INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

Advies over vleermuisvriendelijke verlichting langs wegen en fietsostrades

Adviesnummer:	**INBO.A.3707**
Auteur(s):	**Ralf Gyselings, Luc De Bruyn**
Contact:	**Niko Boone (niko.boone@inbo.be)**
Kenmerk aanvraag:	**e-mail van 5 juli 2018**
Geadresseerden:	**Provincie Antwerpen** **Dienst Duurzaam Milieu- en Natuurbeleid** **T.a.v. Mieke Hoogewijs** **Koningin Elisabethlei 22** **2018 Antwerpen** **Mieke.Hoogewijs@provincieantwerpen.be**

Dr. Maurice Hoffmann
Administrateur-generaal wnd.

Maurice Hoffmann (Signature)
Digitaal ondertekend door Maurice Hoffmann (Signature)
Datum: 2019.05.14 09:18:58 +02'00'

Aanleiding

Vleermuizen zijn als groep geselecteerd als Provinciale Prioritaire Soorten voor de provincie Antwerpen. Het zijn soorten waar de provincie via gerichte maatregelen extra aandacht aan besteedt. Een belangrijk aspect hierbij is het formuleren van aangepast advies voor eigen provinciale diensten en voor de gemeentebesturen.

De dienst Mobiliteit van de provincie is bevoegd voor het aanleggen van fietsostrades. Een belangrijk aspect hierbij is verlichting in het kader van veiligheid. Verlichting kan echter verschillende delen van het leefgebied van vleermuizen beïnvloeden. Veel gemeentebesturen laten lichtplannen opmaken in het kader van energiezuinig verlichten. De impact op biodiversiteit wordt hierbij niet altijd meegenomen.

Vraag

Aan welke technische specificaties moet vleermuisvriendelijke verlichting voor wegen en fietsostrades voldoen?

Toelichting

1 Inleiding

Kunstmatige verlichting kan een negatief effect hebben op het landschapsgebruik door vleermuizen. Alle vleermuizen zijn in min of meerdere mate lichtschuw.

Vleermuizen hebben in tegenstelling tot wat men soms denkt, zeer gevoelige ogen die aangepast zijn aan lage lichtintensiteiten. De meeste soorten hebben kleurenzicht, maar de kleuren waarvoor ze gevoelig zijn, verschillen ten opzichte van deze die de mens kan waarnemen. Zo kunnen zij ook UV-licht zien.

Verlichting van wegen kan voor vleermuizen barrières vormen, waardoor de verbinding tussen kolonieplaatsen en foerageergebieden onderbroken wordt. EUROBATS[1] wijst dan ook op het grote belang om bij wegverlichting rekening te houden met deze soortengroep. Als algemeen principe stelt EUROBATS dat kunstmatige verlichting waar mogelijk vermeden moet worden (Voigt et al., 2018a). Dit algemeen principe is ook opgenomen in de leidraad "Lichtvisie Vlaamse gewestwegen", die is opgehangen aan de slogan "niet verlichten, tenzij er redenen zijn om te verlichten en mits de nodige flankerende maatregelen" (Vanhulle et al., 2018). Indien verlichting noodzakelijk is, dan zijn er verschillende flankerende maatregelen mogelijk die het effect van licht op vleermuizen minstens ten dele mitigeren. Dit advies geeft een stappenplan om dit verder te concretiseren.

Het advies is opgebouwd uit vier delen. In een eerste deel gaan we dieper in op het zicht bij vleermuizen, vertrekkende van de bouw van het netvlies van een vleermuisoog. In een tweede deel wordt ingegaan op effecten van licht op vleermuizen beschreven in de literatuur. Vermits vleermuizen kleuren kunnen zien, maar met een andere gevoeligheid dan bij de mens, gaan we in een derde deel dieper in op de mate waarin de kleur van het licht een rol speelt bij het effect van licht op vleermuizen. Het vierde deel geeft het stappenplan weer voor het mitigeren van wegverlichting. Dit stappenplan is gebaseerd op de aanbevelingen van Eurobats (Voigt et al., 2018a).

[1] *EUROBATS, The Agreement on the Conservation of Populations of European Bats, is een internationale conventie die ondertekend is door de meeste Europese landen, waaronder België, en tot doel heeft de Europese vleermuissoorten te beschermen. (https://www.eurobats.org)*

2 Zicht bij vleermuizen

Alle in Vlaanderen voorkomende vleermuizen zijn nachtdieren. Zij maken om zich te oriënteren en om te jagen gebruik van echolocatie, een systeem waarbij ze door middel van ultrasone geluidsgolven de omgeving waarnemen. Er werd lang gedacht dat zicht bij vleermuizen een ondergeschikte rol speelt, maar meer en meer onderzoek wijst uit dat dit niet klopt (Peichl, 2005; Kim et al., 2008; Shen et al., 2012). Vleermuizen maken ook gebruik van zicht. Ze hebben ogen die aangepast zijn aan lage lichtintensiteiten. Zoals bij alle zoogdieren, bestaat het lichtgevoelige netvlies van vleermuizen uit twee soorten lichtgevoelige cellen: staafjes en kegeltjes (Wang et al., 2004; Peichl, 2005; Muller et al., 2009; Fujun et al., 2012).

Staafjes integreren licht dat op verschillende cellen invalt, en zijn daarom zeer lichtgevoelig. Zij laten het oog toe te zien bij lage lichtintensiteiten, maar geven geen ruimtelijk scherp afgelijnd beeld. Het licht dat op kegeltjes invalt geeft een scherper beeld, maar kegeltjes zijn minder efficiënt bij lage lichtintensiteiten (Peichl, 2005). Kegeltjes zijn lichtgevoelig voor een specifiek deel van het kleurenspectrum. De meeste zoogdieren beschikken over twee types kegeltjes met een ander pigment: een eerste type dat gevoelig is voor korte golflengtes (S-kegeltjes) en een tweede type dat gevoelig is voor middellange of lange golflengtes (M/L-kegeltjes). Door de aanwezigheid van kegeltjes die gevoelig zijn voor verschillende golflengten, kunnen kleuren worden onderscheiden. De S-kegeltjes zijn oorspronkelijk gevoelig voor licht met golflengtes beneden 400 nm (UV-licht), maar bij veel zoogdieren is dit in de evolutie verschoven naar een hogere golflengte, naar blauw of violet licht. Bij vleermuizen zijn de S-kegeltjes echter nog steeds gevoelig voor UV-licht (Muller et al., 2009). Gevoeligheid voor UV-licht kan het zicht rond zonsopgang en zonsondergang verbeteren. De M/L-kegeltjes zijn bij zoogdieren naargelang de soort gevoelig voor groen licht (M) of geel tot rood licht (L) (Peichl, 2005). Vleermuizen die zowel S-kegeltjes als L-kegeltjes hebben, kunnen kleuren zien op een dichromatische manier, vergelijkbaar met iemand die gedeeltelijk kleurenblind is. Bij een aantal primaten, waaronder de mens, zijn zowel M als L-kegeltjes aanwezig, en is het kleurenzicht trichromatisch (Peichl, 2005). Bij de vleermuissoorten die tot nog toe werden onderzocht, gaat het om L-kegeltjes, gevoelig voor rood licht. Tot nog toe werd echter bij één soort uit de orde der vleermuizen (*Haplonycteris fischeri*, Pteropodidae - Megachiroptera) de aanwezigheid van zowel L- als M-kegeltjes aangetoond (Wang et al., 2004), waardoor dit naast de primaten de enige soort is met een volledig ontwikkeld trichromatisch kleurenzicht.

Bij nachtdieren, waaronder vleermuizen, is de verhouding tussen het aantal staafjes en het aantal kegeltjes veel hoger dan bij dagactieve dieren (Peichl, 2005; Kim et al., 2008). Daardoor zijn hun ogen veel gevoeliger en kunnen ze beter zien bij een lage lichtintensiteit (Fure, 2006).

De meeste vleermuissoorten die echolocatie gebruiken, moeten na het uitsturen van een puls wachten op een binnenkomende puls, omdat zij geen onderscheid kunnen maken tussen binnenkomende en uitgaande pulsen. Dit type echolocatie noemt low-duty cycle echolocatie. Vleermuizen van de families van de hoefijzerneuzen en van de familie van de bladneusvleermuizen ontwikkelden een meer geavanceerd type van echolocatie, waarbij ze door middel van het Doppler effect een onderscheid kunnen maken tussen uitgaande signalen en inkomende echosignalen. Zij kunnen daardoor zeer langdurige echolocatie pulsen gebruiken en hebben een duidelijker beeld van de omgeving. Dit type echolocatie wordt high-duty cycle echolocatie genoemd (Fenton et al., 2012). In tegenstelling tot soorten met een low-duty cycle echolocatie, hebben vleermuissoorten die gebruik maken van high-duty cycle echolocatie in de evolutie de UV gevoelige S-kegeltjes verloren. Hoefijzerneuzen beschikken over een high-duty cycle echolocatie, de andere in Europa voorkomende families gebruiken een low-duty cycle echolocatie. Voor soorten met een low-duty cycle echolocatie is zicht een belangrijke aanvulling op de echolocatie (Zhao et al., 2009; Fujun et al., 2012). Boonman et al. (2013) vonden dat echolocatie beter is op korte afstand, zicht op langere

afstand. De gewone grootoorvleermuis, een soort met een low-duty cycle echolocatie, detecteert haar prooien zelfs op zicht (Eklof & Jones, 2003). Deze soort jaagt op motten die de echolocatie van vleermuizen kunnen horen.

Doordat de S-kegeltjes bij vleermuizen UV-gevoelig zijn, kunnen zij ook ultraviolet licht zien. Ook staafjes zijn bij minstens een aantal soorten vleermuizen UV-gevoelig (Fure, 2006). Dat vleermuizen UV-gevoelig zijn, is ook door gedragsstudies aangetoond (Fujun et al., 2012; Gorresen et al., 2015).

3 Effect van licht op vleermuizen

Kunstmatige verlichting kan velerlei effecten hebben op vleermuizen. Verlichting van de uitvliegopening bij kolonies kan leiden tot later uitvliegen van de vleermuizen, waardoor de beschikbare tijd om te foerageren korter wordt (Shirley et al., 2001; Downs et al., 2003; Boldogh et al., 2007). Dit kan zorgen voor een verminderde groei van de jongen, en kan er uiteindelijk toe leiden dat de kolonieplaats verlaten wordt (Boldogh et al., 2007). Op een vliegroute kan kunstmatige verlichting vleermuizen afschrikken (Kuijper et al., 2008; Polak et al., 2011; Hale et al., 2015) en het gebruik van vliegroutes hypothekeren (Stone et al., 2009; Stone et al., 2012). Verschillende soorten zullen ook niet foerageren onder verlichte omstandigheden (Rydell, 1992; Polak et al., 2011; Stone et al., 2015). Andere soorten daarentegen profiteren van de verhoogde insectendensiteit rond straatlampen om er te foerageren (de Jong & Ahlén, 1991; Rydell, 1991, 1992; Catto et al., 1996; Svensson & Rydell, 1998; Avila-Flores & Fenton, 2005; Bartonicka et al., 2008; Jung & Kalko, 2010). Foerageren rond straatverlichting kan wel het risico verhogen om verkeerslachtoffer te worden (Stone et al., 2015; Altringham & Kerth, 2016). Daarnaast zullen soorten die soms foerageren onder lampen, onder andere omstandigheden licht net ontwijken (Voigt et al., 2018a).

Algemeen wordt aangenomen dat de nachtelijke levenswijze van vleermuizen ontstaan is onder druk van predatie door voornamelijk roofvogels (Speakman, 1991; Rydell et al., 1996; Lima & O'Keefe, 2013; Mikula et al., 2016). Vleermuizen zijn algemeen gesproken lichtschuw om predatie te vermijden. De mate waarin dit een rol speelt in hun gedrag is afhankelijk van verschillende factoren. Het voorspellen van de reactie van vleermuizen op kunstmatige verlichting hangt daardoor niet alleen af van de soort, maar ook van de situatie (Voigt et al., 2018a). Wat de soort betreft zijn soorten die morfologisch aangepast zijn om snel te kunnen vliegen (geslachten *Nyctalus*, *Eptesicus*, *Vespertilio* en *Pipistrellus*) in sommige omstandigheden minder lichtschuw dan soorten die eerder aangepast zijn om wendbaarder in een gesloten omgeving te kunnen vliegen (geslachten *Myotis*, *Plecotus* en *Rhinolophus*) (Rydell, 1992; Stone et al., 2012; Rowse et al., 2016; Voigt et al., 2018a). Soorten van de eerste groep worden dan ook wel eens foeragerend onder straatverlichting waargenomen (Avila-Flores & Fenton, 2005; Voigt et al., 2018a). Meestal zullen zij echter vanuit een donkere omgeving naar de verlichte insectenrijke plaats vliegen om prooien te vangen, om dan terug in de duisternis te verdwijnen (Rydell, 1991). Hoewel deze soorten dus soms onder straatverlichting foerageren, kunnen zij in andere omstandigheden verlichting wel vermijden, bijvoorbeeld op hun vliegroute (Hale et al., 2015) of nabij de kolonies (Downs et al., 2003). Voigt et al. (2018a) geven een schematisch overzicht van hoe de verschillende geslachten van vleermuizen reageren op licht (Tabel 1). De soorten behorend tot de verschillende geslachten zijn opgelijst in Tabel 2.

Tabel 1: Reactie van vleermuistaxa op kunstmatige verlichting in specifieke situaties (Voigt et al., 2018a).

Geslacht	Kolonieplaats of zwermplaats	Vliegroute	Foerageren	Drinken	Over-wintering
Rhinolophus	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw
Barbastella	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw
Eptesicus	Lichtschuw	Lichtschuw	Opportunistisch	Lichtschuw	Lichtschuw
Pipistrellus	Lichtschuw	Neutraal / Oppor-tunistisch	Opportunistisch	Lichtschuw	Lichtschuw
Myotis	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw
Plecotus	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw	Lichtschuw
Vespertilio	Lichtschuw	Onbekend	Opportunistisch	Lichtschuw	Lichtschuw
Nyctalus	Lichtschuw	Onbekend	Opportunistisch	Lichtschuw	Lichtschuw

Tabel 2: Soorten behorend tot de verschillende geslachten

Geslacht	Soort	
Rhinolophus	grote hoefijzerneus	Rhinolophus ferumequinum
Barbastella	mopsvleermuis	Barbastella barbastellus
Eptesicus	laatvlieger	Eptetsicus serotinus
Pipistrellus	ruige dwergvleermuis gewone dwergvleermuis kleine dwergvleermuis	Pipistrellus nathusii Pipistrellus pipistrellus Pipistrelus pygmaeus
Myotis	bechsteins vleermuis brandts vleermuis meervleermuis watervleermuis ingekorven vleermuis vale vleermuis baardvleermuis franjestaart	Myotis bechtsteinii Myotis brandtii Myotis dasycneme Myotis daubentonii Myotis emarginatus Myotis myotis Myotis mystacinus Myotis nattereri
Plecotus	gewone grootoorvleermuis grijze grootoorvleermuis	Plecotus auritus Plecotus austriacus
Vespertilio	tweekleurige vleermuis	Vespertilio murinus
Nyctalus	bosvleermuis rosse vleermuis	Nyctalus leisleri Nyctalus noctula

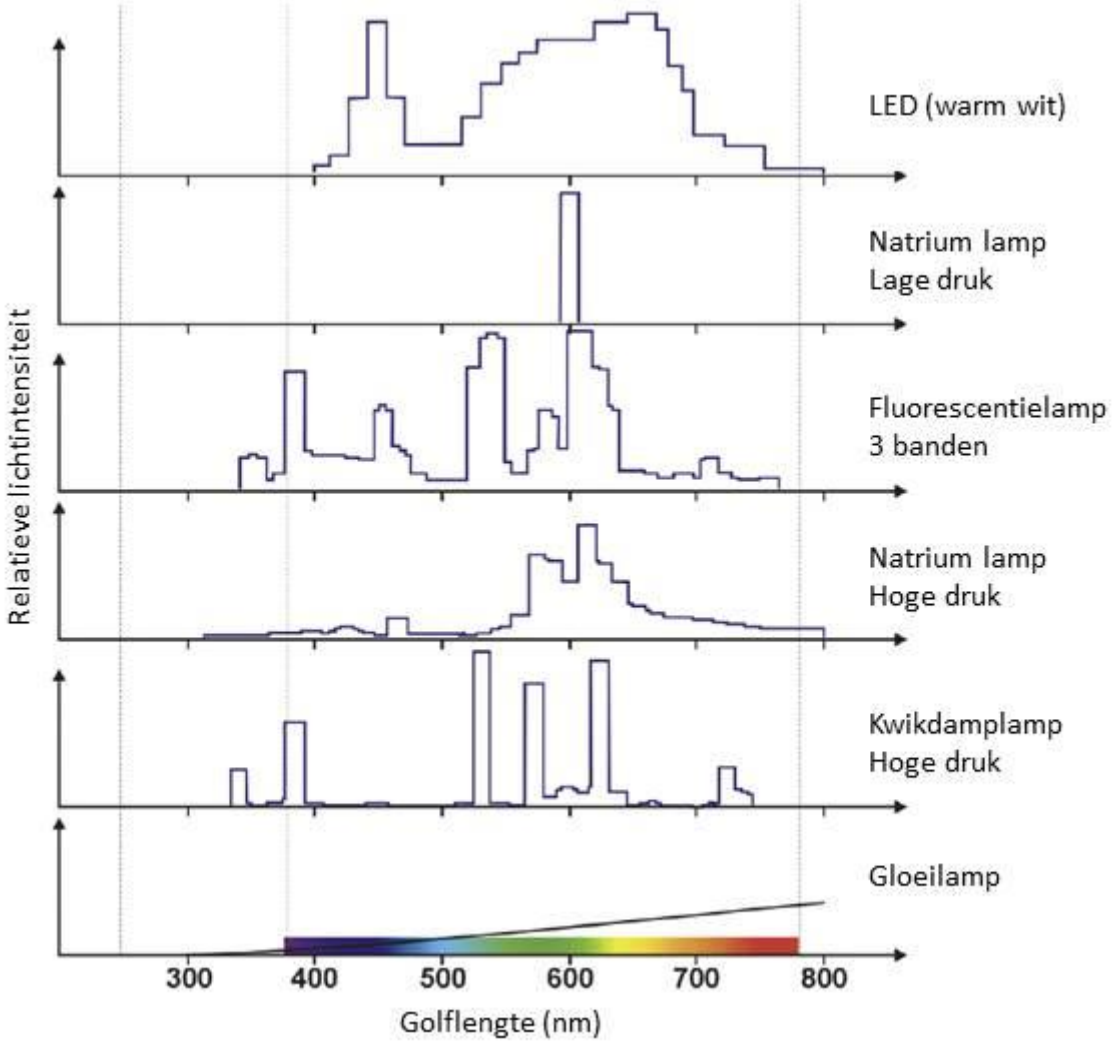
Het aantrekken van insecten door straatverlichting kan ook negatieve effecten hebben op de vleermuizengemeenschap. Het aantrekken van insecten door straatverlichting zorgt voor een lokaal hoog en gemakkelijk bereikbaar prooiaanbod voor sommige soorten vleermuizen. Tegelijk veroorzaakt het een verhoogde mortaliteit en een verlaagde vruchtbaarheid bij de insecten, waardoor er op langere termijn een negatief populatie-effect kan optreden in de

insectengemeenschap (Voigt et al., 2018a). Daarnaast kan verlichting zorgen voor een wegzuigen van insecten uit nabijgelegen donkere gebieden, wat kan zorgen voor een verminderd prooiaanbod voor vleermuissoorten die ook bij het foerageren lichtschuw zijn (Verovnik et al., 2015). Dit effect is waarschijnlijk groter in de nabijheid van water of waterrijke gebieden. In een studie over het aantrekkingseffect van hoge druk natriumlampen, werd een afstand van 23 m voor motten en 40 m voor aquatische insecten waargenomen (Perkin et al., 2014). In het algemeen kan verlichting zorgen voor een competitief voordeel voor soorten die minder lichtschuw zijn, waardoor de lichtschuwere soorten verdrukt worden. Volgens Arlettaz et al. (2000) kan competitie met de veel minder lichtschuwe gewone dwergvleermuis een oorzaak zijn van de achteruitgang van de lichtschuwe kleine hoefijzerneus.

Doordat hun ogen aangepast zijn aan licht met lage intensiteit kunnen vleermuizen door sterker licht ook gemakkelijk verblind geraken (McGuire & Fenton, 2010).

4 Kleur van het licht

Verschillende types van straatverlichting stralen een verschillend kleurenspectrum uit (Figuur 1) en hebben daardoor ook een verschillend effect op vleermuizen en insecten.



Figuur 1: Spectrum van verschillende lamptypes (Perkin et al., 2011).

Insecten worden vooral aangetrokken door licht met korte golflengte (groen, blauw, violet en UV) (van Langevelde et al., 2011; Voigt et al., 2018a). De meeste lamptypes stralen minstens deels licht uit in dit golflengtegebied. Verschillende studies hebben de attractiviteit van verschillende lamptypes vergeleken, maar komen soms tot tegenstrijdige conclusies. Sommigen vinden dat wit LED-licht meer insecten aantrekt dan hoge druk natrium lampen, maar anderen vinden het omgekeerde (Voigt et al., 2018a). Lampen die enkel licht uitzenden in het geel-rode gebied, zoals lage druk natriumlampen, trekken wel veel minder insecten aan (Rydell, 1992).

Verschillende studies onderzochten het effect van hogervermelde lamptypes op vliegroutes en foeragerende vleermuizen (Rydell, 1991, 1992; Avila-Flores & Fenton, 2005; Stone et al., 2009; Stone et al., 2012; Stone et al., 2015). Daaruit blijkt dat bij lampen met emissie in het UV, violet en blauwe licht, die veel insecten aantrekken, een verhoogde activiteit waargenomen wordt van de soorten die bij het foerageren minder lichtschuw zijn. Soorten die er als lichtschuw worden beschreven, vertonen een verlaagde activiteit. Bij lage druk natriumlampen werd een veel lagere vleermuisactiviteit waargenomen (Rydell, 1992).

Enkele studies onderzochten meer direct het effect van de kleur van het licht door gebruik te maken van kleurfilters of gekleurde LED-verlichting. Limpens et al. (2011) onderzochten de invloed van wit licht, groen licht en amberkleurig licht op meervleermuizen op hun vliegroute. Het amberkleurig licht werd gekozen op basis van de kleurgevoeligheid van vleermuisogen. Doordat de S-kegeltjes bij vleermuizen gevoelig zijn voor UV-licht en rood licht, werd een kleinere gevoeligheid voor amberkleurig licht verwacht. De onderzoekers namen inderdaad waar dat de meervleermuisactiviteit lager was bij wit en groen licht in vergelijking met onverlichte omstandigheden, maar stelden geen verschil vast tussen amberkleurig licht en onverlicht. Spoelstra et al. (2017) onderzochten activiteit van vleermuizen onder wit, groen en rood licht voor verschillende soorten. Voor *Myotis* en *Plecotus* soorten werd een verlaagde activiteit gevonden bij wit en groen licht, maar niet bij rood licht. Voor *Pipistrellus* werd een verhoogde activiteit waargenomen bij wit en groen licht, doordat zij aangetrokken werden door de verhoogde insectendensiteit. Voigt et al. (2017 en 2018b) vonden recent een aantrekking van trekkende kleine dwergvleermuis en ruige dwergvleermuis door rood en groen licht, zonder dat dit met insecten te maken had. Zij waarschuwen voor een aantrekking door rood licht naar risicoplaatsen. Downs et al. (2003) onderzochten het effect van de lichtkleur op kleine dwergvleermuis bij het uitvliegen uit de kolonie. Zij onderzochten zowel lichtkleur als lichtintensiteit. Er was een verminderde uitvliegactiviteit bij alle lichtkleuren, maar het effect van rood licht was kleiner. Het effect van lichtintensiteit was echter sterker dan het effect van lichtkleur.

Uit de tot nog toe uitgevoerde studies naar het effect van lichtkleur lijkt te volgen dat zowel lichtschuwheid als de aantrekking van onder licht foeragerende soorten sterker is bij korte golflengten. UV, blauw en groen lijken negatiever te zijn dan amber en rood. Gezien de beperktheid van het aantal studies tot nog toe, moeten we wel voorzichtig zijn met het veralgemenen van de conclusies uit deze studies.

5 Stappenplan voor het mitigeren van het effect van wegverlichting

Recent bracht Eurobats een publicatie uit met richtlijnen over hoe om te gaan met verlichting en vleermuizen (Voigt et al., 2018a). Ons advies volgt deze richtlijnen. Dit houdt in dat bij een verlichtingsproject een stappenplan wordt gevolgd om negatieve effecten op vleermuizen zoveel mogelijk te vermijden of te beperken. We lichten de stappen hieronder in volgorde toe. Het stappenplan bestaat uit vier hiërarchische stappen, waarbij een volgende stap moet gezien worden als een aanvulling op de vorige stappen.

5.1.1 Stap 1: Vermijd verlichting waar mogelijk.

Vermits alle vleermuissoorten lichtschuw zijn in minstens bepaalde omstandigheden, moet verlichting in eerste plaats worden vermeden. Om goed toegang te hebben tot foerageergebieden vanuit de kolonieplaatsen hebben vleermuizen nood aan een netwerk van donkere verbindingen. Verlichting zou enkel geplaatst moeten worden als het om wettelijke of veiligheidsredenen noodzakelijk is. In veel gevallen is het duidelijk aangeven van de weg met reflecterende markering een goed alternatief (Vanhulle et al., 2018; Voigt et al., 2018a). Het gebruik van een lichtgekleurde wegbedekking kan bijvoorbeeld voor fietspaden ook een alternatief vormen (Voigt et al., 2018a).

5.1.2 Stap 2: Verlicht enkel een deel van de nacht.

Het uitschakelen van de verlichting op momenten dat ze niet nodig is, zorgt ervoor dat minstens een deel van de nacht donkere verbindingen mogelijk blijven. Het uitschakelen van verlichting tijdens een deel van de nacht wordt nu reeds op verschillende plaatsen uitgevoerd als energiebesparing. Voor vleermuizen is het begin van de nacht echter een belangrijke periode, omdat er dan pieken in insectendensiteit zijn. Deze periode valt dikwijls niet in het uitschakelingsschema. Voor vleermuizen is het aangewezen om de verlichting reeds voor middernacht te doven (Day et al., 2015).

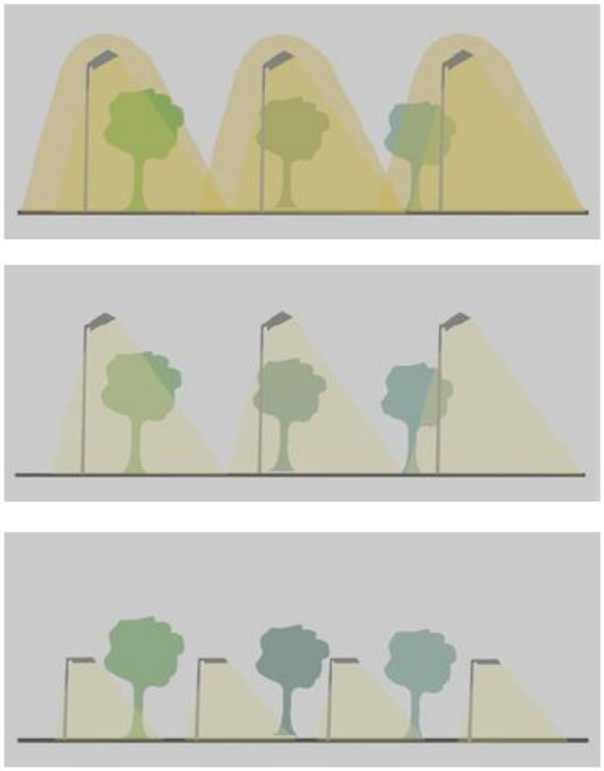
Een studie van Azam et al. (2018) toonde aan dat niet alle soorten geholpen worden door het licht een deel van de nacht te doven. Voor *Plecotus* soorten en *Nyctalus noctula* is de activiteit hoger op plaatsen waar het licht voor een deel van de nacht uitgaat. Voor *Myotis* sp., *Eptesicus serotinus*, *Pipistrellus nathusii, Pipistrellus pygmaeus* en *Nyctalus leislerii* was er echter geen verschil ten opzichte van plaatsen waar het licht gans de nacht brandt.

De beste oplossing voor vleermuizen is daarom dat de verlichting enkel brandt wanneer ze echt nodig is, bijvoorbeeld door bewegingsdetectoren te gebruiken die het licht aanschakelen wanneer voetgangers, fietsers of auto's passeren. In de buurt van kolonieplaatsen moet ervoor gezorgd worden dat de vleermuizen in het donker kunnen in- en uitvliegen.

5.1.3 Stap 3: Beperk de intensiteit van het licht en vermijd strooilicht zoveel mogelijk

Verschillende studies toonden duidelijk negatieve effecten op vleermuizen aan bij lage lichtintensiteiten (Kuijper et al., 2008; Stone et al., 2012; Lacoeuilhe et al., 2014), zelfs bij lichtintensiteiten lager dan 1 lx (Azam et al., 2018). Bijkomende maatregelen om de omgeving zo donker mogelijk te houden zijn daarom nodig. Om de lichtverstrooiing te vermijden, moeten aangepaste armaturen worden gebruikt die het licht zoveel mogelijk richten op de plaats waar het nodig is, en verstrooiing naar de wijdere omgeving vermijden (Falchi et al., 2011; Voigt et al., 2018a). Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 2. Armaturen zouden geen licht naar boven toe mogen verspreiden. Om dezelfde reden worden lichtarmaturen best zo laag mogelijk geplaatst. Bij verlichting van een weg omzoomd met bomen moeten de armaturen zodanig worden geplaatst dat zij het bovenste deel van de bomenrij niet verlichten (Figuur 3). Lichtverstrooiing naar waterpartijen moet zeker vermeden worden. Aanplant van een groenscherm kan in sommige omstandigheden helpen lichtverstrooiing te beperken, maar dit werkt uiteraard enkel in het zomerseizoen. Recent onderzoek geeft aan dat ook tijdens de winter vleermuizen meer vliegen dan tot nog toe werd aangenomen (Zahn & Kriner, 2016; Gyselings et al., 2017).

Figuur 2: Links: Onaangepast armatuur dat te veel zijwaartse lichtverstrooiing geeft. Rechts: aangepast armatuur dat gericht enkel het fietspad verlicht. Overgenomen uit Voigt et al. (2018a).



Figuur 3: Boven: Onaangepast armatuur met lichtverstrooiing naar boven toe en geplaatst boven de boomkruinen. Midden: Aangepast armatuur zonder lichtverstrooiing naar boven toe, maar te hoog geplaatst, waardoor de boomkruin verlicht wordt. Onder: Aangepast armatuur zonder lichtverstrooiing naar boven toe en geplaatst op een hoogte zodat de boomkruinen niet mee verlicht worden. Overgenomen uit Voigt et al. (2018a).

5.1.4 Stap 4: Gebruik een aangepast kleurenspectrum

Bij gebruik van een aangepast kleurenspectrum worden korte golflengten (UV, violet en blauw licht) vermeden. Licht dat golflengten bevat kleiner dan 540 nm of licht met een kleurtemperatuur groter dan 2700 K moet zeker vermeden worden (Voigt et al., 2018a). Rijkswaterstaat in Nederland hanteert een norm dat minimum 90% van de lichtstraling boven 590 nm moet liggen, maximaal 2,5% tussen 505 nm en 589 nm en maximaal 1% tussen 380 nm en 504 nm (V. Loehr, 2018, persoonlijke mededeling). De enkele studies naar de kleur van licht geven aan dat amber en rood licht minder effect hebben, hoewel

Voigt et al. (2018b) aangeven dat rood licht minstens op sommige soorten een aantrekking kan hebben die in bepaalde omstandigheden ook ongewenst kan zijn, bijvoorbeeld langs drukke verkeerswegen. Vleermuizen zijn immers regelmatig het slachtoffer van verkeer (Lesinski, 2008; Gaisler et al., 2009; Lesinski et al., 2011; Medinas et al., 2013). Vermits het onderzoek naar het effect van de kleur van licht nog beperkt is, moet het gebruik van een aangepast kleurenspectrum als een laatste stap aanzien worden.

Conclusie

Om het negatieve effect van wegverlichting op vleermuizen te vermijden of te beperken, stellen we voor om bij plaatsing van verlichting een stappenplan te volgen. Dit stappenplan bestaat uit vier hiërarchische stappen, waarbij een volgende stap een aanvulling is op de vorige stappen. De vier stappen zijn:

1. vermijd verlichting waar mogelijk;
2. verlicht enkel een deel van de nacht;
3. beperk de intensiteit van het licht en vermijd strooilicht zoveel mogelijk;
4. gebruik een aangepast kleurenspectrum.

Referenties

Altringham, J., and G. Kerth. 2016. Bats and roads. Pages 35-62 in C. C. Voigt and T. Kingston, editors. Bats in the Antropocene: Conservation of Bats in a Changing World. Springer Open.

Arlettaz, R., S. Godat, and H. Meyer. 2000. Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (Pipistrellus pipistrellus) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (Rhinolophus hipposideros). Biological Conservation 93:55-60.

Avila-Flores, R., and M. B. Fenton. 2005. Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. Journal of Mammalogy 86:1193-1204.

Azam, C., I. Le Viol, Y. Bas, G. Zissis, A. Vernet, J. F. Julien, and C. Kerbiriou. 2018. Evidence for distance and illuminance thresholds in the effects of artificial lighting on bat activity. Landscape and Urban Planning 175:123-135.

Bartonicka, T., A. Bielik, and Z. Rehak. 2008. Roost switching and activity patterns in the soprano pipistrelle, Pipistrellus pygmaeus, during lactation. Annales Zoologici Fennici 45:503-512.

Boldogh, S., D. Dobrosi, and P. Samu. 2007. The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. Acta Chiropterologica 9:527-534.

Boonman, A., Y. Bar-On, N. Cvikel, and Y. Yovel. 2013. It's not black or white-on the range of vision and echolocation in echolocating bats. Frontiers in Physiology 4:12.

Catto, C. M. C., A. M. Hutson, P. A. Racey, and P. J. Stephenson. 1996. Foraging behaviour and habitat use of the serotine bat (Eptesicus serotinus) in southern England. Journal of Zoology 238:623-633.

Day, J., J. Baker, H. Schofield, F. Mathews, and K. J. Gaston. 2015. Part-night lighting: implications for bat conservation. Animal Conservation 18:512-516.

de Jong, J., and I. Ahlén. 1991. Factors affecting the distribution of bats in Uppland, central Sweden. Holarctic Ecology 14:92-96.

Downs, N. C., V. Beaton, J. Guest, J. Polanski, S. L. Robinson, and P. A. Racey. 2003. The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of Pipistrellus pygmaeus. Biological Conservation 111:247-252.

Eklof, J., and G. Jones. 2003. Use of vision in prey detection by brown long-eared bats, Plecotus auritus. Animal Behaviour 66:949-953.

Falchi, F., P. Cinzano, C. D. Elvidge, D. M. Keith, and A. Haim. 2011. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. Journal of Environmental Management 92:2714-2722.

Fenton, B., P. A. Faure, and J. M. Ratcliffe. 2012. Evolution of high duty cycle echolocation in bats. Journal of Experimental Biology 215:2935-2944.

Fujun, X., H. Kailiang, Z. Tengteng, P. A. Racey, W. Xuzhong, and S. Yi. 2012. Behavioral evidence for cone-based ultraviolet vision in divergent bat species and implications for its evolution. Zoologia 29:109-114.

Fure, A. 2006. Bats and lighting. The London Naturalist 85:1-20.

Gaisler, J., Z. Rehak, and T. Bartonicka. 2009. Bat casualties by road traffic (Brno-Vienna). Acta Theriologica 54:147-155.

Gorresen, P. M., P. M. Cryan, D. C. Dalton, S. Wolf, and F. J. Bonaccorso. 2015. Ultraviolet vision may be widespread in bats. Acta Chiropterologica 17:193-198.

Gyselings, R., G. Spanoghe, E. Van den Bergh, and L. De Bruyn. 2017. Why and When do bats fly out in winter? A field study in the north of Flanders, Belgium. XIVth European Bat Research Symposium, Donostia-San Sebastian, Spain.

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

Jung, K., and E. K. V. Kalko. 2010. Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. Journal of Mammalogy 91:144-153.

Kim, T. J., Y. K. Jeon, J. Y. Lee, E. S. Lee, and C. J. Jeon. 2008. The Photoreceptor Populations in the Retina of the Greater Horseshoe Bat Rhinolophus ferrumequinum. Molecules and Cells 26:373-379.

Kuijper, D. P. J., J. Schut, D. Van Dullemen, H. Toorman, N. Goossens, J. Ouwehand, and H. limpens. 2008. Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (Myotis dasycneme). Lutra 51:37-49.

Lacoeuilhe, A., N. Machon, J. F. Julien, A. Le Bocq, and C. Kerbiriou. 2014. The Influence of Low Intensities of Light Pollution on Bat Communities in a Semi-Natural Context. Plos One 9:8.

Lesinski, G. 2008. Linear landscape elements and bat casualties on roads - an example. Annales Zoologici Fennici 45:277-280.

Lesinski, G., A. Sikora, and A. Olszewski. 2011. Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. European Journal of Wildlife Research 57:217-223.

Lima, S. L., and J. M. O'Keefe. 2013. Do predators influence the behaviour of bats? Biological Reviews 88:626-644.

Limpens, H., M. J. Veltman, J. Dekker, E. Jansen, and H. Huitema. 2011. A bat friendly colour spectrum for artificial light? XIIth European Bat Research Symposium, Vilnius, Lithuania.

McGuire, L. P., and M. B. Fenton. 2010. Hitting the wall: light affects the obstacle avoidance ability of free-flying little brown bats (Myotis lucifugus). Acta Chiropterologica 12:247-250.

Medinas, D., J. Tiago Marques, and A. Mira. 2013. Assessing road effects on bats: the role of landscape, road features, and bat activity on road-kills. Ecological Research 28:227-237.

Mikula, P., F. Morelli, R. K. Lucan, D. N. Jones, and P. Tryjanowski. 2016. Bats as prey of diurnal birds: a global perspective. Mammal Review 46:160-174.

Muller, B., M. Glosmann, L. Peichl, G. C. Knop, C. Hagemann, and J. Ammermuller. 2009. Bat Eyes Have Ultraviolet-Sensitive Cone Photoreceptors. Plos One 4:7.

Peichl, L. 2005. Diversity of mammalian photoreceptor properties: Adaptations to habitat and lifestyle? Anatomical Record Part a-Discoveries in Molecular Cellular and Evolutionary Biology 287A:1001-1012.

Perkin, E. K., F. Hölker, J. S. Richardson, J. P. Sadler, C. Wolter, and K. Tockner. 2011. The influence of artificial light on stream and riparian ecosystems: questions, challenges, and perspectives. Ecosphere 2:122.

Perkin, E. K., F. Holker, and K. Tockner. 2014. The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. Freshwater Biology 59:368-377.

Polak, T., C. Korine, S. Yair, and M. W. Holderied. 2011. Differential effects of artificial lighting on flight and foraging behaviour of two sympatric bat species in a desert. Journal of Zoology 285:21-27.

Rowse, E. G., D. Lewanzik, E. L. Stone, S. Harris, and G. Jones. 2016. Dark Matters: The Effects of Artificial Lighting on Bats. Pages 187-213 in C. C. Voigt and T. Kingston, editors. Bats in the Antropocene: Conservation of Bats in a Changing World. Springer Open.

Rydell, J. 1991. Seasonal use of illuminated areas by foraging Northern bats Eptesicus Nilssoni. Holarctic Ecology 14:203-207.

Rydell, J. 1992. Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. Functional Ecology 6:744-750.

Rydell, J., A. Entwistle, and P. A. Racey. 1996. Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. Oikos 76:243-252.

Shen, Y. Y., B. K. Lim, H. Q. Liu, J. Liu, D. M. Irwin, and Y. P. Zhang. 2012. Multiple Episodes of Convergence in Genes of the Dim Light Vision Pathway in Bats. Plos One 7:6.

Shirley, M. D. F., V. L. Armitage, T. L. Barden, M. Gough, P. W. W. Lurz, D. E. Oatway, A. B. South, and S. P. Rushton. 2001. Assessing the impact of a music festival on the emergence behaviour of a breeding colony of Daubenton's bats (Myotis daubentonii). Journal of Zoology 254:367-373.

Speakman, J. R. 1991. Why do insectivorous bts in Britain not fly in daylight more frequently. Functional Ecology 5:518-524.

Spoelstra, K., R. H. A. van Grunsven, J. J. C. Ramakers, K. B. Ferguson, T. Raap, M. Donners, E. M. Veenendaal, and 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. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences 284:20170075.

Stone, E. L., S. Harris, and G. Jones. 2015. Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. Mammalian Biology 80:213-219.

Stone, E. L., G. Jones, and S. Harris. 2009. Street Lighting Disturbs Commuting Bats. Current Biology 19:1123-1127.

Stone, E. L., G. Jones, and S. Harris. 2012. Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. Global Change Biology 18:2458-2465.

Svensson, A. M., and J. Rydell. 1998. Mercury vapour lamps interfere with the bat defence of tympanate moths (Operophtera spp.; Geometridae). Animal Behaviour 55:223-226.

van Langevelde, F., J. A. Ettema, M. Donners, M. F. WallisDeVries, and D. Groenendijk. 2011. Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. Biological Conservation 144:2274-2281.

Vanhulle, A., G. Bourdet, M. Versluys, N. De Maesschalck, F. Namèche, and J. P. Cols. 2018. Lichtvisie Vlaamse gewestwegen. Agentschap Wegen en Verkeer.

Verovnik, R., Z. Fiser, and V. Zaksek. 2015. How to reduce the impact of artificial lighting on moths: A case study on cultural heritage sites in Slovenia. Journal for Nature Conservation 28:105-111.

Voigt, C. C., M. Roeleke, L. Marggraf, G. Pētersons, and S. L. Voigt-Heucke. 2017. Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. PLoS ONE 12:e0177748.

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, and M. ZagMajster. 2018a. Eurobats Publication Series Nr 8: Guidelines for consideration of bats in lighting projects. UNEP/Eurobats, Bonn.

Voigt, C. C., K. Rehnig, O. Lindecke, and G. Petersons. 2018b. Migratory bats are attracted by red light but not by warm-white light: Implications for the protection of nocturnal migrants. Ecology and Evolution 8:9353-9361.

Wang, D. Y., T. Oakley, J. Mower, L. C. Shimmin, S. Yim, R. L. Honeycutt, H. Tsao, and W. H. Li. 2004. Molecular evolution of bat color vision genes. Molecular Biology and Evolution 21:295-302.

Zahn, A., and E. Kriner. 2016. Winter foraging activity of Central European Vespertilionid bats. Mammalian Biology 81:40-45.

Zhao, H. B., S. J. Rossiter, E. C. Teeling, C. J. Li, J. A. Cotton, and S. Y. Zhang. 2009. The evolution of color vision in nocturnal mammals. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 106:8980-8985.