

Een theoretische analyse van de effecten van koeler, blauw licht op vleermuizen naar aanleiding van de LED-transitie in Rotterdam notitie van de Zoogdierverseniging

Onderstaande tekst is geformuleerd op basis van een specifieke vraag en kan daarmee niet zomaar gebruikt worden in een andere situatie. Het is dan ook niet toegestaan om delen van de tekst in een andere context te gebruiken of te verspreiden zonder toestemming vooraf van de Zoogdierverseniging.

Datum	15 april 2024
Projectnummer	2023.056
Projectnaam	Effecten van koeler, blauw licht op vleermuizen
Opdrachtgever	gemeente Rotterdam
Auteur	Herman Limpens
Projectleider	Martin Epe
Documentnummer	N2023014
Deze notitie kan geciteerd worden als	Limpens, H.J.G.A., 2024. Een theoretische analyse van de effecten van koeler, blauw licht op vleermuizen naar aanleiding van de LED-transitie in Rotterdam. Notitie N2023014. Zoogdierverseniging, Nijmegen

1. Inleiding

In het kader van een project aan de Ringdijk te Rotterdam is vleermuisonderzoek uitgevoerd, onder andere omdat de bestaande verlichting 1 op 1 wordt vervangen door LED-verlichting (Van Veen 2022). Er zijn hierbij zorgen met betrekking tot de lichtintensiteit en kleurtemperatuur. Uit het advies mag worden afgeleid dat een toename van de lichttemperatuur in Kelvin, met andere woorden, een verschuiving van het spectrum naar koeler, blauwer licht, potentieel verstorend werkt voor vleermuizen. Vooral voor de meervleermuis zou dit een probleem zijn.

In paragrafen 5.1.1, 5.1.5. en 6.2 van het ecologische advies (Van Veen 2022) wordt hierover gezegd:

“Hoewel de verlichting volgens de plannen één op één vervangen wordt (de inrichting, hoogte, type palen en type armaturen blijven hetzelfde), wordt de verlichting aangepast naar nieuwe LED verlichting. Hierdoor kan de intensiteit, kleur licht (Kelvin) van de verlichting en de verstrooiing van licht richting de watergang veranderen. Negatieve effecten op de aanwezige vliegroute en foerageergebied is derhalve niet uitgesloten. Negatieve effecten kunnen worden voorkomen door het treffen van maatregelen (zie Hoofdstuk 6). In dat geval is geen ontheffing op de Wet natuurbescherming nodig.”

“Onderstaande maatregelen dienen te worden toegepast op het traject zoals afgebeeld in Figuur 10:

- *De verlichting mag geen hogere intensiteit (lumen) hebben dan de huidige verlichting.*
- *De verlichting mag geen lagere intensiteit en kouder licht (minder Kelvin) hebben dan de huidige verlichting¹.*
- *Uitstraling van licht op de achtergelegen watergang dient te worden voorkomen. De lantaarnpalen worden geplaatst aan dezelfde zijde van de weg als in de huidige situatie.*
- *Uitstraling van licht op de watergang wordt voorkomen door het plaatsen van afschermkappen aan de achterzijde van de verlichting.”*

“Voor dit specifieke project geldt dat de nieuwe verlichting rond de 3000 K zal zijn en dat de oude verlichting doorgaans rond de 2700 K zit (al varieert dit ook tussen de typen lampen).”

Op verzoek van de gemeente Rotterdam maken wij een theoretische analyse van een mogelijk effect van koeler blauw licht op vleermuizen, vanuit onze specifieke expertise met betrekking tot lichthinder voor vleermuizen.

1.1. Beknopte beschrijving van lichthinder voor vleermuizen

1.1.1. Achtergronden van de gevoeligheid van vleermuissoorten voor licht

De soortengroep vleermuizen bestaat uit verschillende soorten. We richten ons hier specifiek op de in Nederland voorkomende soorten, welke allemaal tot de orde van de *Microchiroptera* behoren.

Sommige soorten staan te boek als gevoelig voor lichthinder, andere als relatief tolerant. Dit heeft onder andere te maken met de niche van de specifieke soort (onder andere Entwistle *et al.* 1996, Jones & Rydel 1994, Voigt *et al.* 2021).

¹ Dit moet eigen zijn: “hogere Kelvin-waarde”: hoe kouder het licht, hoe hoger de Kelvin-waarde.

Soorten die brede vleugels hebben, langzaam vliegen en/of in ieder geval niet snel kunnen accelereren, vliegen relatief laat, bij meer donkerte uit, vermijden licht en blijven meer in de lichtschaaduw die er ook 's avonds en 's nachts is. Dit is te duiden als predatorvermijndend gedrag (onder andere Entwistle *et al.* 1996, Jones & Rydel 1994, Voigt *et al.* 2021). Zowel bij hun verblijfplaats, op hun vliegroutes als in hun foerageergebied laten deze soorten lichtvermijndend gedrag zien (tabel 1). Dit gaat vooral om soorten uit de Myotis-groep, zoals watervleermuis en meervleermuis en de Plecotus-groep, zoals de gewone grootoorvleermuis (onder andere Kuiper *et al.* 2008, Spoelstra *et al.* 2017).

Soorten met smallere vleugels, die relatief snel vliegen en vooral ook snel kunnen accelereren, zijn minder gevoelig voor predatoren in de avondschemering of nacht. Zij gedragen zich dus minder lichtvermijndend. Dit geldt vooral voor het foerageergebied. Op de vliegroute en bij hun verblijfplaatsen gedragen ze zich vaak wel licht-vermijndend! Dit gaat om soorten uit de Pipistrellus-groep, zoals de gewone en ruige dwergvleermuis, de Eptesicus-groep, zoals de laatvlieger, de Nyctalus-groep zoals de rosse vleermuis, en de Vespertilio-groep, zoals de tweekleurige vleermuis (Fure 2006, Limpens 2016, Voigt *et al.* 2018, 2021).

Tabel 1: Grove classificatie lichtgevoeligheid Nederlandse vleermuissoorten in relatie tot hun woon-, verbindend en voedselhabitat; een hoger aantal x betekent een grotere gevoeligheid voor licht.

wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	verblijf	vliegroute	foerageergebied
<i>Myotis mystacinus</i>	baardvleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Myotis brandtii</i>	Brandts vleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Myotis daubentonii</i>	watervleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Myotis nattereri</i>	franjestart	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Myotis emarginatus</i>	ingekorven vleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Myotis dasycneme</i>	meervleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Myotis myotis</i>	vale vleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Myotis bechsteinii</i>	Bechsteins vleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Plecotus auritus</i>	gewone grootoorvleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Plecotus austriacus</i>	grijze grootoorvleermuis	xxxx	xxxx	xxxx
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	gewone dwergvleermuis	xxx	xx	x
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	kleine dwergvleermuis	xxx	xx	x
<i>Pipistrellus nathusii</i>	ruige dwergvleermuis	xxx	xx	x
<i>Eptesicus serotinus</i>	laatvlieger	xxx	xx	x
<i>Vespertilio murinus</i>	tweekleurige vleermuis	xxx	xx	x
<i>Nyctalus noctula</i>	rosse vleermuis	xxx	xx	x
<i>Nyctalus leisleri</i>	bosvleermuis	xxx	xx	x
<i>Barbastella barbastellus</i>	mopsvleermuis	xxxx	xxxx	xxxx

1.1.2. Vleermuisogen en lichtgevoeligheid

Alle Nederlandse soorten behoren tot de Microchiroptera en dat is de groep welke echolocatie gebruikt voor oriëntatie in het landschap en het opsporen van prooien en hun omgeving 'ziet' met geluid. Dat betekent echter niet dat vleermuizen blind zijn of geen goede ogen zouden hebben. Om te overleven in het wild is het niet van voordeel om een zintuigstelsel niet te gebruiken. Het is echter wel zo dat vleermuizen meestal opereren in een omgeving met een lage lichtintensiteit (schemer en donker buiten) en zelfs in situaties waarin er helemaal geen licht is (in Nederland bijvoorbeeld de mergelgroeven). Dat heeft ertoe geleid dat vleermuizen juist ogen hebben die optimaal zijn aangepast aan lage lichtintensiteit. In de mergelgroeven vertrouwen ze echter geheel op geluid.

Zoogdierogen, ook de menselijke, hebben kegeltjes (verschillende types) waarmee kleur kan worden waargenomen en die relatief minder lichtgevoelig zijn, en staafjes die juist lichtgevoelig zijn, maar niet of nauwelijks kleuren kunnen onderscheiden. Wanneer zoogdiersoorten vooral actief zijn in lichte omstandigheden, zullen ze relatief veel kegeltjes hebben. Wanneer ze met name in relatief donkere omstandigheden actief zijn, zullen ze relatief veel staafjes hebben. Staafjes zijn gevoelig voor de blauwe kant van het spectrum.

Vleermuizen hebben veel meer staafjes dan kegeltjes en veel meer staafjes dan mensenogen. Ze zijn zeer lichtgevoelig en zijn zelfs gevoelig voor ultraviolet licht. In schemeromstandigheden waarin mensen langzaam geen silhouetten van objecten meer waarnemen, kunnen vleermuizen nog altijd heel goed zien. Voor de rode kant van het spectrum, waar de kegeltjes goed functioneren, zijn vleermuisogen veel minder gevoelig. Hun spectrale gevoeligheid is als het ware verschoven naar de blauwe, ultraviolette kant van het spectrum (Müller & Peichl 2005, Müller *et al.* 2009, Winter *et al.* 2003).

Zoogdieren, ook mensen, die kegeltjes en staafjes combineren, moeten altijd even wennen of hun ogen laten adapteren aan donkerte, aan zien met behulp van de staafjes. Wanneer dan ergens licht is of wordt aangedaan, switchen we heel snel terug naar zien met kegeltjes. Op het moment dat mensenogen zijn aangepast aan kijken in het donker, wordt fel licht als verstorend en niet prettig ervaren. We weten niet of dat voor vleermuizen ook geldt, maar dat is wel wat verwacht wordt (voor informatie over vleermuisogen zie onder andere Eklöf 2003, Eklöf & Jones 2003).

1.1.3. Voorkomen van lichthinder voor vleermuizen en hun functionele habitat

Wanneer we lichthinder in relatie tot vleermuizen of het door de specifieke soort gebruikt habitat (woon-, verbindend en voedselhabitat) willen voorkomen, dan hebben we de volgende mogelijkheden. De volgorde van maatregelen die we kiezen, moet ook zoveel mogelijk de hier voorgestelde volgorde volgen (zie ook bijlage 1).

Donker is uitgangspunt, dus alleen verlichten als het nodig is. Het met de verlichting te realiseren doel moet scherp worden vastgesteld. Waar, op welke plek in het landschap is verlichting nodig, en wat hoeft niet verlicht te worden en kan dan ook onverlicht blijven. Houd het aantal lichtpunten en de lichtsterkte minimaal en optimaliseer dat, gericht op donker houden van vleermuishabitat. Plaats lampen bewust niet verkeerd, en richt lampen bewust niet verkeerd ten opzichte van vleermuishabitat. Richt verlichting waar het voor mensen nodig is. Voorkom verstrooiing en scherm licht af, met behulp van goed ontworpen armaturen en de inrichting van het landschap. Gebruik een verlichtingsregime dat is aangepast aan de nacht en het seizoen. Gebruik reactieve verlichting die alleen aan gaat als dat nodig is. Gebruik de samenhang van reflectie en luminantie in de directe omgeving van de verlichting bewust om verstrooiing tegen te gaan. Gebruik de samenhang van reflectie en luminantie bewust om delen van het landschap voor mensen ook bij lage lichtintensiteit zichtbaar te maken (bv. kleur van oppervlak van wandel- of fietspad. Gebruik een 'vleermuisvriendelijke' kleur of spectrum, waarvoor vleermuisogen minder gevoelig zijn en dat aantoonbaar tot minder lichtvermijding leidt.

1.2. Kleurtemperatuur en kleurenspectrum

In natuurkundige zin heeft licht een kleurenspectrum van infrarood tot ultraviolet (onder andere Guild 1931). Waar voor een soort de overgang ligt van zichtbaar rood licht, naar niet meer zichtbaar verrood of infrarood licht, verschilt per soort. Hetzelfde geldt voor de overgang van zichtbaar blauw, naar ultraviolet. Vleermuizen zitten, zoals al gezegd ten opzichte van hoe mensen het ervaren, meer naar de blauwe kant van het spectrum. Mensen en vleermuizen hebben dus een spectrale gevoeligheid voor de leefwereld waarin ze functioneren.

Het spectrum of 'de kleur' van lampen beschrijven mensen in de zogenaamde kleurtemperatuur in Kelvin. Lager dan 2700K heet dan ultra warm wit, rond 2700 heet extra warm wit, tussen 2700K - 3000K warm wit, tot 4000K vervolgens neutraal wit en meer dan 4000K koud wit. Hoe lager de kleurtemperatuur hoe meer rood er in het licht zit en hoe hoger, hoe meer blauw er in het licht zit. Vleermuizen zijn dus minder gevoelig voor warm wit licht, en zullen koud wit licht als meer intens ervaren.

2. Vragen vanuit voorgenomen herinrichting Ringdijk incl. verlichting

2.1. Koeler blauwer licht

Bij het toepassen van een hogere kleurtemperatuur treedt er een verschuiving van het spectrum en de intensiteit van het licht naar de blauwe kant van het spectrum. Vleermuizen en zeker de minder lichttolerante soorten als de meervleermuis worden dus geconfronteerd met een spectrum waarvoor hun ogen gevoeliger zijn.

We kennen het toegenomen deel aan blauw en de specifieke intensiteit daarvan niet. We kennen de mate aan gevoeligheid van vleermuisogen voor het toegenomen deel aan blauw spectrum niet. We kunnen de grootte van dat effect (dosis/effect) met de huidige kennis daarom niet kwantificeren.

Er mag dan ook een lichtvermijdend gedrag worden verwacht. Het is dan ook aannemelijk dat zij meer lichthinder zullen ervaren. Specifiek vanuit de aspecten spectrum en lichtintensiteit geldt dit ook voor de nieuwe verlichtingssituatie langs de Ringdijk. Ook hier kunnen we met de nu bekende gegevens niet kwantitatief vaststellen welk deel van het foerageer- en verbindend habitat van bijvoorbeeld de meervleermuis te maken krijgt met de veranderde lichtsituatie.

2.2. Beter gerichte armaturen en minder verstrooiing

De bij het project betrokken specialisten van verlichtingstechniek geven aan dat bij de transitie naar LED-lampen de lichtstralen gericht worden en het strooilight dus minder; het is hierbij van groot belang dat de armaturen inderdaad zo worden gericht dat er minder verstrooiing van licht zal zijn. Dat zal naar verwachting leiden tot een afname van geraakt oppervlak en van de intensiteit van het licht op het oppervlak.

We hebben dus te maken met twee gevolgen van de nieuwe verlichtingssituatie welke elkaar dempen. Meer gevoeligheid voor en potentieel vermijdend gedrag ten opzichte van de nieuwe verlichtingspunten en kleurtemperatuur, versus minder verstrooiing en daardoor afname van door licht geraakt oppervlak en potentieel sterkere afname van intensiteit verder af van het verlichtingspunt.

Op dit moment kennen we echter het potentieel geraakt oppervlak en de afname van geraakt oppervlak en/of van de lichtintensiteit op dat oppervlak, niet kwantitatief. We kennen de richtingsprofielen en de daarbij optredende lichtintensiteit rondom het lichtpunt niet.

2.3. Combinatie van koeler blauw licht & minder verstrooiing

Voor het project aan de Ringdijk is de vraag of deze twee processen in deze specifieke situatie tegen elkaar opwegen.

2.3.1. Situatie aan de Ringdijk

Met de nu beschikbare informatie over de toename van de gevoeligheid versus minder licht op het habitat is geen uitspraak te doen over de specifieke situatie aan de Ringdijk. Hoewel het betere richten het mogelijk effect van meer en koeler blauw licht op het vleermuishabitat zal dempen, is een negatief effect niet uit te sluiten.

Het verdient aanbeveling de met de nieuwe verlichtingsplan gerealiseerde intensiteit van de verlichting en verstrooiing zichtbaar te maken in een ruimtelijke modelering.

Het verdient aanbeveling te onderzoeken of de mate van gerichtheid en verstrooiing, die de armaturen zoals die nu gepland zijn realiseren, verbeterd kan worden. Kan daarmee de verstrooiing nog kleiner worden en het vleermuishabitat nog meer worden ontzien?

2.3.2. Potentiële verbetering situatie aan de Ringdijk

Er kan alleen sprake zijn van volledig opheffen van het negatieve effect vanuit het (koele blauwere) licht, wanneer:

- er kan worden gewerkt met optimale gerichtheid vanuit de armatuur, waarmee het verlichten voor de mens en het voorkomen van licht op het vleermuishabitat worden geoptimaliseerd;
- daarmee strooilicht zodanig zou worden beperkt dat er geen licht op het vleermuishabitat zou vallen,
- of hooguit een lichtintensiteit die niet leidt tot een significante verstoring,
- en/of hooguit op een oppervlak (in combinatie met een lichtintensiteit) dat bij verlies niet leidt tot een significante verstoring.
- Dat vraagt om optimale plaatsing en richting van de verlichting ten opzichte van het vleermuishabitat.
- Aanvullend vraagt dit om optimale inrichting van het landschap en van plaatsing van afscherming (opgaande vegetatie, schermen).

Het verdient aanbeveling de gerealiseerde intensiteit van de verlichting en verstrooiing zichtbaar te maken in een ruimtelijke modelering, op basis van een geoptimaliseerde verlichtingsplan, dat niet alleen gericht is op de menselijke behoefte aan verlichting, maar ook op het ontzien van het vleermuis habitat.

We kennen de gevoeligheid en drempelwaardes met betrekking tot het aan het spectrum toegevoegde deel aan koeler blauw licht niet. Bij gebrek aan deze informatie wordt aanbevolen te werken met een verlichtingsintensiteit op het vleermuishabitat van maximaal 0,1 lux (Voigt *et al.* 2018).

Behalve bovenstaande algemene aanbevelingen voor de situatie aan de Ringdijk is er in relatie tot de aangetroffen soort-functiecombinaties in het gebied het volgende te vermelden:

- als de verstrooiing daadwerkelijk minder wordt dan in de huidige situatie dan maakt het koelere licht (3000 in plaats van 2700 Kelvin) waarschijnlijk niet uit voor het geïdentificeerde essentiële foerageergebied van de gewone dwergvleermuis;
- het koelere licht zou wel een effect kunnen hebben op de plekken waar de gewone dwergvleermuis de weg oversteekt;

- de vliegroute van de gewone dwergvleermuis boven de donkere watergang zal niet worden verstoord als de verstrooiing minder wordt dan in de huidige situatie;
- het essentiële foerageergebied van de meervleermuis zal niet worden verstoord als de verstrooiing minder wordt dan in de huidige situatie.

2.4. LED-transitie en vleermuizen

Het vervangen van oude verlichting door LED-verlichting kan tot problemen leiden en zeker voor de relatief lichtgevoelige soorten vleermuizen.

Werken met optimaal richtbare armaturen, de keuze van locatie van verlichtingspunten en afscherming door inrichting van het landschap, bieden echter de mogelijkheid negatieve effecten tegen te gaan. In sommige situaties kan de in de oorspronkelijke situatie bestaande lichthinder zelfs worden verminderd.

2.5. LED-transitie en verlichtingskleur

Hoewel er onzekerheden zijn, is er reden om op locaties waar rekening moet worden gehouden met vleermuishabitat te werken met lagere temperatuurkleuren.

Voor de lichtgevoeligere soorten wordt voor foerageergebied en routes aanbevolen te werken met kleurtemperaturen ≤ 2700 K, in aanvulling op andere maatregelen om lichthinder te voorkomen (bijlage 1) en bij een intensiteit van 0,1 lux (Voigt *et al.* 2018). Voor de verblijfplaatsen geldt de aanbeveling vooral niet te verlichten en als verlichting onvermijdelijk is, te verlichten met wam wit licht van een zo laag mogelijke intensiteit en juist niet te verlichten met een nog roder spectrum omdat vleermuizen zicht dan veilig wanen op een locatie waar ze juist kwetsbaar zijn voor marters en uilen die goed bij rood licht kunnen zien (pers. med. K. Spoelstra).

Voor de licht-tolerantere soorten kan voor foerageergebied worden gewerkt met kleurtemperaturen van 2700 – 3000 K, eveneens in combinatie met andere maatregelen om lichthinder te voorkomen (bijlage 1) en bij een intensiteit van 0,1 lux (Voigt *et al.* 2018). Bij voorkeur wordt er gewerkt met temperaturen van ≤ 2700 K. Voor de verblijfplaatsen geldt ook hier de aanbeveling vooral niet te verlichten en als verlichting onvermijdelijk is, te verlichten met wam wit licht van een zo laag mogelijke intensiteit en juist niet te verlichten met een nog roder spectrum (Spoelstra *et al.* 2017).

Verlichting met duidelijk hogere kleurtemperaturen (≥ 3000 K) zal leiden tot toenemend meer zichtbaarheid door en potentieel gevoeligheid van vleermuizen.

2.6. LED-transitie en woon-, verbindend en voedselhabitat van vleermuizen

Het vervangen van oude verlichting door LED-verlichting kan tot problemen leiden, en zeker voor de relatief lichtgevoelige soorten vleermuizen.

Het verdient dan ook aanbeveling om bij de LED-transitie rekening te houden met het aanwezige woon-, verbindend en voedselhabitat van vleermuizen. Dat geldt voor zowel de lichtgevoelige soorten als de minder lichtgevoelige soorten.

Voor alle vervangingen geldt dat – zonder maatregelen – effecten op vleermuizen niet worden

uitgesloten. Dat betekent dat effecten op vleermuizen moeten worden meegewogen en worden voorkomen. Dit geldt ook voor 1-op-1 beheersopgaven, welke vanuit lichtbeheer wellicht niet als ruimtelijke ontwikkeling worden gezien, maar wat betreft het potentiële effect op vleermuizen, zeker wanneer het om grotere aantallen verlichtingspunten of groter oppervlakte gaat, wel als ruimtelijke ontwikkeling moet worden gezien. Wanneer het om kleinere aantallen en oppervlakten gaat, moet worden bedacht dat een geleidelijk groeiende verlichting voor nachtelijke soorten tot een geleidelijk verslechterende situatie zal leiden.

2.6.1. Woon-, verbindend en voedselhabitat van vleermuizen in beeld

Om effecten op vleermuishabitat mee te kunnen wegen moet het vleermuishabitat in beeld worden gebracht. Dit kan gebeuren door middel van een QuickScan of door klassiek veldwerk zoals in het vleermuisprotocol. Het is daarnaast, zeker in het kader van een grootschalige en zich verspreid over het landschap² manifesterende ontwikkeling, als de LED-transitie, mogelijk dit modelmatiger te benaderen en een ruimtelijke gevoeligheidsanalyse voor verstoring van vleermuishabitat door licht uit te voeren. Voorbeelden van in beeld brengen van vleermuishabitat ten behoeve van geplande veranderingen van verlichting zijn bijvoorbeeld Kolvoort *et al.* (2020) en Limpens *et al.* (2018).

Modelering kan op basis van een op potentieel vleermuishabitat en potentiële lichthinder gerichte expert judgement van het landschap (veldwerk), als input voor een GIS-analyse van het landschap. Modelering kan ook op basis van beschikbare data over voorkomen van functionele habitats van vleermuizen en GIS-informatie over relevante landschapkenmerken.

Zo'n gevoeligheidsanalyse kan een kaartbeeld genereren van:

- waar lichtgevoelige soorten, en hun functionele habitat³ te verwachten zijn, hetgeen afhankelijk van de makkelijk te realiseren maatregelen om lichthinder te voorkomen, al dan niet leidt tot nader ecologisch onderzoek voor specifieke locaties;
- waar lichtgevoelige soort-functiecombinaties⁴, ook van minder lichtgevoelige soorten, te verwachten zijn, hetgeen afhankelijk van de makkelijk te realiseren maatregelen om lichthinder te voorkomen, al dan niet leidt tot nader ecologisch onderzoek voor specifieke locaties;
- waar niet of minder lichtgevoelige soort-functiecombinaties te verwachten zijn, hetgeen naar alle waarschijnlijkheid kan worden afgehandeld met standaard maatregelen tegen lichthinder. mitigatie.

² Landschap van bebouwing, groenstructuren tot water, van urbaan tot buitengebied.

³ Functioneel habitat, ook wel soort-functiecombinaties: functies verblijfplaats, dagelijkse routes, migratieroutes, en foerageergebied.

⁴ Bijvoorbeeld een kraamverblijf van gewone dwergvleermuis

3. Literatuur

- Eklöf, J., 2003. Vision in echolocating bats - Doctoral thesis Zoology Department, Göteborg University
- Eklöf, J. And Jones, G. 2003. Vision in echolocating bats. *Anim Behav* Vol 66: 949 - 953.
- Entwistle, A., Racey, P.A., And Rydell, J. 1996. Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. *Oikos* 76: 243 - 252.
- Fure, A., 2006. Bats and lighting. *The London Naturalist*, No. 85(1)
- Guild, J., 1931. "The colorimetric properties of the spectrum". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Vol. 230*. A230: 149–187.
- Jones, G. and J. Rydell, 1994. Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 346B, 445–455.
- Kolvoort, A., Driessen, C., Van Dienenhoven, M, 2020, Toetsingskader verlichting in relatie tot vleermuizen Gemeente Maastricht Rapport RA19194-01, Regelink Ecologie & Landschap, Wageningen.
- Kuijper, D.P.J., J.Schut, D. van Dulleman, H. Toorman, N. Goossens, J. Ouweland and H.J.G.A. Limpens, 2008. Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). *Lutra* 51(1):37-49.
- Limpens, H.J.G.A., 2016. De invloed van verlichting op vleermuizen – special richtlijnen. – *Ruimte en Licht* 3:44-45.
- Limpens, H.J.G.A., M.H.C. van Adrichem & M.J.J. La Haye, 2018. Beoordeling vleermuizen, das en licht A73, traject Neerbosch tot Rijkevoort. Rapport 2018.14 Bureau van de Zoogdiervereeniging, Nijmegen. Rapportage i.o. van Rijkswaterstaat Zuid Nederland.
- Müller, B., & L. Peichl (2005): Retinal cone photoreceptors in Microchiropteran bats. *Invest. Ophthalmol. Vision Sci.* 46: E-abstract 2259.
- Müller, B., M. Glosmann, L. Peichl, G.C.Knop, C. Hagemann, & J. Ammermuller (2009): Bat eyes have ultraviolet-sensitive cone photoreceptors. *PLoS ONE* 4:e6390
- Spoelstra, K., R.H.A. van Grunsven, J.J. C. Ramakers , K.B. Ferguson, T. Raap, M. Donners, E.M. Veenendaal & M.E. Visser, 2017, Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proc. R. Soc. B* 284, 20170075.
- Veen, K.J. van, 2022. Nader onderzoek vleermuizen. In het kader van de Wet natuurbescherming. Plangebied: Ringdijk, Hillegersberg- Schiebroek. Kenmerk: ER20230710v02. Ecoresult B.V., Alblasterdam
- 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. Zgajmajster, 2018. Guidelines for Consideration of Bats in Lighting Projects. EUROBATS Publication Series No. 8. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 62 pp.
- 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. Zgajmajster, 2018. Guidelines for Consideration of Bats in Lighting Projects. EUROBATS Publication Series No. 8. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 62 pp.
- Winter, Y., J. López, & O. Von Helversen (2003): Ultraviolet vision in a bat. *Nature* 425: 612-614.

Bijlage 1

Principes voorkomen van lichthinder voor vleermuizen

- Donker is uitgangspunt, lampen alleen daar plaatsen waar dit echt nodig is; signalering kan ook met reflectoren.
- Lampen niet net op de verkeerde plek zetten ten opzichte van concreet vleermuishabitat; bijvoorbeeld niet net op de vliegroute of voor een uitvliegopening.
- Lampen alleen laten branden op het moment dat dit echt nodig is;
 - o verlichting dynamisch laten reageren op aanwezigheid van (weg)gebruikers die verlichting nodig hebben; alleen lampen dicht bij de (weg)gebruikers laten branden;
 - o het verlichtingsregiem, in nacht en seizoen, aanpassen aan vleermuizen (hun habitat).
- Aantal lichtpunten en lichtsterkte minimaal houden c.q. optimaliseren;
 - o soms kan gebruik van meer, maar lagere lichtmasten, minder verstrooiing opleveren; maar afhankelijk van stralingskarakteristiek;
 - o soms kan gebruik een groter aantal, lagere en zwakkere lichtpunten beter zicht en minder verstoring opleveren.
- Licht richten op plek waar het nodig is, door gebruik juiste lichtsoort, armatuur en *cut off*;
 - o verstrooiing voorkomen;
 - o licht bewust niet op het vleermuishabitat richten.
- Samenhang van reflectie en luminantie van wegdek en muren, zo gebruiken dat lichthinder minimaal is.
- Licht afschermen met opgaande vegetatie (haag, bomenrij) of andere materialen.

Nieuw in deze gereedschapskist is het gebruik van een kleurenspectrum dat functioneert voor mensen en vleermuizen niet verstoort. Op basis van de verschillen tussen de ogen van mensen en die van vleermuizen mocht verwacht worden dat hierin een mogelijkheid zat.

In 2010 is in onderzoek op verzoek van Rijkswaterstaat gebleken dat meervleermuizen op vliegroute wit licht en groen licht vermijden, terwijl tussen donker en 'amber' licht (590 nm +/- 20 nm) geen verschil werd gevonden. Het groene licht (535nm) werd ontwikkeld om aantrekkings van vogels naar booreilanden tegen te gaan, maar wordt door sommigen onterecht als 'natuurvriendelijk' geadverteerd. Of 'amber' een oplossing is in het voorkomen van verstoring van een specifieke functie van het landschap voor vleermuizen (verblijf, route, jachtgebied) moet per situatie worden bezien. Het project LichtOpNatuur laat zien dat de daar geteste 'rode kleur' (ClearField Philips) lichtschuwe soorten niet verstoort.

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 Zoogdierverseniging, Nijmegen. 16 pp.

Spoelstra, K., R.H.A. van Grunsven, J.J. C. Ramakers, K.B. Ferguson, T. Raap, M. Donners, E.M. Veenendaal & M.E. Visser, 2017, Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. Proc. R. Soc. B 284, 20170075.