

Lichtexperiment Beatrixsluis

Het effect van *phosphor converted* amber, amber en wit licht op de activiteit van gewone dwergvleermuis (*Pipistrellus pipistrellus*)

Marlotte N. Jonker, Eric Jansen, Marcel J. Schillemans & Herman J.G.A. Limpens



2021.23

Rapport van de Zoogdierverseniging

In opdracht van Habitus

Lichtexperiment Beatrixsluis

Rapport nr.:	2021.23
Datum uitgave:	21-12-2021
Status	definitief
Auteur:	Marlotte N. Jonker, Eric Janssen, Marcel J. Schillemans & Herman J.G.A. Limpens
Statistiek:	Lino Kämmerle
Illustraties:	Foto voorpagina Erik Korsten
Kwaliteitscontrole:	Herman J.G.A. Limpens
Productie:	Steunstichting VZZ, in rapport vermeld als de Zoogdiervereniging Bezoekadres: Toernooiveld 1 6525 ED Nijmegen Postadres: Postbus 6531 6503 GA Nijmegen Tel.: 024 7410500 secretariaat@zoogdiervereniging.nl www.zoogdiervereniging.nl
Gegevens opdrachtgever:	Habitus BV Tolnasingel 1 2411 PV Bodegraven
Contactpersoon opdrachtgever	Benjamin Brandt

De Zoogdierstichting is onderdeel van de Zoogdiervereniging

Dit rapport kan geciteerd worden als:

Jonker, M.N., E.A. Jansen, M.J. Schillemans & H.J.G.A. Limpens, 2021. **Lichtexperiment Beatrixsluis - Het effect van *phosphor converted amber*, amber en wit licht op de activiteit van gewone dwergvleermuis (*Pipistrellus pipistrellus*)**. Rapport 2021.23. De Zoogdiervereniging, Nijmegen.

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	6
1.1	PROBLEMATIEK	6
1.2	AANLEIDING TOT ONDERZOEK	8
1.3	VRAAGSTELLING	10
1.4	DEELHYPOTHESE	11
2	WERKWIJZE	13
2.1	ONDERZOEKSOPZET	13
2.2	LOCATIE PROEFOPSTELLING	13
2.2.1	PROEFOPSTELLING	14
2.3	GELUID: OPNAME	15
2.3.1	OPNAME-APPARATUUR	15
2.3.2	AANTAL NACHTEN	16
2.4	GELUID: ANALYSE	16
2.5	STATISTISCHE ANALYSE	16
2.5.1	DATAPREPARATIE	17
2.5.2	DATAEXPLORATIE	18
2.5.2.1	AFHANKELIJKE VARIABELEN	18
2.5.2.2	ONAFHANKELIJKE VARIABELEN	18
2.6	MODEL	20
3	RESULTATEN	22
3.1	MODEL RESULTATEN	22
4	CONCLUSIES	25
4.1	INTERPRETATIE RESULTATEN	25
4.2	DISCUSSIE	25
	LITERATUURLIJST	27
	BIJLAGE 1: FOTO'S VAN DE PROEFOPZET	29
	BIJLAGE 2: <i>HAND VETTING</i> WERKWIJZEN EN RESULTATEN	30
	BIJLAGE 3: R-SCRIPT	33

Voorwoord

Dit rapport beschrijft de resultaten van de lichtproef die is uitgevoerd in de omgeving van de Beatrixsluizen bij in Nieuwegein in de zomer van 2019, in het kader van de aanleg van een 3^e kolk. Deze rapportage richt zich op het lichtexperiment en de vergelijking van lichtbehandelingen (Wit, Amber, PC-Amber en de controle Donker) op de activiteit van de gewone dwergvleermuis. Hierin bespreken we de achtergrond, onderzoeksopzet, dataverwerking, statistische analyse en de resultaten. Uitvoer van het monitoringsplan en onderzoek is financieel mede mogelijk gemaakt door Rijkswaterstaat, Sas van Vreeswijk, Agidens en Holophane.

Samenvatting

Verlichting kan invloed hebben op de functionaliteit van vliegroutes en foerageergebieden van vleermuizen. In het projectgebied bij de Beatrixsluizen gaat het over concrete vliegroutes en oversteekplaatsen van de Gewone dwergvleermuis over de sluizen en het Lekkanaal en het foerageergebied van deze soort. Toepassing van smalbandig Amber specifiek op de vliegroutes en oversteekpunten, om effecten op die functies te voorkomen, is praktisch niet mogelijk, omdat het hele landschap is veranderd en nieuwe routes en oversteeklocaties mogelijk op andere locaties liggen. Toepassing van breedbandig amber licht (PC-Amber) voor alle nieuwe verlichting in het gehele projectgebied biedt mogelijk een oplossing, omdat deze ten opzichte van wit licht mogelijk minder verstorend kan zijn op de functionaliteit van de omgeving voor vleermuizen, en een goedkoper (energiezuiniger) alternatief is dan Amber. In een experiment is er gekeken naar de activiteit van gewone dwergvleermuizen bij de drie in het kader van de ruimtelijke ontwikkeling afgewogen verschillende kleurspectra: Wit, Amber en PC-Amber ten opzichte van de controleconditie van geen licht (Donker). Tevens is er gekeken naar het effect van afstand tot de lichtbron.

Er is geen significant verschil in vleermuisactiviteit tussen verschillende lichtbehandelingen gevonden. Er was een grote spreiding in de data, die deels verklaard kon worden door omgevingsfactoren zoals neerslag, wind en maanfase. Het is een beperkte proefopzet op één locatie, waardoor de individuele variatie binnen deze locatie effecten kan hebben gemaskeerd. Voor zekerheid zou het noodzakelijk zijn deze proefopzet te herhalen op meerdere locaties.

In het geval van de ontwikkeling van de 3^e kolk van de Beatrixsluis en de lokale verbreding van het Lekkanaal gaat vooral om potentiële effecten, of tegen gaan van effecten, op de functie vliegroute of oversteken. Het is van belang eventueel nader onderzoek specifiek daarop te richten. In het algemeen is het van belang, bij het onderzoeken van de effecten van een kleurspectrum van verlichting op vleermuizen onderscheid te maken tussen de functies voedselhabitat/foerageerhabitat, verbindend habitat en woonhabitat.

1 Inleiding

1.1 Problematiek

In de situatie van de Beatrixsluizen en het Lekkanaal is er onder andere sprake van vliegroutes i.c. oversteekplaatsen over het water en langs sluisgebouwen en bruggen. Dit gebeurt in de avond vanuit Nieuwegein in de richting van Houten. De oversteek over de open delen vindt bijna uitsluitend daar plaats, waar de afstand tussen vegetatie (bomen) aan beide kanten van het kanaal het kleinst is, evenals langs de sluisgebouwen en bruggen (Jansen & Limpens 2012; Jansen *et al.* 2014).

Door de aanleg van een derde kolk en de verbreding ten behoeve van meer en ruimere aanlegplaatsen is de afstand die over 'het open water' of 'langs sluisgebouwen en bruggen' moet worden overgestoken groter geworden. Tegelijk zijn er aan beide zijden bomen verdwenen. De aanlegplaatsen zijn ten opzichte van de uitgangssituatie sterker verlicht in verband met veiligheidsvoorschriften. De sluisen en sluisgebouwen zijn (weer) verlicht, waarbij de intensiteit en het aantal lichtpunten toenam doordat er een derde kolk bij kwam.

Vleermuizen kunnen hinder ondervinden van kunstmatige verlichting (zie Box 1) en in ruimtelijke ontwikkelingen dient de mate van lichthinder beoordeeld en indien nodig gemitigeerd te worden.

Box 1. Vleermuizen en licht

Nachtactieve dieren, zoals vleermuizen, kunnen hinder ondervinden van kunstmatig licht. Vleermuizen kunnen via verschillende mechanismen negatieve effecten ondervinden. Door de verstoring via kunstlicht is het mogelijk dat ze functioneel gedrag aanpassen of niet meer uitvoeren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een verblijfplaats die niet meer gebruikt wordt, het later of niet uitvliegen, structuren die niet meer gebruikt worden voor het zich verplaatsen door landschap of aan een gebied dat niet meer wordt gebruikt om te foerageren. Daarnaast kan er ook een indirect effect zijn via de reactie van de prooi-soorten op kunstlicht. Door bijvoorbeeld verstoring van de reproductie met als gevolg dat het prooiaanbod afneemt. Verder kan de aantrekkelijke werking van licht de verspreiding van de dichtheid in prooien in het landschap veranderen.

De gevoeligheid voor licht is soortafhankelijk: er zijn lichtschuwere en lichttolerante soorten maar er is ook variatie binnen een soort. De soorten reageren dan ook verschillend op de verschillende kleurenspectra en intensiteit (Voigt *et al.* 2021). Daarnaast is de mate van schuwheid of tolerantie t.o.v. licht die wordt waargenomen ook afhankelijk van het functionele gedrag en habitat van de vleermuis (foerageren/voedselhabitat, verplaatsen door landschap/verbindend habitat en verblijven/woonhabitat) en de specifieke situatie (bv. de voedselrijkdom van een foerageergebied).

In de praktijk van ruimtelijke ontwikkelingen is de consequentie daarvan dat er moet worden omgegaan met de bandbreedte van lichtschuwe tot meer lichttolerante soorten en

individuen, en van functies welke tot lichtschuw gedrag met zich meebrengen, tot functies en situaties waarin soorten en individuen zich minder lichtschuw gedragen.

De gewone dwergvleermuis (*Pipistrellus pipistrellus*) geldt, in vergelijking tot Myotis-soorten, zoals gewone baardvleermuis (*Myotis mystacinus*), meervleermuis (*Myotis dasycneme*), watervleermuis (*Myotis daubentonii*) en gewone grootoorvleermuis (*Plecotus auritus*), als een relatief lichttolerante soort voor het aspect foerageren. Gewone dwergvleermuizen jagen regelmatig bij verlichting op de door de verlichting aangetrokken insecten (Spoelstra *et al.* 2017). Anekdotische waarnemingen suggereren echter dat ze niet voortdurend in het licht jagen, maar af en toe door de lichtkegel duiken om een prooi te pakken. Op vliegroute langs structuren vermijden ze licht (Verboom 1998; Verboom & Huitema 2010; Voigt *et al.*, 2018, 2021) en ook bij het oversteken van gaten in het kiezen ze de donkere gedeeltes (Hale *et al.*, 2015). Stukken door open gebied, waar een geleidende structuur is verdwenen, worden pas later, bij donkerdere lichtomstandigheden overgestoken (Limpens & Verheggen 2004). Ook van de rosse vleermuis (*Nyctalus noctula*), een soort die eveneens op door licht aangetrokken insecten gaat jagen, is bekend dat zij los van dit 'jagen bij licht' actief kiest voor donker (Voigt *et al.* 2019). Licht op de uitvliegopening van een verblijf leidt tot relatief later uitvliegen (Moermans, 2000; Zgmajster *et al.* 2014). Over licht in hun verblijfplaatsen – bijvoorbeeld een spouwmuur – is niets bekend, maar er mag worden verwacht dat gewone dwergvleermuizen hier negatief op zullen reageren.

“Vleermuisvriendelijk verlichten”

Niet verlichten of donker is altijd het uitgangspunt. Als verlichten niet vermeden kan worden, is het van belang de eventuele negatieve effecten van verlichting zoveel mogelijk te voorkomen of te mitigeren. Binnen een te realiseren ruimtelijke ontwikkeling dient het doel dat met verlichten wordt nagestreefd, ook in ruimtelijke zin in het landschap, scherp te worden vastgesteld. Het is hierbij van belang het aantal lichtpunten en de lichtsterkte minimaal te houden en waar te optimaliseren. Dat wil zeggen dat de lampen goed geplaatst moeten worden, door ze bijvoorbeeld bewust niet te richten op gevoelig vleermuishabitat en alleen te richten op waar het voor mensen nodig en functioneel is. Alleen verlichten wanneer dit functioneel is kan ook door reactieve verlichting te gebruiken die alleen aangaat als dat nodig is. Negatieve impact voor vleermuizen is ook te beperken door de lichtbron af te schermen en het verlichtingsregiem aan te passen aan de nacht en het seizoen. Verder kan er worden geoptimaliseerd door de samenhang van reflectie en illuminatie slim te gebruiken en eventueel een vleermuisvriendelijke kleur of lichtspectrum te gebruiken (Voigt *et al.* 2018).

Als vleermuisvriendelijke kleur - voor het aspect foerageergebied van lichtschuwe soorten - is vooralsnog alleen rood (Philips Clearfield) in empirisch veldonderzoek onderzocht (Spoelstra *et al.* 2017). In dit onderzoek bleken Myotis- en Plecotus-soorten wit licht duidelijk te vermijden, terwijl donker en Philips ClearField niet van elkaar verschilden, terwijl dwergvleermuizen significant meer bij wit licht zijn waargenomen (aanrekening door insecten). Een grootschalig onderzoek naar spectra en intensiteit (dosis-response) waarin rood (Philips ClearField), amber en groen licht en donker worden onderzocht, in onder andere de situatie van vleermuizen op vliegroutes, is in het najaar van 2019 gestart

(<https://nioo.knaw.nl/en/light-nature>).

Bij de - potentieel - vleermuisvriendelijke kleur Amber wordt getracht effect op vleermuizen te verminderen door te werken met smalbandig spectrum (i.c. 590 nm +/- 6 nm) in een zone van lagere gevoeligheid van vleermuisogen. Deze kleur is door de mens nog relatief goed te zien en is bovendien bekend en geaccepteerd omdat het sterk overeenkomt met het spectrum van de veel gebruikte natrium lage druklampen. De functionaliteit van Amber als maatregel om effect op vleermuizen te voorkomen is echter nog onvoldoende onderzocht. Bij een experiment op een vliegroute van de meervleermuis (verbindend habitat) werd geen verschil tussen amber en donker vastgesteld (Limpens *et al.* 2010; non peer review). Bij een onderzoek bij vleermuizen die uitvliegen uit een grot (woonhabitat), waarin ook Amber werd getest, werd alleen tussen rood en donker geen verschil gevonden (Straka *et al.* 2020). Amber met een grotere bandbreedte (500-800 nm), zogenaamd *Phosphor Converted Amber*, hierna PC-Amber, is eveneens nog niet getest. PC-Amber is goedkoper en energiezuiniger dan Amber, en levert voor de mens meer zichtbaarheid van de omgeving. De aanname is dat dit bredere spectrum, dat nog steeds aan de oranje-oranje kant van het spectrum ligt, desondanks voor de relatief lichttolerante gewone dwergvleermuis mogelijke effecten op verbindend habitat en foerageerhabitat kan voorkomen.

1.2 Aanleiding tot onderzoek

Hoewel de gewone dwergvleermuis een soort is die tot de minder lichtschuwe soorten behoort, is openheid en verlichting wel een hindernis in relatie tot vliegroutes (Verboom & Huitema 2010). Voor de verlichting in relatie tot de aanleg van de derde kolk van de Beatrixsluis en de verbreding van het Lekkanaal, is daarom in de ontheffing (kenmerk: FF/75C/2014/0294) voorgescreven dat verstoring van vliegroutes van de gewone dwergvleermuis over het kanaal als gevolg van verlichting gemitigeerd moeten worden bijvoorbeeld door gebruik van amber verlichting op die specifieke locaties waar wordt (werd) overgestoken (voor beschrijving situatie vliegroutes en oversteekplaatsen: Jansen & Limpens 2012; Jansen *et al.* 2014).

In de nieuwe situatie moeten gewone dwergvleermuizen echter, zowel op vliegroutes of oversteekplaatsen als in foerageergebieden, functioneren in een veranderd landschap, waarin de oorspronkelijke oversteekplaatsen niet meer bestaan. Het landschap is meer open geworden, de over te steken afstand groter, en de verlichting is toegenomen. De rijen van - zeer oude - populieren aan weerszijde van het kanaal zijn immers verwijderd, er is een derde kolk bijgekomen (inclusief verlichting) en een deel van het kanaal is verbreed ten behoeve van een aanleghaven (inclusief verlichting). Het positioneren van een (potentieel) vleermuis vriendelijk lichtspectrum op "de - voormalige - locaties van oversteken" is dus in praktische zin niet effectief, omdat verwacht mag worden dat de gewone dwergvleermuizen in de nieuwe situatie, op door hen als meest veilig ervaren - mogelijke andere - locaties zullen gaan oversteken. Bovendien zal het landschap en de daarmee de locaties waarop beschutting (tegen weersomstandigheden, licht en predatoren) voor de oversteek aanwezig is en veiligheid wordt ervaren, op de middellange termijn, blijven veranderen door de

ontwikkeling van de nieuw aangeplante bomen.

Tegelijk zou het aanleggen en operationeel houden van conventionele vleermuisvriendelijke verlichting (Philips ClearField en mogelijk smalbandig amber) in het gehele gebied – binnen alle eisen die daaraan vanuit hun functionaliteit en veiligheid voor de sluiskolken en de aanlegghaven worden gesteld – leiden tot hogere kosten voor energie en onderhoud. Er is daarom gezocht naar een passend alternatief. In de “Beoordeling aanpak voortschrijdend inzicht verlichting Beatrixsluizen, Nieuwegein” (Veltman, 2018) wordt gesteld dat het verlichten van het gehele gebied met een meer breedbandig, energiezuinig PC-Amber (zie Box 2 voor nadere uitleg) een naar verwachting passende praktische oplossing is in deze situatie. Niet alleen de locaties waar voorheen de vliegroutes en oversteekplaatsen lagen, maar alle nieuwe lichtpunten met PC-Amber uitgevoerd. Verwacht wordt dat daarmee de aanwezige functionaliteit van vliegroute en foerageergebied voor de strikt beschermde soort gewone dwergvleermuis geen tot weinig effect zal ervaren en kan worden behouden. De verwachting op basis van expert judgement is dat de gewone dwergvleermuis, als relatief lichttolerante soort, vooral op de vliegroute maar ook in het foerageergebied weinig effect zal ondervinden van PC-Amber.

Box 2: PC-Amber

PC-Amber wordt gemaakt op basis van wit LED licht met een fosfor coating, waardoor de amber kleur wordt gerealiseerd. Deze aanpak verbruikt minder energie dan lampen met smalbandig amber en levert ook een (iets) breder spectrum. Dit kan voordeel hebben voor situaties waarin vanuit menselijk gebruik een hoge intensiteit aan verlichting wordt voorgeschreven. In ruimtelijke ontwikkelingen waarbij er gewerkt moet worden met ‘soorten aan de tolerantere kant van het spectrum’ en/of in ‘situaties waarin soorten zich toleranter gedragen’, zou het kunnen toepassen van PC-Amber vanwege het lagere energieverbruik een verruiming van de mogelijkheden kunnen bieden voor Rijkswaterstaat (RWS) of andere infrastructuurbeheerders, evenals voor infrastructuurbouwers zoals Sas van Vreeswijk.

In het kader van de aanleg van de derde kolk bij de Beatrixsluis en de verruiming van het Lekkanaal is in voorjaar 2019 de toepassing van de energiezuinigere verlichtingsoplossing (PC-Amber) gerealiseerd. Hoewel deze aanpak als een passende oplossing werd beoordeeld, is gebruik van dit kleurspectrum nog niet empirisch onderzocht op functionaliteit voor vleermuizen. Er is daarom voor de verlichting rond de Beatrixsluis een monitoringsplan opgesteld, waarbij enerzijds het functioneren van de vliegroutes over de sluis en het kanaal werd gemonitord en vergeleken met de situatie voor de aanpassing van sluis en kanaal (Brandt 2020). Anderzijds is er een proef uitgevoerd die als doel had de vraag te beantwoorden of PC-Amber effect heeft op de activiteit van de gewone dwergvleermuis. Met andere woorden of de gewone dwergvleermuis geen hinder of baat ondervinden van PC-Amber in vergelijking met smalbandig amber of reguliere witte ledverlichting. Hiertoe is een proef opgesteld om de effecten van drie lichtbehandelingen (‘Wit’, ‘Amber’, ‘PC-Amber’

en de controleconditie: 'Donker') op de activiteit van de gewone dwergvleermuis te vergeleken. Dit rapport beschrijft dit onderzoek.

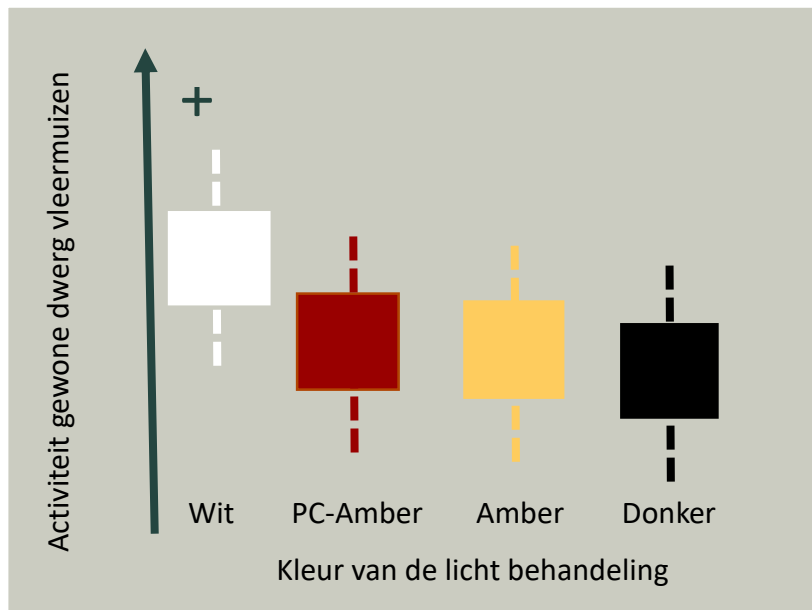
1.3 Vraagstelling

Gewone dwergvleermuizen gedragen zich ambivalent ten opzichte van licht. Een lichtbron kan insecten aantrekken, welke op hun beurt weer o.a. gewone dwergvleermuizen kunnen aantrekken. Gewone dwergvleermuizen foerageren daarom bij het licht, maar zullen niet voortdurend in de lichtkegel blijven. Op een vliegroute zullen ze licht eerder vermijden (Verboom & Huitema 2010). Een lichtspectrum waarvan wordt verwacht dat het minder insecten aanlokt (zoals PC-Amber en Amber) zal dan ook naar verwachting minder activiteit van gewone dwergvleermuizen laten zien dan wit licht. Op een vliegroute zou juist een hogere activiteit verwacht mogen worden.

Experimentele lichtbehandelingen zijn relatief moeilijk te realiseren op het grote wateroppervlak bij de Beatrixsluizen, dat bovendien ook al verlichting kent vanuit de oude en de nieuwe situatie van de sluiskolken en aanlegkade. Bovendien is bij het ontwikkelingsgebied niet duidelijk of, en waar, er nog boven open water wordt overgestoken. Daarom werken we in dit onderzoek met metingen op land, bij de bosschage met relatief weinig licht, die als foerageerplek wordt gebruikt, in de buurt van het projectgebied. Omdat de oversteek locaties onbekend zijn ligt de focus op potentiële effecten op het foerageergebied. De gekozen locatie was foerageergebied, en een plek die in de nieuwe situatie op een donker gedeelte lag. Daarbij werken we op een relatief nabijgelegen locatie omdat deze, vanuit het consortium dat de veranderingen doorvoert, hiervoor ter beschikking gesteld en als proeflocatie beheerd kan worden. Vanuit deze praktische beperkingen komen we tot de volgende vraagstelling:

Wat is het effect van PC-Amber, Wit en Amber op de activiteit van de gewone dwergvleermuis rondom de lichtpunten, ten opzichte van Donker?

De hypothese is dat PC-Amber - evenals Donker en Amber - in vergelijking tot wit licht minder insecten aanlokt en daarmee een lagere aantrekkingskracht op en dus een lagere foerageeractiviteit van de gewone dwergvleermuis zal kennen dan wit licht. Verwacht wordt ook dat de vleermuisactiviteit bij PC-Amber ongeveer gelijk zal zijn met de controleconditie Donker (Figuur 1).



Figuur 1: visuele weergave van de hypothesen. H1) verwachting is dat in het geval van foerageergebied de activiteit van gewone dwergvleermuis hoger zal zijn bij wit licht dan bij Amber, PC-Amber en de controle conditie Donker en H2) dat er geen verschil is tussen activiteit van gewone dwergvleermuis bij de lichtbehandeling Amber en PC-Amber in vergelijking met Donker

1.4 Deelhypothese

In Tabel 1 wordt conditie 'Donker' beschouwd als de niet beïnvloede situatie met vergelijkbare activiteit op alle posities. Het andere extreem is 'Wit', waar een verhoging van activiteit wordt verwacht bij de centrale positie bij de lamp [3], maar een relatief nog hogere activiteit bij de posities direct naast de lamp [2, 4] en een weer wat lagere activiteit op de positie die het verst van de lamp liggen [1, 5]. Bij 'Amber' wordt alleen bij de posities [2] en [4] enige verhoging verwacht, omdat van Amber minder aantrekkende werking op insecten wordt verwacht en minder afstotende werking op vleermuizen. Bij 'PC-Amber' wordt eveneens alleen bij [2] en [4] enige verhoging van de activiteit verwacht, en op basis van de grotere bandbreedte ten opzichte van smalbandig Amber, mogelijk meer aantrekking en meer afstoting dan bij Amber.

Vanuit Tabel 2 kunnen meer specifieke deelhypothesen worden opgesteld.

1) Effect van kleur (kolommen)

Het effect van kleur wordt benaderd door vergelijking van de behandelingen in de kolommen. De verwachting is dat Wit via de aantrekking van insecten meer vleermuizen aantrekt dan Donker, Amber en PC-Amber.

Getoetst wordt H01: er is geen verschil in activiteit van de gewone dwergvleermuis tussen de verschillende kleurbehandelingen.

2) Effect van afstand tot de lamp (rijen tabel)

Het effect van afstand wordt benaderd door vergelijking van de posities ten opzichte van de centrale positie in de rijen. De verwachting is dat op de centrale detector¹, bij de lichtbron, positie [3], een lagere activiteit wordt gemeten dan dichtbij, posities [2, 4], welke een verhoogde activiteit laten zien. Op de buitenste posities [1, 5] wordt weer een lage tot normale activiteit gemeten.

Getoetst wordt H02: er is geen verschil in activiteit van de gewone dwergvleermuis op de verschillende afstanden tot de lichtbron. Dus geen verschil tussen de bron [positie 3] en dichtbij er is geen verschil tussen de posities [2] of [4] en de posities [1] of [5].

3) Interactie-effect kleur en afstand (cellen tabel)

Het effect van de combinatie van kleur en afstand wordt benaderd door vergelijking van de kleur-positie-combinatie in de cellen. Daarbij is de verwachting dat op posities 1 en 5, vanwege de grotere afstand tot de lamp, relatief weinig effect van de kleur/behandeling op activiteit wordt gevonden ten opzichte van donker, op posities 2 en 4 een relatief groter effect, dat aantrekking vanwege insecten en afstoting vanwege licht combineert, terwijl op positie 3 het effect van afstoting vanwege licht domineert.

Getoetst wordt H03: er is geen verschil in activiteit van de gewone dwergvleermuis op de mogelijke combinaties van kleur [Wit, PC Amber, Amber en Donker] en positie [3, 2+4 en 1+5] verschillende afstanden tot de lichtbron.

Tabel 1: Overzicht proefopstelling en verwachtingen ten aanzien van de te meten vleermuisactiviteit bij de posities 1 tot en met 5 (zie paragraaf 2.2 voor nadere informatie over de posities van de detectoren) voor de verschillende behandelingen. Detector 3 is de positie met de lamp. Een hoger aantal '+' betekent 'meer activiteit'. Aantallen ++ zijn een indicatie van de verwachte relatieve activiteit ten opzichte van de andere behandelingen of posities, ze indiceren geen absolute verschillen

	detector 1 ver	detector 2 dichtbij	detector 3 lichtbron	detector 4 dichtbij	detector 5 ver
Donker	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
PC-Amber	+	++	+	++	+
Amber	+/-	+	+/-	+	+/-
Wit	++	+++	+	+++	++

¹ Voor locatie van de verschillende posities: zie Figuur 3.

2 Werkwijze

2.1 Onderzoeksopzet

Het effect van PC-Amber en de andere spectra ten opzichte van Donker en afhankelijk van afstanden tot de lichtbronnen is onderzocht door in een proefopstelling de activiteit van de gewone dwergvleermuis te meten bij vier 'lichtbehandelingen' (Tabel 2). De specificaties van het toegepaste licht staan in Tabel 2.

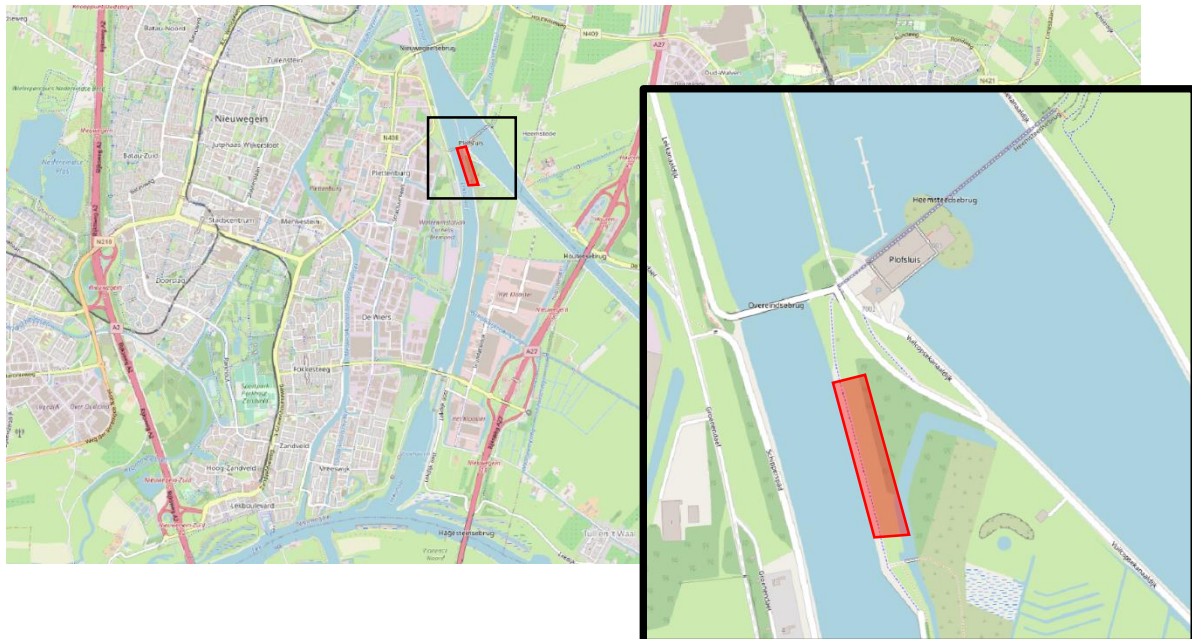
Tabel 2: Eigenschappen van de verschillende lichtbehandelingen.

Behandeling	Spectrum Golflengte in nm	Spectrum Kleurtemperatuur in K	opmerking
Wit		4000	
Amber	590 (+/- 6)		met een half width $\Delta\lambda_{1/2}$ van 20 nm.
PC-Amber	500-800nm		
Donker (controle)	-	-	lamp wel aanwezig, niet aan

We onderzoeken het effect van de verschillende spectra in een lijnopstelling van vijf automatische detectoren, met een tussenafstand van 25 meter en ten opzichte van een centrale positie met een detector en lamp op positie 3 van deze lijnopstelling (zie paragraaf 2.2.1). In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de daaruit af te leiden verwachtingen over de gemeten activiteit van de gewone dwergvleermuis bij de verschillende posities.

2.2 Locatie proefopstelling

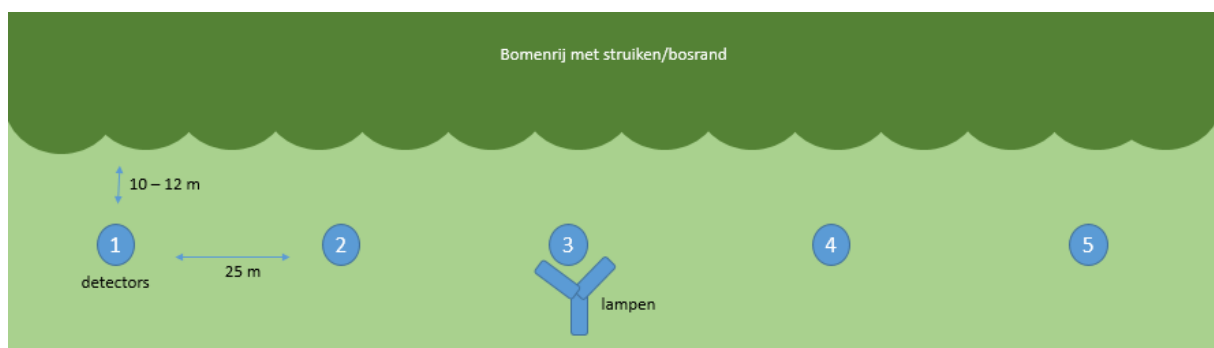
Dit onderzoek is uitgevoerd in de vroege zomer van 2019 (15 mei tot en met 29 juni) bij het Lekkanaal ter hoogte van Nieuwegein (Figuur 2). Er is gekozen voor de locatie langs een (behouden) bosrand, foerageergebied van gewone dwergvleermuis, iets ten noorden van de Beatrixsluis en de nieuw gerealiseerde aanlegplaatsen voor boten, langs het verbrede Lekkanaal. Langs deze bosrand was geen verlichting aanwezig. De locatie is dicht bij het projectgebied (Prinses Beatrixsluis) zodat de onderzoekopstelling makkelijk kon worden gerealiseerd door deze aan te sluiten op bestaande verlichting op enige afstand.



Figuur 2: Locatie van de proeflocatie (rood).

2.2.1 Proefopstelling

Op de onderzoeklocatie, die als foerageergebied fungeert voor gewone dwergvleermuizen (o.a. Jansen & Limpens 2012, Jansen *et al.* 2014), zijn tussen bosschage en water met tussenafstand van steeds 25 meter vijf palen op een rij gezet. De palen stonden parallel op ca. 10 tot 12 meter afstand van de bomen en struiken (zie Figuur 3). Bij de middelste paal bevond zich de lichtbron, op een afstand van ca. 50 centimeter deze bestond uit drie armaturen (Wit, Amber en PC-Amber) die wisselend aan of uit zijn gezet. Aan elk van de vijf palen hing één automatische vleermuisrecorder (Anabat Swift) op 3 meter hoogte (foto's van die proefopzet in bijlage 1).



Figuur 3: Schematische weergave proefopstelling, vijf detectoren op een rij, nummering 1 – 5 van noord naar zuid. Lampen bij paal 3 (de lichtbron), paal 2 en 4 op 25 meter afstand van paal 3 (dichtbij) en paal 1 en 5 op 50 meter van paal 3 (ver). Bij alle palen hangt een detector voor geluidsopnamen. Lamp is ca. 50 cm van de paal

2.3 Geluid: opname

2.3.1 Opname-apparatuur

Er is gebruik gemaakt van vijf Anabat Swift recorders die automatisch gedurende langere tijd vleermuisactiviteit opnemen (voor overige instellingen zie box 3). Er is gemeten van 15 mei tot eind juni waarbij detectors van 30 minuten voor zonsondergang tot 30 minuten na zonsopgang hebben geregistreerd. In Tabel 3 is te zien welke datum welke kleurbehandeling had. Via een Latin square schema zijn de kleurbehandelingen afwisselend toegepast, in Tabel 3 is te zien welke datum welke kleurbehandeling had.

Tabel 3: Verdeling kleurbehandelingen over de verschillende dagen.

<i>datum</i>	<i>kleurbehandeling</i>	<i>datum</i>	<i>kleurbehandeling</i>
17-5-2019	Amber	7-6-2019	Amber
18-5-2019	Donker	9-6-2019	Donker
19-5-2019	PC-Amber	10-6-2019	Wit
20-5-2019	Amber	11-6-2019	Amber
21-5-2019	Donker	12-6-2019	Donker
22-5-2019	Wit	13-6-2019	Wit
23-5-2019	Amber	14-6-2019	Amber
24-5-2019	Donker	16-6-2019	Wit
25-5-2019	Wit	17-6-2019	Donker
27-5-2019	Donker	18-6-2019	Amber
28-5-2019	Wit	19-6-2019	PC-Amber
29-5-2019	PC-Amber	20-6-2019	Amber
30-5-2019	Amber	21-6-2019	PC-Amber
31-5-2019	Wit	22-6-2019	Wit
1-6-2019	Amber	25-6-2019	Wit
2-6-2019	PC-Amber	26-6-2019	Donker
3-6-2019	Donker	27-6-2019	Amber
4-6-2019	Wit	28-6-2019	Donker
5-6-2019	Donker	29-6-2019	Amber
6-6-2019	PC-Amber		

Box 3: Instelling Anabats

- Recording 320ksps WAVE files
- Transect Off
- Max file length 10s
- Analog HP filter On
- Sensitivity is 16
- Trigger Freq 18kHz to 110kHz
- Min event 2ms
- Trigger window 2s
- Recording mode is Night

2.3.2 Aantal nachten

Het doel was om ten minste acht meetnachten per kleur te hebben (totaal N=32). In de praktijk hebben we uiteindelijk de analyses op basis van 39 opnamenachten kunnen doen. Vanwege een technische storing en enkele nachten met ongunstige weersomstandigheden is bij één behandeling het aantal nachten met opnames zes.

2.4 Geluid: analyse

De analyse van de ruwe geluidsdata is gedaan door een aantal ecologen van Habitus onder training en begeleiding door Eric Jansen. De opnames zijn geanalyseerd met het programma Batclassify, een programma met filters ('classifiers') waarmee bulkdata automatisch geclassificeerd kunnen worden. Automatische classificatie met filters leidt vaak ook tot vals positieve en vals-negatieve determinaties. Daarom vindt er ook altijd validatie ofwel 'hand vetting' plaats (Fraser *et al.* 2020). Deze validatie is een belangrijke standaard bij het werken met filters voor automatische soortherkenning. Er is gebruik gemaakt van een Certainty Threshold van 90,0% bij het op naam brengen van de vleermuis. De analyse was erop gericht alle opnames van de gewone dwergvleermuis te herkennen en deze tot op de soort als zodanig te determineren. Andere soorten zijn alleen beschouwd, om ze te onderscheiden van de gewone dwergvleermuis, maar niet consequent tot op de soort gedetermineerd. Vervolgens is 10 % van alle als gewone dwergvleermuis geclassificeerde opnames gevalideerd door Marcel Schillemans en Herman Limpens. Meer informatie over de werkwijze van handvetting en de resultaten daarvan zie bijlage 2.

2.5 Statistische analyse

Er is gekeken naar verschillen tussen vleermuisactiviteit bij verschillende kleurbehandelingen. Vleermuisactiviteit is hier gedefinieerd als het aantal opnames gedurende een nacht die als gewone dwergvleermuis zijn geïdentificeerd, ofwel: 'het aantal opnames van gewone dwergvleermuizen per nacht', het gaat hier dus niet per se om individuen (zie instellingen Anabats in box 3). Om naast het effect van de experimentele kleurbehandeling te controleren voor effecten van omgevingsfactoren zijn een aantal variabelen opgenomen in het in het model. Naast de vleermuis activiteit ('response') zijn dat de gegevens datum, nummer van de batdetector, afstand tot de lichtbron, kleurbehandeling, duur van de nacht, temperatuur, neerslag en maanfase meegenomen. Tabel 4 geeft het overzicht van de variabelen, eenheden en eventuele afkortingen.

Tabel 4: beschrijving variabelen.

naam	name in R-script	eenheid – uitleg	soort gegevens	bron
activiteit	<i>bat.activity</i>	Aantal opnames gewone dwergvleermuizen per nacht	numeriek	Anabat Swift
datum	<i>date</i>	YYYY-MM-DD Datum (YYYY=jaar MM=maand DD=dag)	tekst	Anabat Swift
afstand	<i>distance</i>	'far' = bron 'intermediate' = dichtbij, 25m 'light.source' = ver, 50m	factor	Op basis van nummer detector
detector	<i>Detector</i>	1-5 (1 is meest Noordelijk)	tekst	n.v.t.
kleur	<i>treatment</i>	D = Donker AM = Amber PC = PC-Amber W = Wit	factor	Schakelschema Ecosucces
Duur nacht	<i>night.duration</i>	Uren (decimaal)	numeriek	KNMI, weerstation de Bilt
Gemiddelde temperatuur per etmaal	<i>temperature</i>	Graden Celsius (in 0.1°C)	numeriek	KNMI, weerstation de Bilt
Gemiddelde neerslag per etmaal	<i>Precipitation</i>	'ja' of 'nee', op basis van som van de neerslag (in 0.1 mm)	factor	KNMI, weerstation de Bilt
Gemiddelde windsnelheid per etmaal	<i>wind.speed</i>	uurgemiddelde windsnelheid (in 0.1 m/s)	numeriek	KNMI, weerstation de Bilt
Maanlicht	<i>Moon.lumi</i>	Proportie 0-1, waarbij nieuwe maan = 0 en volle maan (veel licht) = 1	numeriek	R-package 'lunar' - CRAN

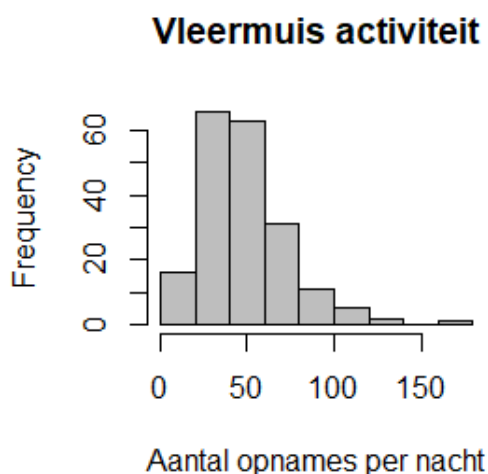
2.5.1 Datapreparatie

De eerste twee nachten, 15 en 16 mei 2019 zijn uit de dataset gehaald omdat op deze dagen bovengemiddeld veel vleermuisgeluiden zijn opgenomen, respectievelijk 150 en 337 tegenover een gemiddelde van 51 per nacht. Vermoedelijk heeft dit te maken met de nieuwe situatie, een nieuw object in de omgeving (de palen) die de aandacht trekken. Verder is er vooraf gekeken naar ongunstige weersomstandigheden en hebben we een *cut off* gemaakt bij nachten met een gemiddelde temperatuur onder de 8°C, meer dan drie uur regen en windsnelheden groter dan zeven meter per seconde. Op basis van deze criteria zijn er drie nachten afgevalen (26-5-2019, 8-6-2019, 15-6-2019). Tijdens het experiment is er gedurende een bepaalde periode gebruik gemaakt van noodstroom, deze datapunten zijn gewoon meegenomen in de analyse, omdat we ook bij noodstroom normaal functionerende lampen verwachten. Wel zijn er twee nachten uitgehaald waarbij, door een technisch probleem, de kleur onbekend was.

2.5.2 Dataexploratie

2.5.2.1 Afhankelijke variabelen

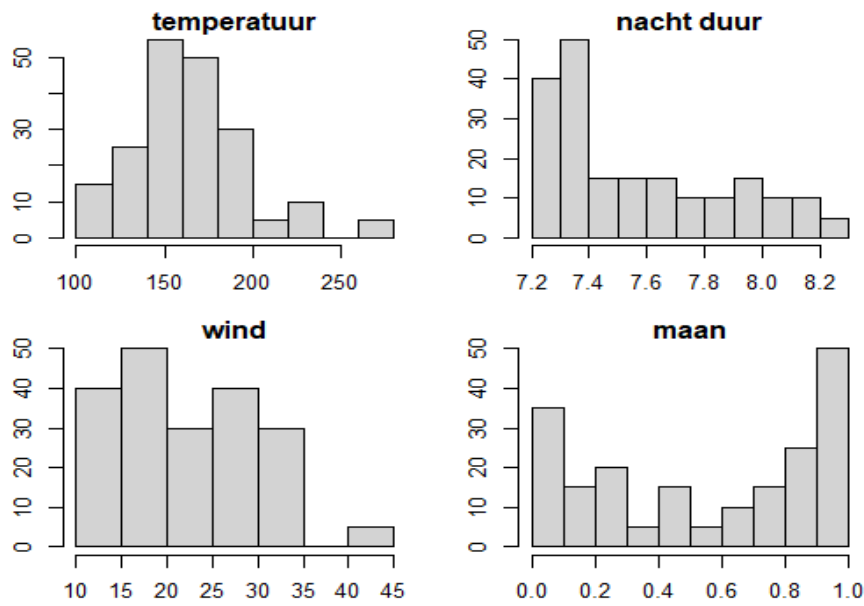
De afhankelijke variabele (of respons) is de vleermuisactiviteit: in dit geval de som van het aantal opnames die als gewone dwergvleermuis zijn geregistreerd, per nacht per detector, een telling die bestaat uit een geheel getal (*'integer count variable'*). Gemiddeld zijn er 48 opnames van de gewone dwergvleermuis per detector per nacht gemaakt. De variantie, een maat voor de spreiding van de gegevens, is 648. Dit getal is groot en dat betekent dat de waarden onderling veel van elkaar verschillen. De variantie is veel groter dan het gemiddelde ($648 \gg 48$), dit suggereert oververspreide telgegevens. Er is daarom gekozen voor een negatief binomiaal regressiemodel om rekening te houden met deze overdispersie.



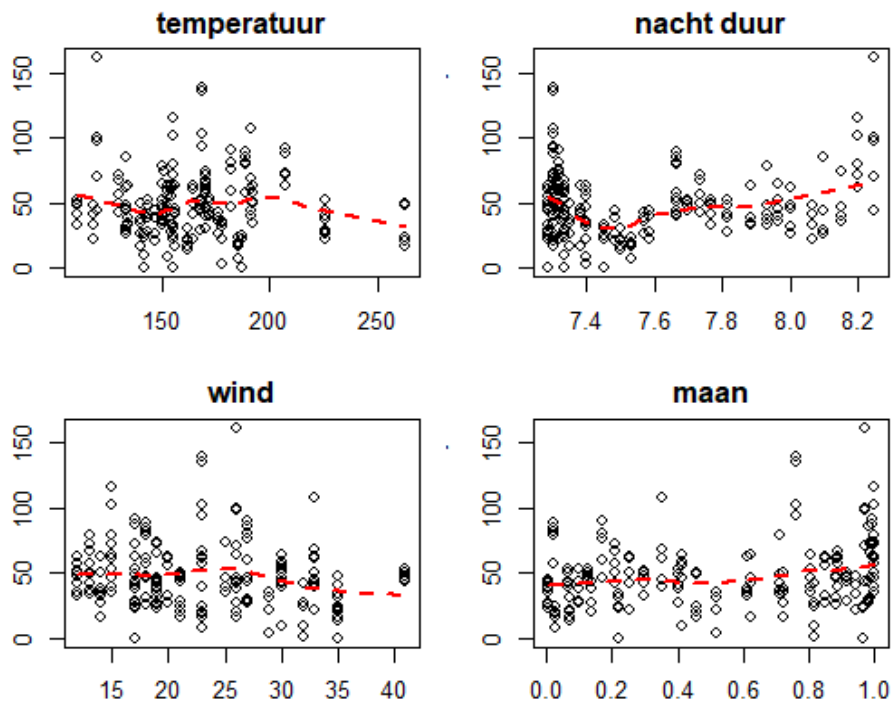
Kijkend naar de uitschieters in deze variabele zien we dat er drie grote waarden zijn (>120) en drie nul waarnemingen. Deze extremen vallen op verschillende dagen en/of verschillende detectoren; er zijn geen bijzonderheden in de overige gemeten parameters.

2.5.2.2 Onafhankelijke variabelen

De verdeling van de continue onafhankelijke variabelen (covariaten) is beoordeeld op basis van histogrammen (Figuur 4). Behalve neerslag (waarvan de waarnemingen voor 80% bestaan uit nullen) hebben alle onafhankelijke variabelen een werkbare verdeling en zijn er geen transformaties nodig. Wel is er besloten om neerslag als factor te behandelen, waarbij alle waarden >0 werden samengevoegd tot het niveau "Ja" en anders "Nee". Vervolgens zijn van alle onafhankelijke variabelen spreidingsdiagrammen gemaakt met de respons en een LOESS trendlijn om potentiële niet-lineaire relaties aan te duiden (Figuur 5). Dit was het geval voor de 'nachtduur', wat een kwadratisch effect aangaf. Tot slot is er gecontroleerd op collineariteit door correlaties tussen de continue onafhankelijke variabelen te berekenen in de vorm van paren, zonder problemen te ontdekken.

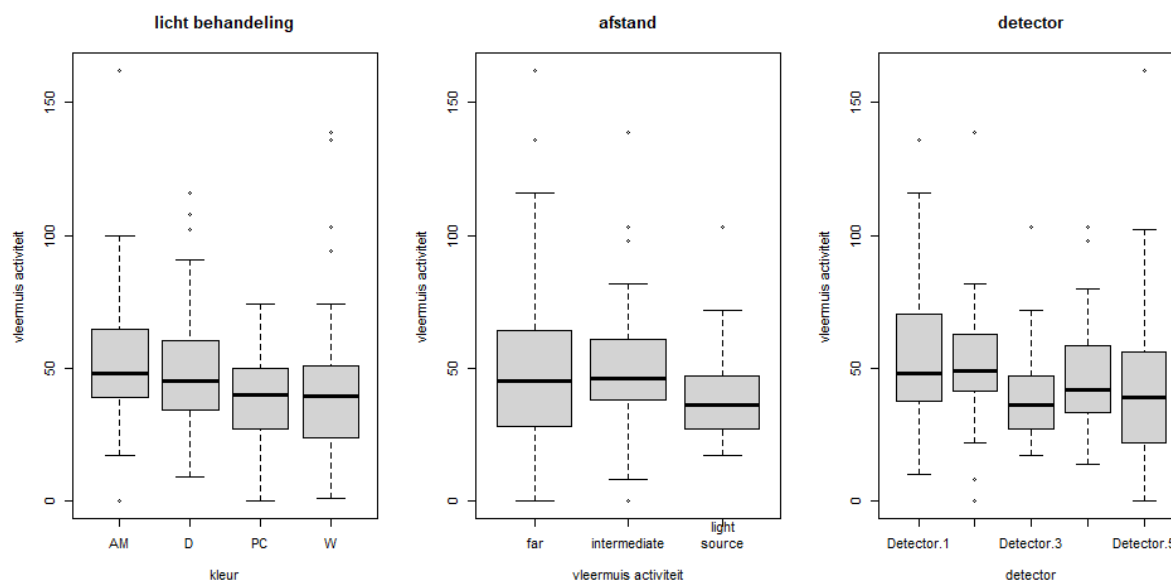


Figuur 4: Histogram van de onafhankelijke variabelen.



Figuur 5: Scatter plots van de onafhankelijke variabelen met trendlijn.

Voor alle categorische onafhankelijke variabelen is de frequentieverdeling bekeken van de factorniveaus, door middel van frequentietabellen (figuur 4). Bij geen van de variabelen was er een problematische onevenwichtige verdeling. Daarna zijn van elke categorische onafhankelijke variabele en de respons boxplots gemaakt, om potentiële effectpatronen aan te geven (Figuur 6). Vervolgens zijn de factorcovariaten 'lichtregiem' en 'afstand tot licht' opnieuw geleveld voor 'behandeling' en 'DisTreat' om de combinatie van 'geen licht' en 'bij de lichtbron' in te stellen als de referentieniveaus voor de passingsprocedure van het model.



Figuur 6: Categorische onafhankelijke variabelen en de respons.

2.6 Model

Om andere omgevingsfactoren mee te nemen, is er gekozen om naar de relatieve effecten te kijken in plaats van de verschillen tussen groepen. Alle data-analyses zijn uitgevoerd met R versie 4.0.3. Het effect van lichtbehandeling en afstand tot de lichtbron op vleermuisactiviteit in afhankelijkheid van andere omgevingsfactoren is gemodelleerd met behulp van negatieve binomiale mixed-effect regressiemodellen met een log-link in R-pakket lme4 (Bates *et al.* 2015). Het uiteindelijke model had de volgende opbouw:

```
fm1 = glmer.nb( bat.activiteit ~ behandeling+ afstand + wind.snelheid + maan.fase +
  temperatuur + nacht.duur + nacht.duur2 + regen + (1|detector.ID))
```

De ID van de detector (er is niet gewisseld tussen palen) werd opgenomen als een willekeurige interceptieterm (*random intercept term*). Op deze manier wordt er rekening gehouden met eventuele systematische verschillen tussen de detectors, los van de lichtbehandeling. Een mixed-effect-model met een willekeurige intercept-term is analytisch veel beter dan individuele modellen voor elke detector, omdat de steekproefomvang die wordt gebruikt om versturende effecten weer te geven vijfvoudig wordt vergroot, waardoor de kans op toevaleffecten op de resultaten aanzienlijk wordt verkleind.

Om de prestaties van het lme4-pakket te valideren in overeenstemming met het negatieve binomiale model, is het identieke model hergebruikt met behulp van de glmmTMB-bibliotheek in R (Brooks *et al.* 2017), dit leverende identieke resultaten. Er is gekozen om dus verder gegaan met de implementatie van lme4. Bij de modelpassing (*model fit*) is gekeken naar heteroscedasticity en de normale verdeling van de residuals van het model, uitkomst was acceptabel (details zie bijlage: 'BatActivity_script_DMS')

Omdat er specifieke hypothesen bestonden met betrekking tot de differentiële effecten van verlichting op verschillende afstanden tot de lichtbron, is de interactieterm noodzakelijk om op deze verschillen te testen. Er is echter weinig steun voor het opnemen van deze term. Het verschil in AIC ten opzichte van het model zonder deze interactieterm is $\Delta AIC = 11$. Omdat het doel van de studie was om bepaalde hypothesen te testen, werd er echter geen verdere modelselectie uitgevoerd. Het significantieniveau werd vastgesteld op $\alpha = 0.05$. Tot slot werden voorspelde modeffecten gevisualiseerd door het produceren van voorwaardelijke effectplots, waarbij de effectsbibliotheek werd gebruikt om voorspellingen over factorniveaus te berekenen (Fox & Weisberg 2019).

3 Resultaten

In Tabel 4 staan de resultaten voor de verschillende lichtbehandelingen en detectoren samengevat.

Tabel 4: Gemiddeld aantal als dwergvleermuis geregistreeerde opnames per nacht met standaarddeviatie tussen haakjes, op basis van de in totaal 39 opnamenachten; totaal Amber (12), Donker (11), PC-Amber (6) en Wit (10). Dik gedrukt zijn gemiddelden aantal als dwergvleermuis geregistreeerde opname per kleurconditie en detector.

	detector 1 ver	detector 2 dichtbij	detector 3 lichtbron	detector 4 dichtbij	detector 5 ver	
Donker	62 (31)	52 (16)	39 (16)	49 (20)	39 (25)	48
PC-Amber	44 (18)	40 (21)	36 (18)	45 (14)	34 (23)	39
Amber	63 (22)	54 (17)	47(10)	50 (22)	54 (44)	54
Wit	48 (35)	52 (34)	38 (24)	43 (25)	41 (30)	44
	56	51	40	47	43	

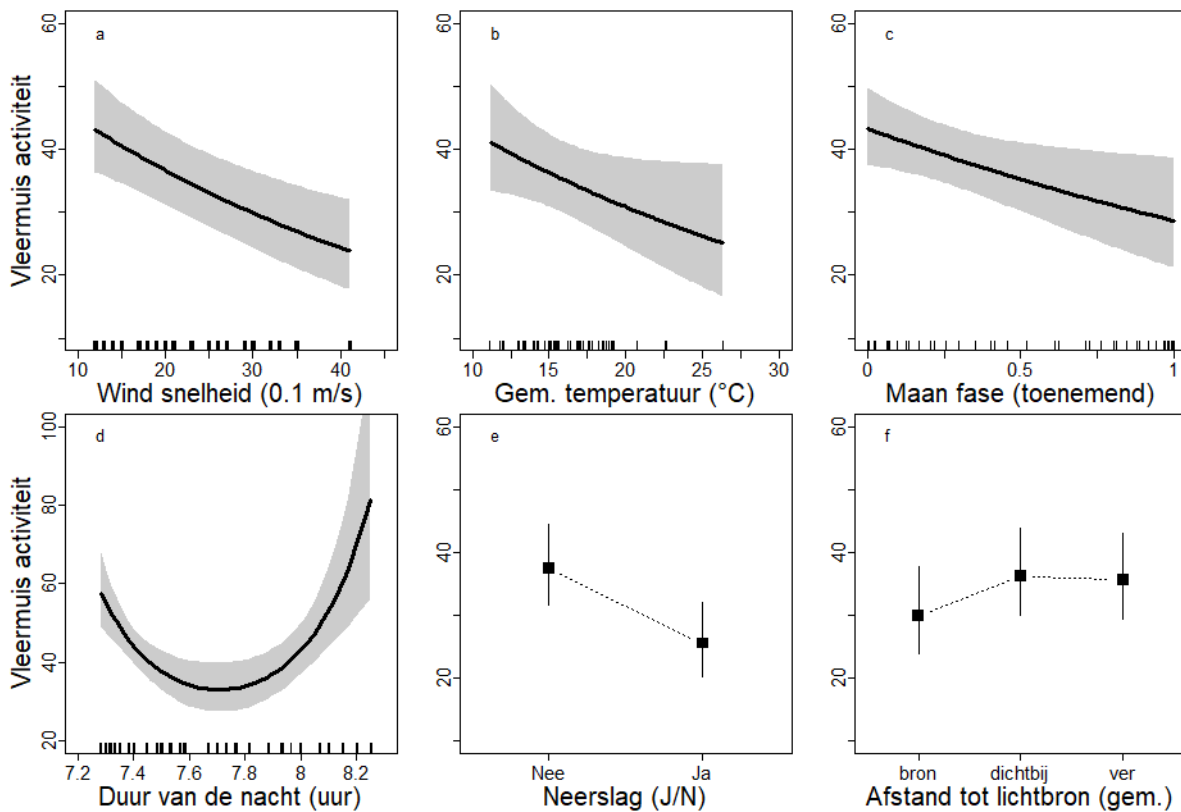
3.1 Model resultaten

De vleermuisactiviteit nam aanzienlijk af met de windsnelheid en de toenemende maanfase. Een negatief effect van temperatuur was bijna significant (Tabel 5). Er was aanzienlijk minder activiteit tijdens nachten met regenval. Er was een significant niet-lineair effect van de nachtduur, waarbij meer vleermuizen werden geregistreeerd tijdens korte en lange nachten, en minder ertussen (Figuur 7).

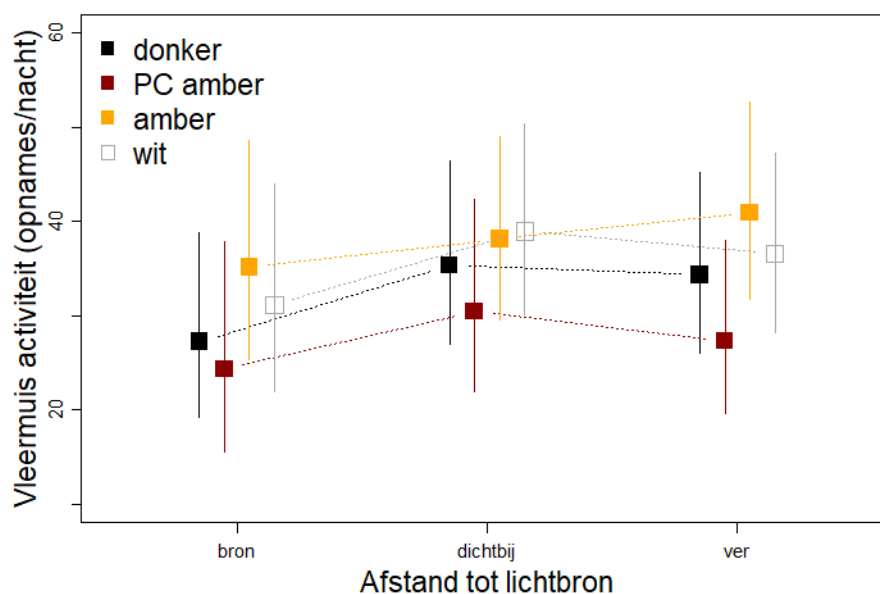
Er was geen significant verschil in de vleermuisactiviteit tussen lichtbehandelingen, noch tussen de afstanden tot de lichtbron of de interactie van de twee (Tabel 5). Er waren echter trends met duidelijk hogere vleermuisactiviteit op afstanden “dichtbij” en “ver” ten opzichte van “lichtbron” en voor Amber leek het effectpatroon van de afstand te verschillen van de andere lichttypen (Figuur 8). De bijbehorende variantie was echter groot.

Tabel 5: Modelresultaten van het negatieve binomiale mixed-effect model waarin de vleermuisactiviteit bij detectorpalen wordt uitgelegd als een functie van licht, afstand tot de lichtbron en andere omgevingsfactoren. Er worden schattingen van de coëfficiënt, bijbehorende standaardfouten en p-waarden gegeven. Merk op dat de categorie combinatie van “geen licht” met “bij de lichtbron” en “geen regen” in de model intercept zijn opgenomen.

Covariate	Estimate	SE	z-value	p-value
(Intercept)	3.38423	0.17918	18.887	<0.001
treatmentAM	0.25332	0.20815	1.217	0.223595
treatmentPC	-0.11481	0.25331	-0.453	0.650375
treatmentW	0.13212	0.21971	0.601	0.547596
DisTreat-far	0.23005	0.19196	1.198	0.230767
DisTreat-intermediate	0.26038	0.19131	1.361	0.173490
wind.speed	-0.15465	0.04145	-3.731	0.000191
moon.phase	-0.15038	0.06518	-2.307	0.021054
temperature	-0.10041	0.05218	-1.924	0.054340
night.duration	-0.22879	0.07229	-3.165	0.001552
night.duration ²	0.28499	0.07266	3.922	<0.001
rain-Yes	-0.38424	0.10092	-3.807	0.000140
treatmentAM:DisTreat-far	-0.07680	0.25206	-0.305	0.760613
treatmentPC:DisTreat-far	-0.11324	0.30876	-0.367	0.713802
treatmentW:DisTreat-far	-0.06930	0.26516	-0.261	0.793821
treatmentAM:DisTreat-intermediate	-0.17809	0.25200	-0.707	0.479736
treatmentPC:DisTreat-intermediate	-0.03440	0.30841	-0.112	0.911187
treatmentW:DisTreat-intermediate	-0.03610	0.26478	-0.136	0.891564



Figuur 7: Voorwaardelijke plots van de effecten van extra covariaten op de vleermuis activiteit, zoals voorspeld door het uiteindelijke model. De effecten werden verkregen door het gemiddelde te nemen van de resterende covariaten. Let op het verschillende bereik van de y-assen voor de duur van de nacht. De enkelvoudige plot voor afstand tot licht (f) werd verkregen door het gemiddelde te nemen van de kleurbehandelingen.



Figuur 8: Voorwaardelijke-effectplots van de interactieterm tussen de afstand tot de lichtbron en de lichtbehandeling, zoals voorspeld door het uiteindelijke model. De effecten werden verkregen door het gemiddelde te nemen van de resterende covariaten.

4 Conclusies

4.1 Interpretatie resultaten

Er is geen significant effect gevonden van de lichtbehandelingen, maar er lijken trends te zijn die overeenkwamen met de verwachtingen, hoewel er ook onverwachte effecten waren, zoals een verhoogde activiteit bij Amber. Het gebrek aan significantie is in dit geval mogelijk te wijten aan de grote variantie; In de praktijk betekent dit dat de grote verschillen in het aantal vleermuizen dat elke nacht in de buurt van de detectors vloog, waardoor de betrouwbaarheidsintervallen werden opgeblazen, ertoe geleid heeft dat de p-waarden de drempel overschreden.

Er is geen significant verschil gevonden in de mogelijke vergelijkingen tussen de verschillende lichtbehandelingen. De modelering, zoals weergegeven in Figuur 9, laat echter trends zien die overeenkomen met de verwachtingen. In de context van het gebruik van PC-Amber op het gehele terrein, om druk op de vliegroutes en het oversteken te verlagen, is daarin de belangrijkste verwachting: Wit lijkt een hogere activiteit te laten zien dan de andere behandelingen en dat is met name op de posities direct naast de lichtbron zichtbaar, terwijl PC-Amber een lagere activiteit lijkt te laten zien. Tegelijkertijd benadrukt de consistent hoge activiteit bij Amber, haaks op de verwachtingen, dat ervoor gewaakt moet worden veel waarde aan de trends toe te kennen.

4.2 Discussie

Het was vanuit praktische en technische aspecten en vanuit financiële randvoorwaarden voor de hand liggend om dit experiment uit te voeren, zoals in deze rapportage beschreven. De resultaten suggereren dat in eventueel vervolgonderzoek aandacht geschonken zou kunnen worden aan positionering van de opstelling in een kruis in plaats van slechts een lijn, meer herhalingen in de zin van meetlocaties (verschillende locaties) en meer nachten (langduriger meten) zouden het onderzoek verbeteren.

Weersomstandigheden zijn altijd van invloed op de vleermuisactiviteit, en meer of minder in relatie tot meer of minder beschutting. Deze proeflocatie was relatief open – qua water en actuele groenstructuren. De zoom, waarlangs de opstelling was geplaatst, was de enige beschutting. Dit betekent dat weersomstandigheden hier een relatief grote invloed (kunnen) hebben op de activiteit van de gewone dwergvleermuis, en dat een meer beschutte locatie een betere keus zou zijn.

De proeflocatie was een relatief donkere locatie, ten opzichte van sluis en aanlegkade met oorspronkelijke en nieuwe verlichting. De locatie van het projectgebied in zijn geheel was een uitbundig verlichte locatie. Dit kan de aantrekkende werking van de lampen van de proefopzet op insecten en daarmee op vleermuizen hebben beïnvloed.

4.3 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de uitkomst van dit experiment kunnen geen statistisch onderbouwde conclusies worden getrokken met betrekking tot een eventueel verschil in effecten van PC-Amber op foeragerende gewone dwergvleermuizen, versus de effecten Wit, Amber en Donker.

Het is zinvol de effecten van PC-Amber op het foeragegedrag van de gewone dwergvleermuis en andere meer lichttolerante soorten, nader te vergelijken met de effecten van donker en wit, in verschillende kleurtemperaturen, evenals met andere spectra welke lichthinder op vleermuizen kunnen beperken.

Het is zinvol daarbij niet alleen de aantrekkende werking te onderzoeken, maar juist ook de activiteit in relatief open landschap, waarin de combinatie van 'open' en 'licht' leidt tot geen, of later (meer donkerte) optredende, of minder bewegingen van de gewone dwergvleermuis in zo'n gebied.

Het is zinvol het effect van PC-Amber op het gedrag de gewone dwergvleermuis, en andere meer lichttolerante soorten, op concrete vliegroutes op land, nader te vergelijken met de effecten van donker en wit (in verschillende kleurwarmtes) en andere relevante spectra.

Zoals aangegeven in de inleiding, was dit onderzoek gerelateerd aan het onderzoek naar de ligging van vliegroutes en oversteekplaatsen en de aantallen dieren welke daarop zijn waar te nemen (Brandt 2020).

Uit analyse is duidelijk dat het oversteken nog steeds gebeurt. Het oversteken vindt ook plaats op de gedeeltes van de sluis en het kanaal welke een oversteek door een meer open landschap en grotere afstand vragen. De aantallen zijn, op deze meer open oversteekplaatsen met een langere afstand, wel lager. Op basis van de lichtproef, welke zich baseert op metingen van activiteit bij de lampen op land en dus eerder het jachtgebied, is niet te duiden of het verlichten van het projectgebied met PC-Amber, en dus niet met wit licht, bijdraagt aan het oversteken op meer open en langere oversteekplaatsen.

Literatuurlijst

Bates, D., M. Maechler, B. Bolker & S. Walker (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

Brandt, B. (2020). Rapportage nader onderzoek Verbreding Lekkanaal en aanleg 3e kolk Beatrixsluis. Rapport Habitus en Zoogdiervereniging i/o Sas van Vreeswijk en Rijkswaterstaat.

Brooks, M.E., K. Kristensen, K.J. van Benthem, A. Magnusson, C.W. Berg, A. Nielsen, H.J. Skaug, M. Maechler & B.M. Bolker (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, 9(2), 378-400.

Fox, J. and S. Weisberg (2019). *An R Companion to Applied Regression*, 3rd Edition. Thousand Oaks, USA. URL <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/index.html>

Fraser, E.E., A. Silvis, R.M. Brigham & Z.J. Czenze (eds.) 2020. *Bat Echolocation Research: A handbook for planning and conducting acoustic studies*. Second Edition. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA

Hale, J. D., A. J. Fairbrass, T. J. Matthews, G. Davies, & J. P. Sadler (2015). The ecological impact of city lighting scenarios: exploring gap crossing thresholds for urban bats. *Global Change Biology* 21:2467–2478.

Jansen E.A. & H.G.J.A Limpens (2012). De vleermuisfuncties van het Lekkanaal - Uitwerking mitigatie- en compensatieplan voor de 3e kolk Beatrixsluis en de verbreding Lekkanaal. Rapport 2012.11 Zoogdiervereniging, Nijmegen.

Jansen E.A., H.G.J.A Limpens & M.J. Schillemans (2014). Uitwerking mitigatieplan vleermuizen Lekkanaal, Rapport 2013.23. Bureau van de Zoogdiervereniging, Nijmegen.

Limpens, H.G.J.A., J.J.A. Dekker, E.A. Jansen, & H. Huitema. 2011. Lichtproef meervleermuizen Kuindervaart - Vergelijking van de effecten van verschillende kleuren straatverlichting op de vliegroute van meervleermuizen op de Kuindervaart. Rapport 2011.18 Zoogdiervereniging, Nijmegen. 16 pp.

Moermans, T. (2000): Kolonieplaatsselectie en dieet van de Ingekorven vleermuis, (*Myotis emarginatus*) in Vlaanderen. MSc. thesis. University of Antwerp, Belgium.

R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Spoelstra K, van Grunsven RHA, Ramakers JJC, Ferguson KB, Raap T, Donners M, Veenendaal EM, Visser ME. 2017 Response of bats to light with differentspectra: light-shy and agile bat

presence is affected by white and green, but not red light. Proc. R. Soc. B 284: 20170075.
<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.0075>

Straka, T.M., S. Greif, S. Schultz, H.R. Goerlitz, C.C. Voigt, 2020. The effect of cave illumination on bats. *Global Ecology and Conservation* 21:e00808.

Veltman, M.J. 2018. Beoordeling aanpak voortschrijdend inzicht verlichting Beatrixsluizen, Nieuwegein. Notitie Ecosucces i/o Habitus. 9 pp

Verboom, B. & Hans H. Huitema, 2010. The influence of treeline structure and wind protection on commuting and foraging common pipistrelles (*Pipistrellus pipistrellus*). - *Lutra* 2010 53 (2): 63-80

Voigt, C.C., J. Dekker, M. Fritze, S. Gazaryan, F. Hölker, G. Jones, D. Lewanzik, H. J. G. A. Limpens, F. Mathews, J. Rydell, K. Spoelstra & M. Zagamajster, 2021. The Impact of Light Pollution on Bats Varies According to Foraging Guild and Habitat Context. - *BioScience* XX: 1–7.

Voigt, C.C., C. Azam, J. Dekker, J. Ferguson, M. Fritze, S. Gazaryan, F. Hölker, G. Jones, N. Leader, D. Lewanzik, H.J.G.A. Limpens, F. Mathews, J. Rydell, H. Schofield, K. Spoelstra & M. Zagamajster, 2018. Guidelines for Consideration of Bats in Lighting Projects. EUROBATS Publication Series No. 8. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 62 pp.

Zagamajster M. 2014. The influence of external lighting on bats. Pages 15–19 in Mohar A, Zagamajster M, Verovnik R, Bolta Skaberne B, eds. Nature-Friendlier Lighting of Objects of Cultural Heritage (Churches): Recommendations. Life at Night Project.

Bijlage 1: Foto's van de proefopzet

Foto 1, 2: Onderzoeklocatie met lantaarnpaal met 3 armaturen en palen met automatische detectoren.



Bijlage 2: Hand vetting werkwijzen en resultaten

Werkwijze *hand vetting*: Voor de validatie zijn 10% van alle opnames met de hand – ervaren onderzoeker met programma voor geluidsanalyse (Eric Jansen, Herman Limpens, Marcel Schillemans) - gecontroleerd op juistheid van de determinatie. De selectie van 10% van de opnames is steeds random bepaald voor blokken van 10 nachten. Er is gekozen voor random selectie per periode van 10 dagen, omdat eventuele foutmarges kunnen verschillen per periode, bijvoorbeeld als er sprake is geweest van veel regen of storm in een periode.

Een opname die als classificatie Ppip heeft gekregen (gewone dwergvleermuis) werd gecontroleerd. Als hier bij de *hand vetting* ook een gewone dwergvleermuis werd waargenomen kreeg deze opname ook het label: M-Ppip. De M van Manual. Een overzicht van de toegepaste labels staat in Tabel 1.

Tabel 1 : overzicht labels

Batclassify* label	Handvetting label
Ppip	M-Ppip
Ppyg	M-Ppyg
NSL	M-E/N/V
Mdau	M-MSpec
Mmyo	M-MSpec
Leeg	M-Noise

*(<https://bitbucket.org/chrisScott/batclassify>).

Omdat het onderzoek gericht is op de gewone dwergvleermuis, is er niet veel tijd besteed aan het determineren van opnames van moeilijkere vleermuissoorten zoals soorten uit het genus *Myotis*. Er is daarom ingeval van een *Myotis*-soort gekozen om de noemer M-Mspec toe te passen. In een enkel geval is wel de soortnaam aangehouden en kan een opname bv. het label M-Mdau hebben gekregen. Ditzelfde geldt voor de groep laatvlieger/rosse vleermuis/tweekleurige vleermuis. Voor die groep zijn de opnames gelabeld als M-E/N/V (Manual - *Eptesicus/Nyctalus/Vespertilio*) als tegenhanger van het al in Batclassify aanwezige label NSL (*Nyctalus/Serotinus/Leisler's*). De tweekleurige vleermuis (*Vespertilio murinus*) is in het VK niet bekend. Indien in een opname meerdere vleermuissoorten aanwezig waren, zijn er ook meerdere labels aan de opname gekoppeld. Zo kan een opname ook gelabeld worden als: Ppip, M-Ppip, M-Pnat, M-E/N/V. De ruige dwergvleermuis (M-Pnat) is een soort die Batclassify in zijn geheel niet herkent. Voor het onderhavige onderzoek is dat geen probleem omdat dit gericht is op gewone dwergvleermuis.

In Tabel 2 is zijn als voorbeeld de resultaten van een 10-dagen periode weergegeven. In dit geval betreft het de periode 15 mei tot en met 25 mei van detector 1.

Op de eerste regel staat *opname totaal*. Dit is het totaal aan opnames in deze periode. *Te vetten* geeft de 10% aan die gevet moest worden en bij *Vetting opname* staat het aantal opnames die gevet zijn. Van het totaal aan opnames in deze periode zijn er 202 gevet, ongeveer 12%.

Detector	Periode	Filter	Aantal	Te vetten	Vetting opname vals	true
1	15-5 /25-5	opname totaal	1748	174,8	202	
		non bats	406		51	45
		all bats	1342		165	0
		p.p filter -match	1254		154	0
		bats no ppip	119		108	2

Tabel 2: voorbeeldweergave van een vettingsperiode. In dit geval betreft het de periode 15 mei t/m 25 mei van detector 1.

Als eerste is de data gefilterd op de **non bats**. Dit zijn opnames die geen species-label van een vleermuis hebben en dus door het programma worden beschouwd als 'een opname waar geen vleermuis in zit'. Vervolgens is gekeken welke van deze opnames gevet zijn. Deze opnames zullen dan, of een M-Ppip (of andere vleermuis) label hebben gekregen of M-Noise. In het eerste geval betekent dit een valse Non bat en in het tweede geval, als een M-Noise label is gegeven, een True Non bat.

In de periode van Tabel 2 zijn dus 45 valse *non bats* gevonden, hier zat dus wel een vleermuis in, en 6 correct gelabelde non-bats. Dit is een foutpercentage van 88%. De non-bats blijken in alle gevallen het meest foutief scorende aspect te zijn. Echter, in de meeste opnames zijn vleermuizen aanwezig en dus worden daar geen fouten meegemaakt. Een van de redenen dat een filter geen vleermuis in een opname herkent, terwijl dit bij de hand vetting van diezelfde opname wel gevonden wordt, is dat bij de hand vetting vleermuissignalen in opnames van slechte kwaliteit door de waarnemer toch herkend worden. Een mens kan makkelijker door de ruis heen kijken. Denk bijvoorbeeld aan een zwakke puls in de achtergrond van een opname met veel stoorgeluid van een auto of van sprinkhanen.

De tweede filter is de omgekeerde van de *non bats*, de **all bats**. Dit zijn dus alle opnames waarin een vleermuis is vastgesteld. Deze opnames hebben dus bijvoorbeeld Ppip als soort-label. Van deze opnames zijn de gevette opnames bij elkaar gezet. Dat zijn dus de opnames die dus ook een soort-label met M- hebben gekregen. Bijvoorbeeld M-Ppip of M-Noise als blijkt dat er geen vleermuis in zit. Valse *all bat* opnames zijn dus de opnames met M-Noise als label vanuit de validatie en waarin dus geen vleermuis is gevonden.

In de periode uit Tabel 2 zijn geen valse opnames gevonden. Dit geldt overigens voor de meeste periodes van alle detectoren. Indien de automatische Batclassify dus een vleermuis heeft waargenomen, klopt dat in nagenoeg alle gevallen.

Het derde gebruikte filter is het **p.p filter-match** filter voor *Pipistrellus pipistrellus*. Deze filter gaat over de opnames van de gewone dwergvleermuis, de soort in de focus van dit onderzoek. Dit zijn dus alle opnames die van de classifier het soort-label Ppip hebben gekregen. Van al deze opnames is gekeken welke gevet zijn, die opnames hebben dan in de

validatie bijvoorbeeld M-Ppip of M-Spec als label gekregen. Een valse opname (vals-positief) is dan een opname die een ander label heeft gekregen dan M-Ppip.

Van de periode uit Tabel 2 zijn alle gewone dwergvleermuis opnames correct geclassificeerd. Deze, in het geval van determinaties van gewone dwergvleermuizen, hoge mate van correct classificeren, zal zeker niet bij andere, lastigere soorten te vinden zijn. Dat is echter voor het onderhavige onderzoek niet relevant.

Als vierde en laatste filter is het **bats non p.p** filter gebruikt. In dit filter wordt gezocht naar vals-negatieve opnames, opnames die niet als gewone dwergvleermuis zijn geclassificeerd, maar dat wel hadden moeten zijn. Hierbij zijn alle opnames gefilterd die geen soort-label p.p hebben, maar een bat-label (dus de als noise geclassificeerde opnames worden niet meegenomen). Vervolgens is geselecteerd op de gevette opnames. Valse **bats non p.p** opnames, vals-negatieve opnames, zijn in dit geval zijn dus de opnames die in de validatie wel als M-Ppip zijn gedetermineerd.

In de periode uit Tabel 2 is dit twee keer gebeurd. In alle periodes van alle detectoren is dit enkele keren gebeurd. De foutmarge komt in principe niet hoger dan 5%. Valse negatieven hebben vaak te maken dat er relatief luide andere vleermuissoorten zijn opgenomen (bijvoorbeeld rosse vleermuis) en dat de gewone dwergvleermuis heel zachtjes op de achtergrond aanwezig was. Het overstemmen door een andere soort kan gevolg zijn van een kleinere afstand tot de microfoon van die soort en/of het sowieso luidere signaal van die soort (bijvoorbeeld rosse vleermuizen of laatvliegers). Net als bij de stoorgeluiden lukt het de menselijke waarnemer makkelijker het zwakke signaal van 'een soort op de achtergrond' toch te ontdekken en dus in het geval van een gewone dwergvleermuis een vals-negatief te ontdekken.

Bijlage 3: R-script

Attached file: BatActivity_script_DMS_LK.R