen. 2015. Estimating wind-turbine-caused bird and bat fatality when zero carcasses are observed. *Ecological Applications*, 25, 1213–1225. <http://www.jstor.org/stable/24432123>.



Jonge Poerink, B., J. Dekker, R. Modderman & M. van der Ende, (*in prep.*). De Tweekleurige vleermuis in NO Groningen: risico-analyse verblijfplaatsen en foerageergebieden. Zuurdijk/Arnhem: Ecosensys rapportnummer 20220408. Ecosensys & Jasja Dekker Dierecologie.

Kirkpatrick, L., J. Graham, S. McGregor, L. Munro, M. Scoarize & K. Park, 2018. Flexible foraging strategies in *Pipistrellus pygmaeus* in response to abundant but ephemeral prey. Plos One <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204511>.

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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067997>.

Korner-Nievergelt, F., O. Behr, R. Brinkmann, M.A. Etterson, M.M.P. Huso, D. Dalthorp, P. Korner-Nievergelt, T. Roth & I. Niermann. 2015. Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass – a tutorial. Wildlife Biology 21: 30-43.

Krapp, F., 2011. Die Fledermäuse Europas, ein umfassendes Handbuch zur Biologie, Verbreitung und Bestimmung. Aula Verlag, Wiebelsheim.

Kronwitter, F., 1988. Population structure, habitat use and activity patterns of the noctule bat (*Nyctalus noctula*) revealed by radio tracking. Myotis 26, 23-85.

Kunz, T.H.; Arnett, E.B.; Erickson, W.P.; Johnson, G.D.; Larkin, R.P.; Strickland, M.D.; Thresher, R.W.; Tuttle, M.D. 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: Questions, hypotheses, and research needs. Front. Ecol. Environ. 5, 315–324.

Kunz, T. H., E.B. Arnett, W.P. Erickson, A.R. Hoar, G.D. Johnson, R.P. Larkin, M.D. Strickland, R.W. Thresher & M.D. Tuttle, M.D. 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: Questions, research needs, and hypotheses. Frontiers in Ecology and the Environment, 5(6), 315–324. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[315:EIOWED\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2).

Lagerveld, S., C.A. Noort, L. Meesters, L. Bach, P. Bach & S. Geelhoed., S. 2020. Assessing fatality risk of bats at offshore wind turbines. (Wageningen Marine Research rapport; No. C025/20). Wageningen Marine Research. <https://doi.org/10.18174/518591>.

Lagerveld, S., T. Wilkes, M. van Puijenbroek, B. Noort & S. Geelhoed. 2023. Acoustic monitoring reveals spatiotemporal occurrence of Nathusius' pipistrelle at the southern North Sea during autumn migration. Environmental Monitoring and Assessment. 195, 1016. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11590-2>.



Lagerveld, S. & K. Mostert. 2023. Are offshore windfarms in the Netherlands a potential threat for coastal populations of noctule? *Lutra* 66(1); 39-53.

Lawson, M., D. Jenne, R. Thresher, D. Houck, J. Wimsatt & B. Straw. 2020. An investigation into the potential for wind turbines to cause barotrauma in bats. *PLoS ONE*. 15, e0242485.

Leroux, C., C. Kerbiriou, I. Le Viol, N. Valet & K. Barré 2022. Distance to hedgerows drives local repulsion and attraction of wind turbines on bats: Implications for spatial siting. *Journal of Applied Ecology* 59: 2142 - 2153.

Peste, F., A. Paula, L.P. da Silva, J. Bernardino, P. Pereira, M. Mascarenhas, H. Costa, J. Vieira, C. Bastos & C. Fonseca. 2015. How to mitigate impacts of wind farms on bats? A review of potential conservation measures in the European context. *Environ. Impact Assess. Rev.* 51, 10–22.

Reusch, C., A. Ailin Paul, F. Fritze, S. Kramer-Schadt & C. Voigt. 2023. Wind energy production in forests conflicts with tree-roosting bats. *Current Biology* 33, 1- 7.

Rodrigues, L., L. Bach, M. Dubourg-Savage, B. Karapandža, D. Kovač, T. Kervyn, J. Dekker, A. Kepel, P. Bach, J. Collins, C. Harbusch, K. Park, B. Micevski & J. Minderman. 2015. Guidelines for Consideration of Bats in Wind Farm Projects Revision 2014 (Report No. Publication Series No. 6). Report by EUROBATS.

Roeleke, M., T. Blohm & S. Kramer-Schadt. 2016. Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Sci Rep* 6, 28961 <https://doi.org/10.1038/srep28961>.

Rollins, K.M., D.K. Meyerholz, G.D. Johnson, A.P. Capparella & S.S. Loew. 2012 A forensic investigation into the etiology of bat mortality at a wind farm: Barotrauma or traumatic injury? *Vet. Pathol.* 49, 362–371.

Runkel V. 2020. Acoustic surveys of bats – possibilities and limitations during the planning and operation of wind turbines. In: Voigt CC (ed.) *Evidenzbasierter Fledermausschutz in Windkraftvorhaben*, 3–28. SpringerSpektrum, Berlin, Germany. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61454-9_4.

Rus, J. 2021. Bat calls of Britain and Europe. A guide to species identification. Pelagic Publishing, Exeter UK.

Rydell, J., L. Bach, M.J. Dubourg-Savage, M. Green, L. Rodrigues & A. Hedenström. 2010. Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*. 12, 261–274.



Solick, D., D. Pham, K. Nasman & K. Bay. 2020. Bat Activity Rates do not Predict Bat Fatality Rates at Wind Energy Facilities. *Acta Chiropterologica*, 22(1), 135-146.
<https://doi.org/10.3161/15081109ACC2020.22.1.012>.

Safi, K.2006. Die Zweifarbfledermaus in der Schweiz: Status und Grundlagen zum Schutz. Haupt Verl.

Simonis, J., D. Dalthorp, M. Huso, J. Mintz, L. Madsen, P. Rabie & J. Studyvin. 2018. GenEst user guide—Software for a generalized estimator of mortality: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 7, chap. C19, 72 p., <https://doi.org/10.3133/tm7C19>.

Tableman, M. 2012. Survival analysis using S/R. Unterlagen für den Weiterbildungs–Lehrgang in angewandter Statistik an der ETH Zürich. Portland State University, Portland.

Vleermuisvakberaad, Netwerk Groene Bureaus & Zoogdierverseniging. 2021. Vleermuisprotocol 2021.
<https://www.netwerkgroenebureaus.nl/werken-aan-kwaliteit/soortinventarisatieprotocollen/vleermuisprotocol>.

Voigt, C.C., D. Russo, V. Runkel & H.R. Goerlitz. 2021. Limitations of acoustic monitoring at wind turbines to evaluate fatality risk of bats. *Mam Rev*, 51: 559-570. <https://doi.org/10.1111/mam.12248>.

Voigt, C. C., C. Scherer & V. Runkel. 2022. Modeling the power of acoustic monitoring to predict bat fatalities at windturbines. *Conservation Science and Practice* e12841.<https://doi.org/10.1111/csp2.12841>

Waters, D.A., G. Jones & M. Furlong. 1999. Foraging ecology of Leisler’s bat (*Nyctalus leisleri*) at two sites in southern Britain. *Journal of Zoology*, 249: pp. 173 – 180.

Wellig, S. D., S. Nusslé, D. Miltner, O. Kohle, O. Glazot, 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*,13(3), e0192493.

Whitby, M.; M. Schirmacher & W. Frick. 2021. The State of the Science on Operational Minimization to Reduce Bat Fatality at Wind Energy Facilities; A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory; Bat Conservation International: Austin, TX, USA.

Zuur, A.F., E.N. Ieno & C.S. Elphick. 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecology and Evolution*, 1, 3–14.

Zuur, A.F. & E.N. Ieno. 2016. A protocol for conducting and presenting results of regression-type analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 7 pp. 636-645.



8 Bijlagen

Bijlage 1 – Definities

Bijlage 2 – Standaardinstellingen stationaire recorders



Bijlage 1 - Definities

Verblijfplaats: Een object (gebouw, boom, bunker, grot, kast en dergelijke) waarin een of meerdere vleermuizen verblijven (overdag of 's winters, met enige regelmaat).

Zomerverblijfplaats: Een verblijfplaats die gebruikt wordt door vleermuizen die niet in winterslaap zijn waarvan niet aangetoond is dat het een kraamverblijfplaats dan wel een paarverblijfplaats is.

Kraamverblijfplaats: Een verblijfplaats van een kraamgroep met vrouwtjes met jongen.

Paar(verblijf)plaats: Een verblijfplaats of de omgeving daarvan, waar ten minste een baltsend mannetje of meerdere vleermuizen overdag verblijven en paren of komen zwermen. Welk gedrag is waar te nemen, is afhankelijk van de soort. Te herkennen aan zwermgedrag en/of baltsroepen. (Zwermen bij het invliegen komt bij meer verblijfsfuncties voor.)

Winterverblijfplaats: Een verblijfplaats waar in de winter een of meerdere vleermuizen in winterslaap (*hibernation*) gaan. Het betreft bij soorten die jaarrond in hun leefgebied blijven nogal eens een voormalige paarplaats of een andere verblijfplaats. Er zijn bij soorten als gewone dwergvleermuis massawinterverblijfplaatsen en winterverblijfplaatsen voor kleinere groepen te onderscheiden.

Vliegroute: Een vaste route van een vleermuis of een groep van vleermuizen vanaf een verblijfplaats naar een foerageergebied of tussen verblijfplaatsen visa versa.

Migratieroute: Een vaste route van zomerleefgebied naar winterverblijfplaats of winterleefgebied en visa versa.

Foerageergebied: Een gebied waar een vleermuis of een groep van vleermuizen foerageert.

Bijlage 2 – Standaardinstellingen stationaire recorders

type recorder	parameter	standaard instelling
Avisoft	Frequency range	15 – 80 kHz
	Magnitude threshold	-66,6 dBFS
	fc	15 kHz
	High / low frequency magnitude ratio	> 6 dB
	Hold time	2 ms
Batcorder	Quality	20
	Threshold	-36 dB
	Posttrigger	400 ms
	Critical frequency	16 kHz
	Noise filter	1
Batlogger	Post trigger ignore	0 s
	Min. Crest	7
	Min. F	15
	Max. F	155
	Posttrigger	1000

Jaarlijks dient de microfoon voorafgaand aan het meetseizoen gekalibreerd te worden door de fabrikant of ander erkend bedrijf. Uit de kalibratie volgt een correctiefactor die in de instellingen van de recorder gezet moeten worden. Door een dagelijks testsignaal kan de gevoeligheid gedurende de meting gevolgd worden. Een tijdelijke daling van de gevoeligheid is normaal en kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld mistig weer (condens), een regenbui of een insect voor de microfoon. Wanneer de gevoeligheid vijf dagen achtereen een afwijking van meer dan 6 dB (Brinkmann *et al.* 2011) laat zien ten opzichte van de uitgangssituatie en dit niet verklaard kan worden door aanhoudend mistig of regenachtig weer, dan dient deze vervangen te worden.

Hieronder zijn de instellingen weergegeven van twee veelgebruikte recorders, Avisoft en Batcorder.

Avisoft

In het programma Avisoft Recorder USGH zijn dit de instellingen in de configuratie preset: bat call / WEA bat monitoring BMU. Het trigger event level (hieronder 0.468) volgt uit de microfoon kalibratie en zal dus per microfoon verschillen. Wanneer de microfoon gekalibreerd is door de fabrikant dan zal deze een certificaat bij de microfoon leveren. Hierop staan de 'full scale level of reference signal' en 'SPL of reference signal' weergegeven. *Level of trigger threshold* dient altijd 37.0 te zijn. Deze waarden dien je dus in te voeren om de gevoeligheid van de microfoon te standaardiseren en ten opzichte van de uitgangssituatie te kunnen volgen.



Configuration

Channel Settings

Device: 1 Avisoft UltraSoundGate 116Hnbm 2.1 #1 Channel: 1

Current file number: 1 Increment

Pre-trigger: 0.3 s Hold tm: 1 s Duration > 0 s Syllable > 0 s Monitor...

Trigger: level of this channel reject wind/rain Open in SASLab
 whistle tracking Wait for SASLab

Trigger Event

Level: 0.468 % Energy Range: 15 - 80 kHz Entropy <

Base directory: C:/BATmode/

Input Device Settings uniform settings on all devices

Device: 1 Avisoft UltraSoundGate 116Hnbm 2.1 #1

Sampling rate: 300000 Hz Buffer: 0.032 s

Format: 16 bit Slave Settings...

high-pass filter:

Display Settings more...

Display: spectrogram

Range: 0 % 250 kHz

1171Hz FFT size: 256

x10 Overlap: 75 %

Enlarge y axis by: 1

Bat Call Trigger Filter Settings

enable bat call filter

FM sweep rate and duration limits accept only monotonic structures

	min sweep rate	max sweep rate	min duration	max dur.
FM :	-9 -49.4 kHz/ms	-1 -5.5 kHz/ms	1 ms	10 ms
CF :	-2 -11.0 kHz/ms	1 5.5 kHz/ms	2 ms	40 ms

Spectrogram settings

FFT size: 256 Overlap: 75 Window: FlatTop

resolution : 0.213 ms x 1.172 kHz

frequency range: 15 - 80 kHz limit peak search to this range

high/low frequency magnitude ratio > 6 dB fc= 15 kHz

magnitude threshold : -66.6 dBFS hold time= 2 ms

entropy threshold : 35 %

apply these settings also to all other channels



Batcorder

Hieronder zijn de benodigde instelling voor de batcorder weergegeven. De gevoeligheid kan op verschillende waarden worden ingesteld afhankelijk van de hoeveelheid stoorgeluid van de windturbine die kan worden verwacht. Aan de achterzijde van de microfoon zit een sticker waarop de correctiefactor is weergegeven die in de batcorder ingevoerd moet worden.

