



24. DE LICHTVERVUILING

IN HET BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST

Licht is een bron van leven. Het is het licht dat de CO₂ uit de lucht omzet in suikers via fotosynthese, een proces dat onmisbaar is voor de werking van het grootste deel van de voedselketens, zowel aan land als in het water. De variaties in intensiteit en spectrum van het zonlicht volgen het 24-uurritme (dag/nacht) en het seizoensritme waaraan de levende organismen zich sinds miljoenen jaren hebben aangepast.

Tal van soorten die 's nachts leven, zijn geëvolueerd door specifieke aanpassingen te ontwikkelen die hen in staat stellen te communiceren of te jagen in het donker. Mogelijk zijn er zelfs meer nachtsoorten dan dagsoorten op aarde. Sinds hooguit 100 jaar krijgen deze nachtsoorten echter te maken met kunstlicht. Indien de afwisseling van dag en nacht in de war wordt gestuurd, verstoort dit de fauna en zelfs de flora, met negatieve gevolgen voor de gezondheid van de dieren- en plantenpopulaties. In de stad, waar kunstlicht vrijwel alomtegenwoordig is, zijn deze verstoringen nog sterker omdat de verlichtingsduur er langer is en het licht er ook sterker weerschijnt.

Permanente nachtverlichting in verstedelijkt gebied blijft ook niet zonder gevolgen voor de gezondheid van de mens.

1. Wat is lichtvervuiling?

De uitdrukking werd een dertigtal jaar geleden gemunt naar aanleiding van de toenemende nachtelijke verlichting van onze sterk verstedelijkte contreien. Die verlichting kwam er vooral om veiligheidsredenen, om het architecturaal erfgoed tot zijn recht te laten komen, maar ook door de ontwikkeling van de "ontspanningsmaatschappij".

Het licht is van antropogene oorsprong, en de openbare verlichting is de hoofdverantwoordelijke. Lichtvervuiling is gedefinieerd als de abnormale of hinderlijke nachtelijke aanwezigheid van licht en de schadelijke gevolgen van nachtelijke kunstverlichting op de fauna, de flora en de ecosystemen, alsook de vermoede of aangetoonde effecten ervan voor de menselijke gezondheid (Jedidi et al., 2015).

Lichtvervuiling doet zich voor op drie manieren: oververlichting, verblinding of lichtuitstraling van de nachtelijke hemel.

Volgens de nieuwe wereldatlas van kunstmatige hemelschijn (Falchi et al., 2016) ziet meer dan een derde van de mensheid, en 60% van de Europeanen, de Melkweg niet meer. 88% van het Europese landareaal kent door licht vervuilde nachten.

2. Wat zijn de gevolgen van de lichtvervuiling voor de soorten?

Alle levende organismen reguleren hun fysiologische functies, zoals de synthese van enzymen en hormonen, aan de hand van de hoeveelheid, de duur en het spectrum van het licht (Ouyang et al., 2018). Ongeveer 30% van de gewervelden en meer dan 60% van de ongewervelden (Hölker et al., 2010) zijn nachtsoorten, en hun cycli van natuurlijk licht zijn fundamenteel verstoord door nachtelijk kunstlicht dat ook de planten en de micro-organismen aantast. Nachtdieren hebben in het algemeen een beter ontwikkeld, lichtgevoeliger zicht.



2.1. Vogels

Vogels hebben een bijzonder goed zicht. In tegenstelling tot de mens zien vogels ultraviolet en infrarood licht. De gezichtsscherpte kan echter verschillen tussen soorten onderling. Zo hebben roofvogels het beste zicht van de hele vogelwereld. Nachtelijk kunstlicht beïnvloedt het zoeken naar voedsel, de trek, de oriëntatie en het dag-nachtritme, en mogelijk ook de seizoenssynchronisatie en de stressfysiologie bij de vogels. De reacties op nachtelijk kunstlicht kunnen echter sterk variëren van de ene soort tot de andere.

- De mannetjes van bepaalde dagsoorten, zoals de roodborst (*Erithacus rubecula*), de merel (*Turdus merula*), de koolmees (*Parus major*) en de pimpelmees (*Parus caeruleus*), waarvan het territorium 's nachts verlicht is, beginnen gemiddeld een uur en twintig minuten vroeger te zingen dan individuen die niet zijn blootgesteld aan lichtvervuiling. Een vroege ochtendzang, die erop wijst dat het mannetje "fit" is, heeft een invloed op de seksuele selectie door de vrouwtjes. Deze samenhang wordt dus verstoord door de aanwezigheid van nachtelijk kunstlicht (Kempenaers *et al.*, 2010).
- De vogels kunnen dus ook minder lang slapen. Dit bleek het geval bij de vrouwelijke koolmezen (*Parus major*) die werden bestudeerd in de broedperiode. Hierbij werd vastgesteld dat vrouwelijke koolmezen die waren blootgesteld aan nachtelijk kunstlicht minder lang sliepen en hun nest vroeger verlieten dan soortgenoten waarvan het nest niet was blootgesteld aan kunstlicht (Raap *et al.*, 2015).
- Een studie uitgevoerd in de parken in München toonde ook aan dat de voortplantingsperiode van de stadsmereel, die meer is blootgesteld aan nachtelijk kunstlicht, een maand vroeger start dan die van de plattelandsmereel. Het gevolg is een vervroegde broedperiode op een moment waarop de prooien die ze nodig hebben om hun jongen te voeren nog niet (genoeg) aanwezig zijn (Dominioni *et al.*, 2013).
- In de voortplantingsperiode lijken bepaalde vogelsoorten de verlichte zones ook te mijden, wat de keuze van goede broedplaatsen in hun territorium beperkt. Dit verschijnsel werd in het bijzonder bestudeerd voor de nachtzwaluw (*Caprimulgus europaeus*) (Sierro & Erhardt, 2019).
- Een deel van de Europese zangvogels (dagvogels) trekt 's nachts. Kunstlicht kan hun oriëntatiemechanismen verstoren: de lichthalo's rond de steden kunnen interfereren met de herkenningspunten van de vogels of zelfs met hun magnetisch kompas. Zo kunnen ze de weg verliezen, in rondjes vliegen tot ze erbij neervallen of blijven putten uit de energiereserves die ze nodig hebben om de Middellandse Zee of de Sahara over te steken (Adams *et al.*, 2019; Bruderer, 2002; Wiltschko *et al.*, 2010, in Besnard en Bourgeois, 2019).
- De kleine zwaan (*Cygnus columbianus*) broedt in het hoge Noorden en overwintert in West-Europa. Vogels die overwinteren in met kunstlicht overgoten gebied voeden zich dag en nacht. De energiereserves die ze nodig hebben om terug te vliegen naar het hoge Noorden zijn dus vroeger in het seizoen weer aangevuld. Hierdoor hebben ze de neiging om vroeger in de lente noordwaarts te trekken om zich voort te planten. Wanneer ze hun bestemming bereiken, is de winter er nog heel streng. Er is dus weinig voedsel beschikbaar waardoor het gevaar dat ze ten prooi vallen aan soorten die beter zijn aangepast aan deze omstandigheden toeneemt: de poolvos, de sneeuwuil enz. (LRBPO, 2013).
- Dagvogels die 's nachts actief zijn, lopen het risico dat ze worden gesnapt door nachtroofvogels die ervaren nachtelijke jagers zijn. Omgekeerd kan de slechtvalk (*Falco peregrinus*), een dagsoort, profiteren van de totale hoeveelheid licht die wordt uitgestraald om 's nachts te jagen, vooral op nachtelijke trekvogels. Dit werd aangetoond - met name in Brussel - door monitoring van de nesten met camera's (zie de website "[Valken voor iedereen](#)").



2.2. Zoogdieren

Tal van zoogdieren zijn nachtdieren die het licht schuwen. Nachtelijke kunstverlichting vormt voor hen een heuse barrière waar ze vaak niet doorheen kunnen. Vandaag wordt dit erkend als bijkomend element in de versnippering van de habitats "[Fragmentatie van de natuurlijke habitats](#)").

- De meeste vleermuissoorten bij ons, en in het bijzonder de echte hoefijzerneuzen (*Rhinolophus* spp.) en de myotissen (*Myotis* spp.), zijn lichtschuw. Verlichting van een weg of pad op hun gebruikelijke traject kan voor sommige dieren al volstaan om te worden afgesneden van een deel van hun jachtgebied. Een verlicht jachtgebied wordt voor hen gewoon onbruikbaar. Nachtelijk kunstlicht kan dus populaties die vaak reeds kwetsbaar zijn, versnipperen. De verlichting zorgt zo voor onevenwicht door soorten die het nachtelijk kunstlicht beter verdragen plaatselijk te bevoordelen. Vaak zijn dit de algemenere soorten, zoals de gewone dwergvleermuis (*Pipistrellus pipistrellus*) en de laatvlieger (*Eptesicus serotinus*). De zeldzamere en bedreigde soorten zijn hiervan de dupe. In het Brussels Gewest komen de meeste soorten vooral voor in het Zoniënwood (open plekken, vijvers ...) en in de omgeving ervan, en ook in het noordwesten (moeras van Jette en Ganshoren, Laarbeekbos enz.), met uitzondering van de twee bovenvermelde soorten die minder gevoelig zijn voor nachtelijk kunstlicht en die meer antropofiel zijn (Brabant *et al.*, 2019). De gewone dwergvleermuis en de laatvlieger komen jagen op de insecten die door lichtpunten worden aangetrokken. Dit is niet noodzakelijk een goede zaak, want de insecten die door het licht worden aangetrokken verlaten hun vertrouwde leefgebied. De andere vleermuissoorten die het licht mijden en die blijven jagen in donker gebied vinden niet langer de gebruikelijke hoeveelheden voedsel in hun niet-verlichte omgeving.
- In België hebben studies aangetoond dat de kolonies vleermuizen 45 minuten later uitvliegen als hun toegangswegen verlicht zijn, vergeleken met wanneer ze niet verlicht zijn. Deze vertraging kan de vleermuizen ertoe verplichten langer te jagen om dezelfde hoeveelheid prooien te vangen, want in het begin van de nacht is de hoeveelheid insecten het grootst. Hetzelfde werd vastgesteld in Frankrijk (Azam, 2016) waar overigens werd aangetoond dat kolonies voorouderlijke schuilplaatsen die ondergebracht zijn in verlichte kerkdaken kunnen verlaten (ASCEN, 2014).
- Kleine vleesetende zoogdieren (vos, hermelijn, bunzing) lijken op het licht af te komen. Ook de egel wordt erdoor aangetrokken. In het geval van een verlichte weg kunnen ze slachtoffer worden van het verkeer (zie kaart van de "[dieren die sneuvelen op de weg](#)").
- Bij de zoogdieren wordt de productie van melatonine op gang gebracht door de afwezigheid van licht. Dit hormoon speelt verschillende rollen op vlak van het endocriene systeem, de stofwisseling, het immuunsysteem en het gedrag. Het speelt ook een heel belangrijke rol in de regeling van de chronobiologische ritmes (dag-nachtritme en seizoensritme). De remming of de afscheiding van melatonine kan het dag-nachtritme van dieren verstoren door ontregeling van het waaksignaal en afremming van het inslapen, wat het risico van verzwakking van de individuen vergroot (Shuboni *et al.*, 2010, Le Tallec *et al.*, 2013). L'Anses (2019) bevestigt deze verstoringen van de biologische ritmes en van de slaap en benadrukt ook de toxiciteit van blauw licht (led) op het netvlies (kortetermijneffecten door acute blootstelling en langetermijneffecten door chronische blootstelling).

2.3. Insecten

De ongewervelden (insecten enz.) beschikken over ocellen of puntogen (zintuiglijke receptoren) waarmee ze kunnen zien wanneer dagen en nachten beginnen en eindigen. Bij langdurige nachtverlichting worden tal van verstoringen vastgesteld. Het overleven van de soorten in de verlichte zones wordt soms zelfs in gevaar gebracht. Zoals reeds gezegd, zou meer dan 60% van de ongewervelden, waartoe de insecten behoren, nachtdier zijn. Veel van deze verschijnselen werden opgetekend door Avalon *et al.*, 2019.

- Een deel van de insecten wordt aangetrokken door het licht: een lantaarn kan insecten aantrekken vanop honderden meters afstand (aanzuigeffect). Sommige van deze insecten kunnen in de straal kunstlicht blijven rondvliegen tot ze erbij neervallen. Deze aantrekking tot het licht is nog sterker wanneer blauw, violet en ultraviolet licht wordt uitgestraald. Bepaalde predatoren die niet worden gehinderd door het licht profiteren van de concentratie van prooien.



Dit aanzuigeffect creëert zones zonder insecten vlakbij verlichte zones, wat nadelig is voor predatoren die het licht schuwen.

- Nachtelijk kunstlicht kan het natuurlijk, astronomisch licht, dat bepaalde soorten nodig hebben om zich te oriënteren, aan het oog onttrekken.
- Het verhuult ook de lichtsignalen van bioluminescente soorten zoals (grote) glimwormen (familie van de Lampyridae): de mannetjes zien de aantrekkingsignalen van de vrouwtjes niet meer, wat het voortplantingssucces van deze soorten schaadt. Drie soorten glimwormen komen voor in Brussel, vooral aan de rand van het Zoniënwoud.
- De glans van verlichte oppervlakken kan bepaalde waterinsecten ertoe brengen eitjes te leggen op deze oppervlakken, omdat ze denken dat het water is. Natgeregende verlichte wegen kunnen ook bepaalde waterinsecten aantrekken, die het risico lopen het slachtoffer te worden van het verkeer of ten prooi te vallen aan een predator die wordt aangetrokken door het licht.
- Vrouwelijke eendagsvliegen (Ephemeroptera) wachten op de komst van een mannetje in de voortplantingsperiode. Indien mannetjes worden aangetrokken door het licht en daarom niet tot bij de vrouwtjes geraken, vindt er geen voortplanting plaats. De betrokken populaties van deze soorten kunnen dus verdwijnen binnen een straal van enkele kilometers.
- Nachtelijk kunstlicht heeft ook andere gevolgen voor de voortplanting: sommige soorten nachtvlinders, waaronder de plakker (*Lymantria dispar*), hebben een afwisseling tussen dag en nacht nodig. Mannetjes die constant evolueren onder nachtelijk kunstlicht produceren minder sperma, wat gevolgen kan hebben voor het overleven van de lokale populaties.
- Kunstlicht verstoort het dag-nachtritme van de insecten, verlengt de activiteit overdag en beperkt de rustperiode 's nachts. Nachtinsecten kunnen echter het uur waarop ze actief worden en dus op zoek gaan naar voedsel, verlaten. Op lange termijn veranderen dan de ontwikkeling en de fenologie van insecten, zoals bij de veldsprinkhaan en de bladluis werd vastgesteld (Owens et al., 2020). Volgens de auteurs van deze studie is lichtvervuiling een bijkomende factor van de sterke achteruitgang die de insectenpopulaties op dit moment kennen.
- Een studie van nachtvlinderpopulaties die in Zuid-Engeland werd uitgevoerd, heeft aangetoond dat nachtverlichting het aantal van deze insecten op verlichte locaties onmiddellijk doet afnemen. In de studie werd gekeken naar de aanwezigheid van rupsen in de vegetatie van 's nachts verlichte sites vergeleken met nabije sites met gelijkaardige kenmerken, maar zonder verlichting. De studie wees op een sterke vermindering van de aanwezigheid van rupsen in de vegetatie van de verlichte sites vergeleken met de niet-verlichte sites, met 33% tot 47% afhankelijk van het type vegetatie. Hieruit blijkt dat de vrouwelijke nachtvlinders vermijden hun eitjes te leggen in vegetatie die is blootgesteld aan nachtelijk kunstlicht, vooral indien de lantaarns zijn uitgerust met ledlampen (wit licht) in de plaats van natriumlampen (geler licht). De vermindering van het aantal rupsen heeft ook een impact op de predatoren ervan, zoals vogels, of vleermuizen voor de volwassen vlinders. De impact mag dan wel lokaal zijn, maar komt volgens Boyes et al., 2021 bovenop de vele andere oorzaken van vermindering van insectenpopulaties in Europa, vooral in sterk verlichte stedelijke milieus.



Figuur 24.1. Samenvattende illustratie van de impact van lokale bronnen (links) en van diffuus schijnsel (rechts) op de fysiologie, het gedrag en het vermogen van insecten

Bron: Avalon *et al.*, 2019

A: aantrekking (positieve fototaxis)

B: vermijding (negatieve fototaxis)

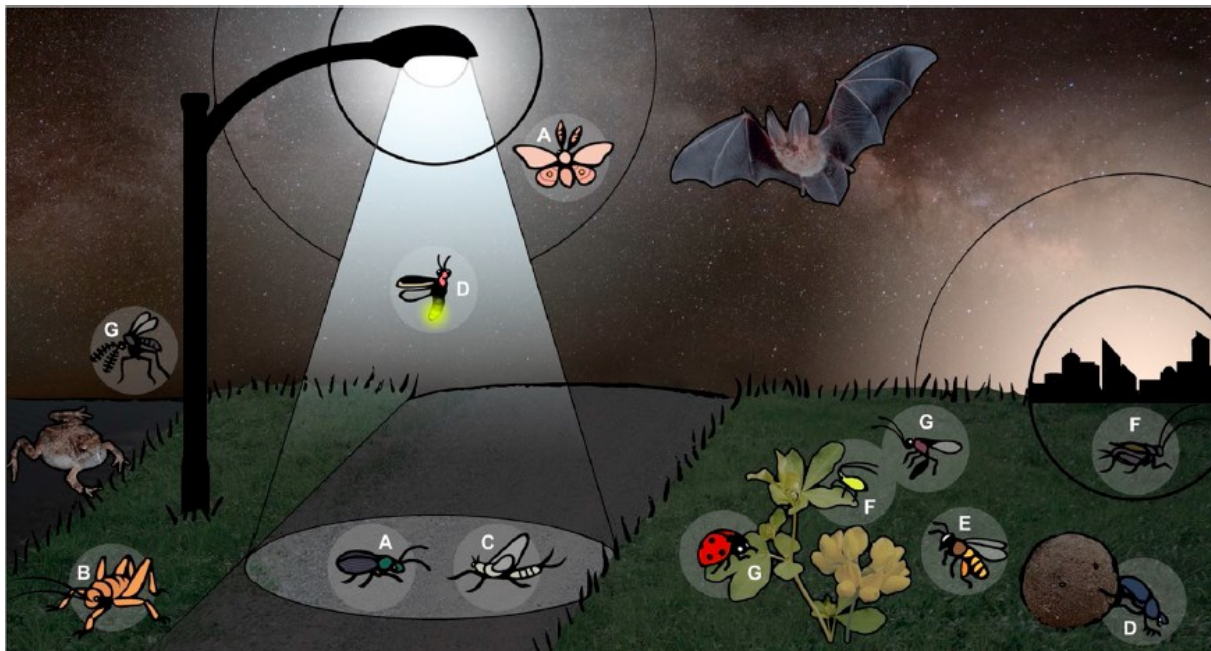
C: leg op lichtvlekken door waterinsecten

D: verstoring van het natuurlijk licht dat nodig is voor nachtelijke oriëntatie en voor bioluminescentie

E: verstoring van het dag-nachtritme en dus van de rustperiodes

F: wijziging van de ontwikkeling en de fenologie van veldsprinkhanen en bladluizen

G: sneeuwbaaleffect (bestuiving, predatie-interacties enz.) van de slechte fenologische afstemming tussen waardplanten, predatoren en prooien



2.4. Amfibieën

Amfibieën zijn vooral nachtdieren, met een aangepast en dus heel lichtgevoelig zicht dat hen in staat stelt 's nachts te jagen.

Ze lijken zich anders te gedragen bij nachtelijk kunstlicht in de trekperiode voor de voortplanting (begin van de winter) dan in de zomer. Het vermijden van licht (negatieve fototaxis) is vooral belangrijk tijdens de trek.

In de zomer kunnen ze rechtstreeks door licht worden aangetrokken of kunnen ze onrechtstreeks worden aangetrokken door prooien die zelf door licht worden aangetrokken (insecten). Dit gedrag werd vooral waargenomen bij jonge individuen (Baker, 1990; Frank, 1988; Eisenbeis, 2006; cités par van Grunsvan *et al.*, 2016). De aantrekking van het licht zou de dieren zichtbaarder maken voor hun predatoren, maar kan ze ook naar verlichte wegen lokken waar hen een gewisse dood wacht. Anderzijds is het zoeken naar prooien in de voortplantingsperiode van secundair belang, waardoor ook de reactie van amfibieën op nachtelijk kunstlicht anders is.

- In Nederland heeft een studie naar de golflengte van het licht aangetoond dat gewone padden tijdens de voortplantingstrek met wit of groen licht verlichte zones vermijden, en eerder op zoek gaan naar niet-verlichte zones. In rood licht gehulde zones krijgen een gemiddelde vermijdingsscore. De onderzoekers leidden hieruit af dat de doeltreffendheid van tunnels voor amfibieën zou kunnen worden verbeterd door alle lichten in de nabijheid ervan te doven.



Tegelijkertijd zouden de wegovertgangen die het gevaarlijkst zijn voor de dieren sterker kunnen worden verlicht (van Grunsven et al., 2016).

- Een ander onderzoek naar de gewone pad (*Bufo bufo*), dat werd uitgevoerd in Lyon, wees op een wijziging in het voortplantingsgedrag van mannetjes die waren blootgesteld aan kunstlicht vergeleken met controle-individueen die niet waren blootgesteld (later beginnen paren en stoppen met paren voordat eieren worden gelegd). Bij de koppeltjes waarvan de mannetjes waren blootgesteld aan nachtelijk kunstlicht lag het aantal bevruchte eieren ook 25% lager (Touzot et al., 2020).
- Nachtelijk kunstlicht kan ook leiden tot een lagere genexpressie bij de kikkervisjes van de gewone pad, vooral van genen die betrokken zijn bij het aangeboren immuunsysteem en bij het lipidenmetabolisme. Hoe sterker de lichtintensiteit, hoe sterker de gevolgen op het vlak van de genexpressie (Touzot et al., 2021).

2.5. Planten

Planten zijn nauw verbonden met het licht, en niet alleen om aan fotosynthese te doen. Het licht regelt alle biologische ritmes van de plant: het groeien van de stengels en de bladeren, de kiemvorming, het ontluiken van de bloemen, de rustperiode in de winter ... Verschillende golf lengtes van het licht bepalen al deze fysiologische processen, vooral het blauw, rood en infrarood licht.

Het is niet gemakkelijk te begrijpen wat de impact is van het nachtelijk kunstlicht op de planten, omdat rekening moet worden gehouden met tal van variabelen: de intensiteit, de ruimtelijke spreiding en de spectrale distributie van het licht, de duur en het moment van de blootstelling enz. (Chaney, 2002; Bennie et al., 2016).

- Uit onderzoek van Constant *et al.* (2016) in Groot-Brittannië blijkt dat knoppen gemiddeld 7,5 dagen eerder kunnen verschijnen in zones die zijn blootgesteld aan nachtelijk kunstlicht, vooral bij soorten die laat uit de knop komen. Bennie *et al.* (2016) verkregen een coherent resultaat: stadsbomen die dichtbij ledlampen staan, blijken met twee weken tijdsverschil uit te botten. Dit fenomeen kan een sneeuwbaaleffect hebben voor de biodiversiteit: wanneer plantenende larven en rupsen verschijnen en op zoek gaan naar voedsel, vinden ze mogelijk alleen nog de minst verteerbare bladeren die al beter beschermd zijn door tannines (French-Constant *et al.*, 2016). En als bloemen vervroegd uitkomen, zijn er mogelijk nog geen bestuivers aanwezig, vooral voor soorten met gespecialiseerdere relaties waarvoor deze synchronisatie belangrijk is. Bloemen die niet bestoven zijn, zullen geen vruchten dragen die als voeding zouden dienen voor tal van dieren (insecten enz.). Deze fenomenen kunnen een impact hebben op bloemengemeenschappen omdat de soorten of individuen die minder gevoelig zijn voor kunstlicht in het voordeel zijn (Hölker *et al.*, 2010).
- 's Nachts liggen de fotosynthese en dus de groei stil. Maar de groeidagen van bomen die zijn blootgesteld aan nachtelijk kunstlicht worden net langer: sterk blootgestelde bomen kunnen tot later in het seizoen in het blad blijven staan. Indien het fotosyntheseproces 's nachts niet wordt stilgelegd, betekent dit dat de poriën van de bladeren open blijven, en dus doorlopend blootgesteld aan luchtvervuiling en waterstress (Chaney, 2002). Daarnaast neemt het energieverbruik toe, wat de boom kwetsbaar kan maken voor ziektes of vorst (Matzke 1936, Hölker *et al.*, 2010). Volgens Bennie *et al.* (2016) blijft de impact van het nachtelijk kunstlicht op het fotosyntheseproces echter beperkt tot de bladeren in de directe nabijheid van de lichtbron.
- Sommige boomsoorten lijken gevoeliger voor direct licht dan andere. Dit verschijnsel werd waargenomen in Europa op de plataan (*Platanus* sp.) (Matzke 1936), de witte paardekastanje (*Aesculus hippocastanum*) en de ruwe berk (*Betula pendula*) (Bennie *et al.*, 2016; Chaney, 2002).



3. Samenvatting van de impact

3.1. Ontregeling van de biologische klok van de dieren

De biologische klok werkt volgens een dagelijks dag-nachtritme (24-uurritme). Indien de verlichting in het territorium van dagdieren de hele nacht blijft branden, kan dit hun actieve periode verlengen, en dus hun rustperiodes verkorten. Bij nachtdieren is het omgekeerde het geval: ze ontwaken later en worden ook later actief.

De biologische klok stemt het functioneren van een individu ook af op het jaarlijkse ritme van de seizoenen. Dieren die de winter in lethargie doorbrennen, vatten hun winterslaap mogelijk pas later in het jaar aan indien ze constant blootgesteld zijn aan nachtelijk kunstlicht. Aangezien de beschikbare hoeveelheid voedsel al aanzienlijk is geslonken, kan dit een invloed hebben op de voorraden die zijn aangelegd voor de winter. Het resultaat kan merkbaar worden op het einde van de winter en in het begin van de lente, vooral bij de vrouwtjes. Zij kunnen vertraging oplopen bij de voorbereiding van de voortplanting, met alle gevolgen die dit kan hebben voor de jongen die geboren zullen worden.

3.2. Aanzuigeffect

Nachtverlichting werkt als een magneet voor een deel van de dieren die in de omgeving leven. Gevolg: door het nachtelijk kunstlicht, dat vaak van ver zichtbaar is, zitten er letterlijk geen door het licht aangetrokken dieren meer in de niet direct verlichte omgeving.

3.3. Barrière-effect

Nachtverlichting werkt als een onoverkomelijke barrière voor heel wat dieren die het licht ontvluchten (lichtschuwe dieren).

Ook in het water is er een ernstige verstoring door nachtelijk kunstlicht: de aquatische micro-organismen stijgen 's nachts naar het wateroppervlak om zich te voeden en zakken bij daglicht weer naar de diepte. Door het nachtelijk kunstlicht zoeken ze veel minder het wateroppervlak op. Deze afwezigheid van beweging naar het wateroppervlak heeft gevolgen voor de hele aquatische voedselketen en op termijn zelfs voor de kwaliteit van het water.

3.4. Desoriënterend effect

Nachtverlichting zendt golven uit die dieren op een dwaalspoor brengt: dit lijkt vooral zo te zijn voor trekvogels die in een sterk verlicht gebied terechtkomen (interferentie van de lichthalo van steden met de oriëntatiepunten van de vogels).

3.5. Verstoring van de voortplanting en van de verschillende fysiologische processen

De effecten van het nachtelijk kunstlicht voor de fysiologische processen zijn talrijk: verstoring van de productie van melatonine bij zoogdieren, verstoring van de fysiologische processen bij planten, impact op de voortplanting van insecten enz.

3.6. Effect op de verspreiding van de voedingsbronnen

Predatoren die door het licht worden aangetrokken, hebben meer kans om in de nabijheid van de verlichte zone prooien te vinden die eveneens door het licht worden aangetrokken. De predatoren die het licht ontvluchten hebben daarentegen minder prooien tot hun beschikking in de duistere zones die gelegen zijn in de nabijheid van verlichte zones (aanzuigeffect).



3.7. Sneeuwbaaleffect op de ecosystemen

De problemen die lichtvervuiling voor een soort veroorzaakt, hebben een sneeuwbaaleffect voor alle verbonden soorten, doorheen de hele voedselketen, en verstoren uiteindelijk het hele ecosysteem.

Bestuiving is een fenomeen dat deels 's nachts plaatsvindt. Onderzoek (Knop *et al.*, 2017) heeft het risico aangetoond, dat verbonden is aan lichtvervuiling, van een sneeuwbaaleffect voor de populaties van bestuivers. Een permanent verlicht weiland (weiland 1) werd vergeleken met een weiland met een normale afwisseling van dag en nacht (weiland 2). Het eerste weiland kreeg 's nachts 62% minder bestuivers (nachtvlinders, bepaalde kevers) op bezoek dan het tweede. Hierbij werd vastgesteld dat de productie van vruchten door de bloemen 13% lager lag, zelfs bij aanwezigheid van dagbestuivers. De sterke daling van het aantal nachtelijke bestuivers werd dus onvoldoende gecompenseerd door de dagbestuivers om een gelijkwaardige voortplanting van de planten te krijgen op weiland 1 en weiland 2. De daling van het voortplantingssucces van de planten kan dus op termijn leiden tot een daling van de voedselbronnen voor de bestuivers en hun populaties in gevaar brengen. Deze studie heeft voor de eerste keer aangetoond dat kunstlicht zowel een directe als een indirecte impact kan hebben op de bestuiving van bloemen.

3.8. Een bijkomende druk op de biodiversiteit

Vanuit biologisch oogpunt heeft nachtverlichting tal van gevolgen: een toename van de predatie of het roven, een hogere sterftegraad, een daling van de voortplanting en een daling van de genetische diversiteit. Elk van deze gevolgen kan kleine populaties van diersoorten doen uitsterven. De versnippering van de dierenpopulaties in steeds kleinere stukjes is voor een groot aantal soorten een steeds zorgwekkender probleem, vooral in een ruimte die zo beperkt is als het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. De minst mobiele dieren zijn diegene die het meest zijn blootgesteld aan de gevolgen van een nachtelijke kunstmatige verlichting. Hoe hoger het risico op verstoringen, hoe hoger het risico dat een soort plaatselijk uitsterft.

Nachtelijk kunstlicht vormt dus een milieuhinder bovenop de andere factoren die verantwoordelijk zijn voor het verlies aan biodiversiteit: versnippering en achteruitgang van habitats, klimaatopwarming, chemische vervuiling, invasieve uitheemse soorten ...

4. Welk licht voor welke hinder?

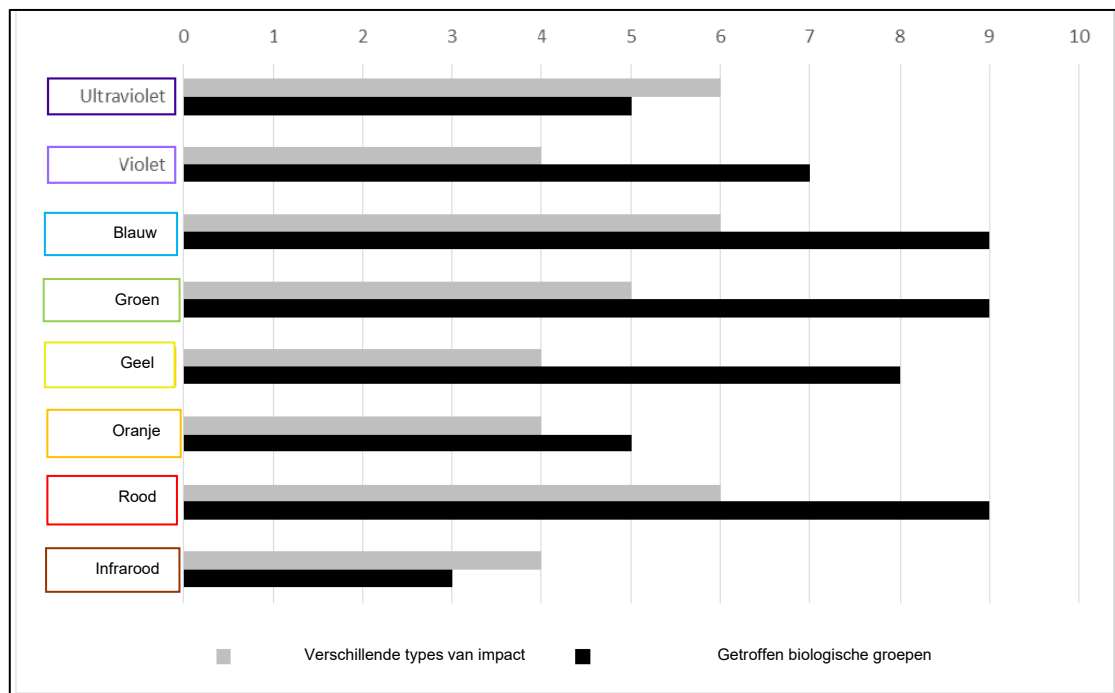
Tal van factoren beïnvloeden de impact van de lichtvervuiling op levende organismen: de intensiteit, de samenstelling van het spectrum, het moment en de duur van de verlichting, de hoogte en de oriëntatie van de lichtbron, het verlichte oppervlak (Sordello, 2017), het type van lamp.

- **Hoogte en oriëntatie:** hoe hoger de lichtbron, hoe groter het risico van verstoringen. Licht dat in alle richtingen schijnt, zal ook meer impact hebben dan licht dat uitsluitend naar de grond gericht is.
- **Duur en intensiteit:** hoe langer de verlichtingsduur en hoe groter de lichtintensiteit, hoe zwaarder de effecten. Dit is vooral zo als de habitats van de soorten klein zijn: hoe kleiner de habitat van een individu, hoe groter het risico van verstoring door nachtelijke verlichting.
- **Golflengte:** sommige soorten lijken gevoeliger voor bepaalde types van lampen dan voor andere. Dieren hebben verschillende zichtsysteem, vooral afhankelijk van het feit of ze dag- of nachtdieren zijn. Op basis van de bibliografische onderzoeken van Musters *et al.* (2009) heeft Sordello (2017) een tabel opgesteld met de impact van de verschillende golflengtes voor een reeks soortengroepen. De balans is alarmerend: **alle golflengtebereiken hebben een impact op de flora en/of de fauna.**



Figuur 24.1. Aantal biologische groepen en types van impact voor elk golflengtebereik volgens de resultaten van Musters *et al.* (2009)

Bron: Sordello 2017



Volgens de tabel van Sordello die gebaseerd is op het onderzoek van Musters:

- blauw, rood en ultraviolet licht hebben de meeste verschillende vormen van impact op de soorten;
- blauw, groen, rood en geel zijn de golflengtebereiken met gevolgen voor het grootste aantal soortengroepen;
- Infrarood en, in mindere mate, oranje zijn de twee golflengtebereiken met het kleinste aantal verschillende gevolgen voor de soortengroepen (waarbij infrarood geen deel uitmaakt van het voor de mens zichtbare lichtspectrum).

Hoewel de studie van Musters een aantal methodologische beperkingen inhoudt (ouderdom van de bronnen die werden gebruikt voor een onderwerp in volle expansie, tal van studies over het onderwerp die werden gepubliceerd sinds 2005, ontbreken van kritische analyse over de geselecteerde publicaties), illustreren de recente publicaties goed de ecologische impact van de lichtvervuiling en het feit dat alle soortengroepen op uiteenlopende manieren worden getroffen.

- Type van lampen: om redenen van energiebesparing en duurzaamheid worden de oude lampen (de klassieke gloeilampen, halogeenlampen, metaaljordidelampen enz.) steeds meer vervangen door elektroluminiscente dioden of ledlampen.
- Een eerste studie naar de impact van witte ledlampen (phosphor-coated white LED) wijst alvast op een hoger risico voor insecten. Van twee groepen, de lepidoptera (vlinders) en de diptera (vliegen enz.), werd 48% meer van de insecten aangetrokken door het witte ledlicht dan door de natriumlampen. De studie kon niet verklaren waarom twee insectengroepen in het bijzonder meer werden aangetrokken door het ledlicht. Andere studies zijn nodig om dit fenomeen te begrijpen (Pawson *et al.*, 2014).
- In het kader van een studie die in het bijzonder betrekking had op fotosynthese en de afbraak van melatonine werden verschillende types van lampen vergeleken: lage- en hogedruk natriumlampen en verschillende types van ledlampen, waaronder amberkleurige ledlampen. De lagedruk natriumlampen en bepaalde ledlampen (phosphor-converted amber light emitting diodes, 5000 k-filtered en 2700 k-filtered) toonden een gelijkaardige of lagere impact op de afbraak van melatonine en op de fotosynthese dan de hogedruk natriumlampen (Aubé *et al.*, 2013).



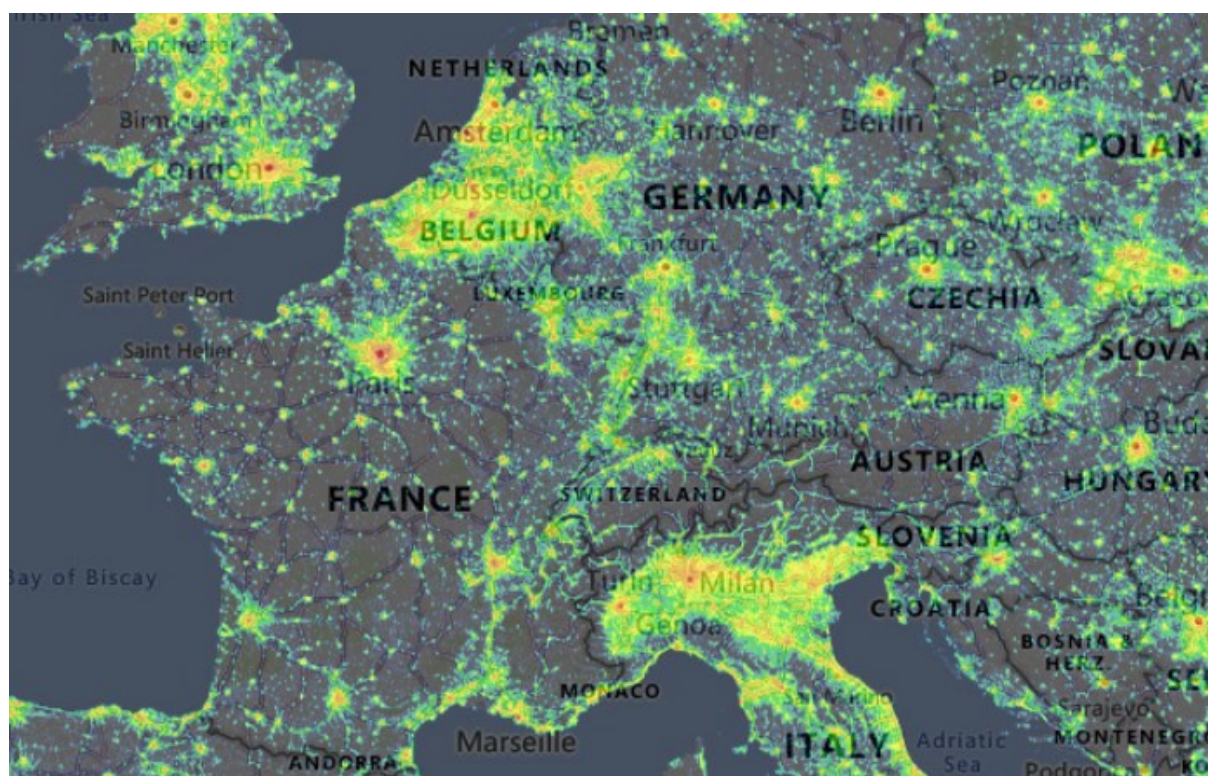
5. Wat is de toestand in Brussel?

Buiten de inventarissen van de infrastructures voor openbare verlichting zijn er maar weinig gegevens beschikbaar om de lichtvervuiling in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest in cijfers uit te drukken. De foto's die 's nachts werden genomen, tonen evenwel aan dat Brussel en omgeving sterk verlicht zijn. Vooral de verkeersaders, de industriegebieden en logistieke centra en de gevels van monumenten worden verlicht (NARA 2012).

Volgens Canopea, dat zich hiervoor baseert op lightpollution.info, is België het Europese land dat het meest is vervuuld door kunstlicht, na Malta en Nederland, met een stijgende trend van gemiddeld 1,39% per jaar. Hoewel de aandacht voor en de erkenning van de schadelijke effecten van nachtelijke kunstverlichting op de fauna en de flora toenemen en de verlichtingsinstallaties steeds beter worden ontworpen op het vlak van verbruik en doeltreffendheid, kunnen we een "rebound effect" verwachten (neiging om meer energiezuinige verlichting te plaatsen) (Canopea, 2022).

Figuur 24.2. Kaart van de lichtvervuiling in Europa

Bron: lightpollution.info

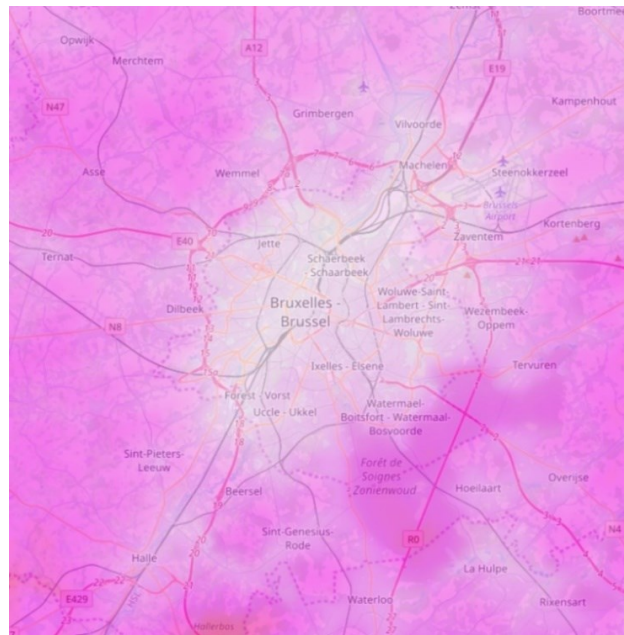




Figuur 24.3. Kaart van de lichtvervuiling in het Brussels Gewest en omgeving opgesteld door de AVEX

Bron: AVEX (Franse vereniging voor astronomie) 2016

In de magenta gebieden zijn slechts 50 tot 100 sterren zichtbaar. In de witte gebieden zijn het er 0 tot 50. Ter vergelijking, in de minst “vervuilde” gebieden zijn meer dan 5 000 sterren zichtbaar en verspreidt de lichtvervuiling zich niet boven de 8° aan de horizon. De lichtvervuiling is dus alomtegenwoordig op het grondgebied van het gewest.



De kaart van de AVEX (Figuur 24.3) toont dat de verlichtingsniveaus het hoogst zijn in het grootste deel van het grondgebied van het Gewest en zijn omgeving. Er zijn vrijwel geen sterren meer zichtbaar aan de nachtelijke hemel.

In de bossen en wouden is er doorgaans geen verlichting, zodat het nachtelijk leven er ongestoord zijn gang kan gaan. Samen met de open plekken herbergen de randen van de bosmassieven een bijzonder hoge biodiversiteit. Aangezien ze ook gelegen zijn aan de rand van de wegen ondergaan ze echter de effecten van de verlichting van het wegennet. De dichtheid van het wegennet is zodanig in het Brussels Gewest dat tal van ontwikkelingsgebieden (en zelfs centrale gebieden van het ecologisch netwerk) minstens aan de rand te maken krijgen met dit type van verontreiniging ([zie de interactieve kaart van het Brussels ecologisch netwerk](#)). De meer stedelijke groene ruimten zijn dan weer vaak gelegen in een omgeving die sterk is blootgesteld aan kunstlicht (NARA 2012).

Het ecologisch netwerk bestaat uit drie types van gebieden:

Centrale gebieden: gebieden met een (heel) grote biologische waarde die in belangrijke mate bijdragen aan de bescherming van de soorten (natuur- of bosreservaten, Natura 2000-gebieden);

Ontwikkelingsgebieden: uitbreidingsgebieden van de centrale gebieden die een hoge biologische waarde hebben of kunnen hebben, of die dit kunnen krijgen door een passend onderhoud of de juiste aanlegwerken;

Verbindingsgebieden: gebieden met een beperkte oppervlakte of met een lineair karakter in het landschap. Ze zorgen er met name voor dat de soorten zich kunnen verplaatsen tussen de centrale gebieden en de ontwikkelingsgebieden. Ze vormen een ecologisch netwerk.



6. Concrete projecten die worden opgezet in het Brussels Gewest

6.1. Verlichting op maat van het Rood Klooster

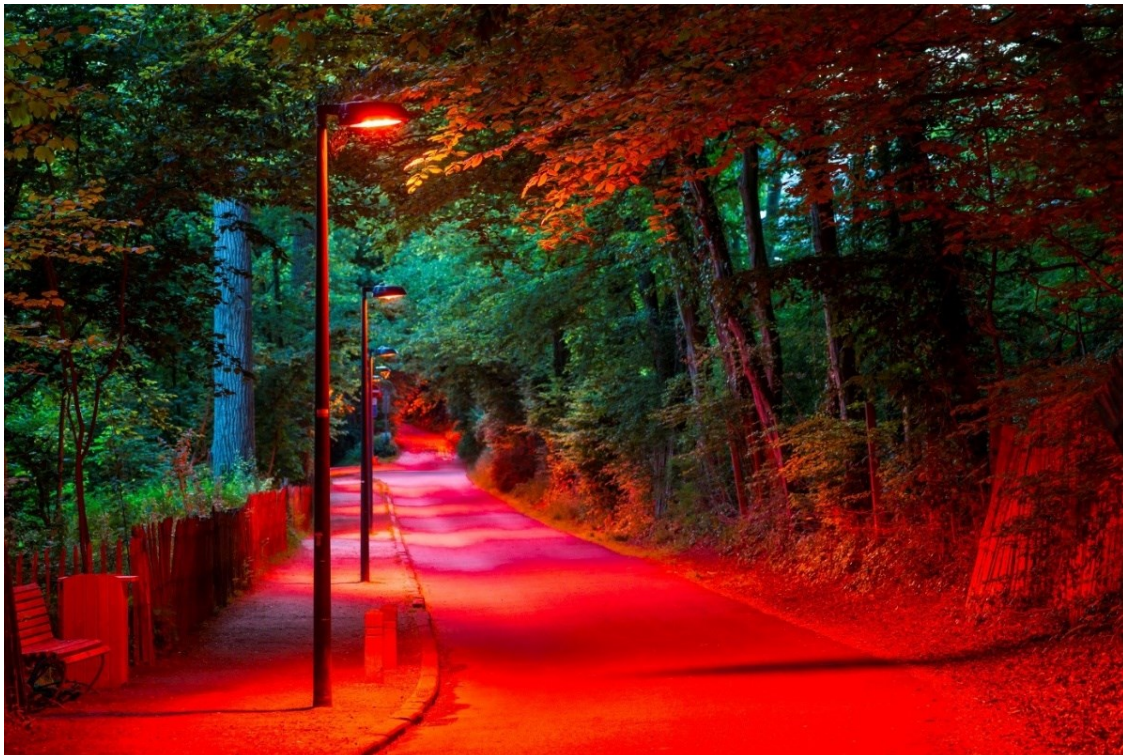
De site van de oude priorij van het Rood Klooster (Oudergem) bestaat uit een opeenvolging van poelen en vijvers aan de rand van het Zoniënwoud. De gebouwen liggen in het midden van de site en zijn omgeven door een omheiningsmuur. De Rood-Kloosterstraat voert wandelaars van de Tervuursesteenweg tot aan de omheiningsmuur. De straat langs de twee vijvers stroomafwaarts van de site maakt deel uit van een Natura 2000-gebied aan de rand van het bosreservaat.

In samenwerking met Sibelga en Leefmilieu Brussel heeft de gemeente Oudergem, die eigenaar is van een groot deel van de straat, de verouderde verlichting, die wit of geelachtig was afhankelijk van de straatlantaarns, vervangen in de lente van 2016.

Deze nieuwe openbare verlichting geeft de weggebruikers het comfort van straatverlichting zonder evenwel de vleermuizen te hinderen. Dit type van verlichting, dat is ontworpen in samenwerking met chiropterologen (vleermuizenspecialisten), is een vrij recente technologie die werd ontwikkeld in Nederland. De ledverlichting is amberkleurig omdat dit de golflengte blijkt te zijn die het minst schadelijk is voor de vleermuizen en tegelijk ook de mens niet hindert: deze lichtkleur stelt nachtelijke wandelaars in staat zich vlot te verplaatsen (en dus onregelmatigheden in de weg te zien ...) en mensen die op hen toe komen lopen te herkennen, zonder verblind te worden. De ledtoestellen zijn ook uitgerust met variabele lichtsterkeregeling en worden van op afstand bediend. De lampen hebben geen UV-straling en trekken dus geen nachtvlinders aan, die zich zouden kunnen uitputten en sterven onder de lantaarnpalen.

Figuur 24.4. Plaatsing van amberkleurig licht in de Rood-Kloosterstraat in 2016

Bron: SIBELGA





6.2. En op het Vorsterieplateau

Na de ervaring in Rood Klooster werd in 2018 een gelijkaardige verlichtingsinstallatie geplaatst langs het Vorsterieplateau (Watermaal-Bosvoorde), dat eveneens gelegen is aan de rand van het Zoniënwood en is ingedeeld als Natura 2000-gebied. De dreef werd over een afstand van ongeveer 200 meter uitgerust met amberkleurige lichten, in een eerste stuk op palen van 4 meter hoog en in een tweede stuk in verlichtingsbakens van 1 meter hoog die de grond verlichten. De installatie wordt 's nachts automatisch gedoofd. Dit project is het resultaat van een samenwerking tussen de gemeente Watermaal-Bosvoorde, Sibelga en Leefmilieu Brussel.

6.3. Het “Bat Light District” van Jette

Een vleermuizenmonitoring werd uitgevoerd door Plecotus (vleermuizenwerkgroep van Natagora) in opdracht van Leefmilieu Brussel. Doel was vooral de follow-up van de Natura 2000-habitats en de vijvers, om te voldoen aan de Europese verplichtingen. Aangezien de stedelijke matrix tussen de Natura 2000-gebieden en de vijvers nog onbekend terrein was, vroeg Leefmilieu Brussel Plecotus om een manier te vinden om de kennis over de activiteit van de vleermuizen in enkele wijken gelegen tussen de twee Natura 2000-gebieden te verbeteren. In dit kader werd een samenwerking tussen de gemeente Jette, Sibelga, Leefmilieu Brussel en Plecotus opgezet met het doel een methode te testen om de donkere corridors die interessant zijn voor de vleermuizen gemakkelijk te herkennen.

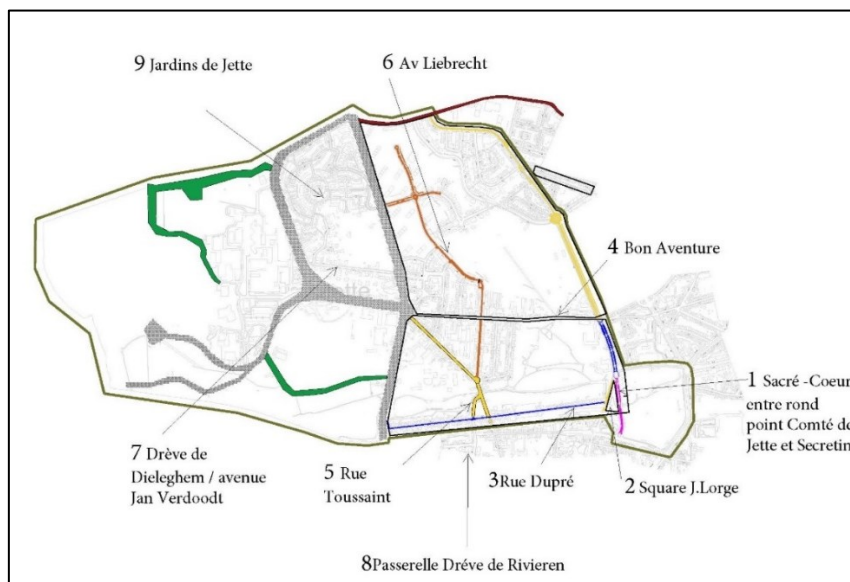
Aan de hand van de resultaten van deze studie (Brabant et al., 2019) konden de betrokken gebieden in kaart worden gebracht. Ze vormen een goede basis om de bescherming van de vleermuizen te integreren in de projecten van vernieuwing van de verlichting die worden gepland door de gemeente Jette en Sibelga.

Sinds april 2021 werd een dertigtal straatlampen in de Heilig-Hartlaan in Jette uitgerust met een oranje nachtverlichting (led), wat een primeur is voor de Brusselse woonwijken.

Figuur 24.5: Het “Bat light district” in Jette

1 Heilig-Hartlaan tussen rotonde Graafschap Jette en Secrétinlaan / 2 J. Lorgesquare / 3 Dupréstraat / 4 Bonaventurestraat / 5 Toussaintstraat / 6 Liebrechtlaan / 7 Dieleghemdreef-Jan Verdoodtlaan / 8 Loopbrug De Rivierendreef / 9 Jetse tuinen

Bron: Plecotus (Natagora)





Uit tellingen is gebleken dat de Heilig-Hartlaan, tussen het Jeugdпарк en het Koning Boudewijnpark, op de vliegroute van de vleermuizen ligt. Doordat steeds meer holle bomen, heggen ... verdwijnen en daken geïsoleerd worden, vinden de vleermuizen steeds minder schuilplaatsen. Het is dan ook belangrijk hun habitats te beschermen, maar ook hun jachtgebieden en de trajecten die ze afleggen tussen beide.

De gemeente is met haar 117 ha aan groene ruimten, waaronder het Koning Boudewijnpark en het Laarbeekbos, een van de groenste van het Gewest, en dus een belangrijke troef voor de instandhouding van de biodiversiteit. De oranjeachtige nachtelijke verlichting zal bijdragen aan de bescherming en de ontwikkeling van de natuur in de stad, net als in het Rood Klooster en op het Vorsterieplateau. Voor de weggebruikers zal ze even doeltreffend zijn als de traditionele witte nachtverlichting. Indien het proefproject langs de Heilig-Hartlaan positief blijkt, zal dit type van nachtverlichting worden geïntegreerd in de andere ruimten die worden aangedaan door vleermuizen in Jette of elders in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Het project omvat een monitoring van de vleermuizen voor/na de plaatsing van nieuwe verlichting, met het doel de doeltreffendheid ervan te beoordelen.

6.4. Maatregelen getroffen in de parken onder het beheer van Leefmilieu Brussel

De nachtelijke verlichting van de parken onder het beheer van Leefmilieu Brussel heeft verschillende belangrijke en actuele maatschappelijke aspecten die soms tegenstrijdig lijken:

- rationeel energiegebruik, door het gebruik van verlichting die minder energie verbruikt en minder intense verlichting (dimming);
- bescherming van de nachtelijke biodiversiteit (vossen, vleermuizen, insecten ...) door in bepaalde zones na middernacht de lichten uit te schakelen (in de Natura 2000-gebieden bijvoorbeeld);
- rekening houden met de (werkelijke of aanvoelde) onveiligheid in de doorgangsruidten, de wandelwegen en de parken.

In de gebieden met een hoge biologische waarde (bossen, natuurreservaten, Natura 2000-gebieden ...) legt het juridisch kader op dat geen verlichting mag worden gebruikt of dat de lichten aan de rand van het gebied na een bepaald uur moeten worden gedoofd. De verlichting wordt er zo geprogrammeerd dat ze wordt gedoofd tussen middernacht en zes uur 's morgens.

Op andere plaatsen wordt de verlichting beheerd volgens de astronomische klok, zodat ze aangaat wanneer de zon ondergaat en wordt gedoofd wanneer de zon opkomt.

In een aantal grote stadsparken (zoals het Elizabethpark in Koekelberg) neemt de lichtsterkte geleidelijk af na 22 uur 's avonds om energie te besparen, met behoud van een minimale verlichting na een bepaald uur. Hier wordt het "dimming"-principe toegepast, dat een minimale verlichting garandeert en tegelijk de lichtvervuiling beperkt, alsook de verspilling van energie die nog slechts ten goede komt aan een klein aantal personen waarvan de veiligheid moet worden gegarandeerd.

De uitvoering van dit type van voorziening is soms complex in de beschermde parken met specifieke palen en lantaarns (in gietijzer en edele materialen). Eigentijdse voorzieningen maken het daarentegen mogelijk van meet af aan intelligente verlichting te plaatsen die gebruik maakt van nieuwe technologieën (bewegingsdetectie, geolokalisatie van op afstand, dimming enz.). Dergelijke installaties werden in gebruik genomen in 2016/2017 in de parken van Lijn 28 en de groene doorgang op de site van Thurn & Taxis. Dit type van intelligente verlichting is bijzonder goed geschikt voor de zones die "gevoelig" zijn vanuit veiligheidsoogpunt: de verlichting gaat aan bij detectie van personen van meer dan 50 kg en wordt zodra deze persoon weer weg is gedoofd, zodat de nachtelijke fauna (van minder 50 kg) zich nog altijd kan verplaatsen langs de ecologische dreven en doorgangen.



6.5. Ontwerp van een sterrennetwerk

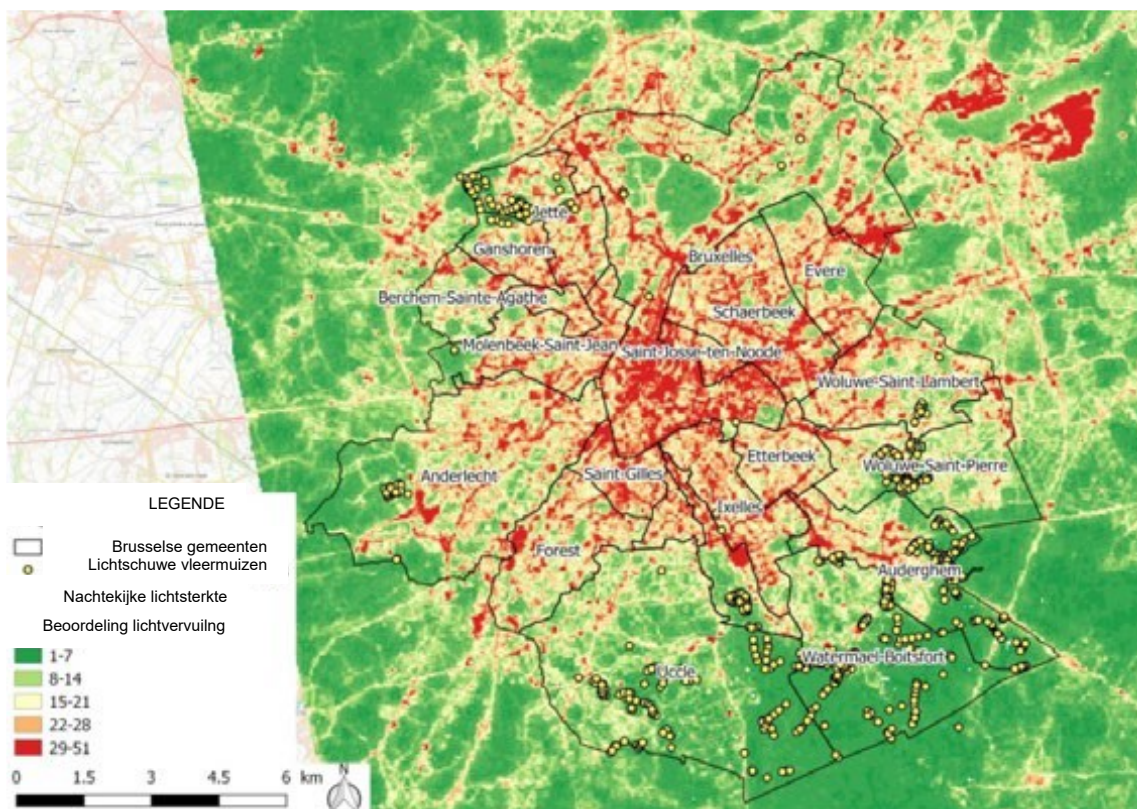
In het kader van de studie die de resultaten van de vleermuizenmonitoring in het Gewest analyseert en interpreteert (Brabant et al., 2019), werd in 2018 een kaart van de lichtvervuiling opgesteld. Deze kaart geeft een eerste beeld van de omvang van het probleem, maar maakt nog geen nauwkeurige analyses mogelijk. Door aanpassing van de verlichting in de corridors die de jachtgebieden van de vleermuizen verbinden, kan een “sterrennetwerk” (of donker netwerk) worden gecreëerd.

Alle vleermuizen genieten een strenge bescherming en bepaalde soorten zijn van gemeenschappelijk belang, wat de aanduiding van Natura 2000-gebieden verantwoordt. Voor alle aangeduide SBZ's (speciale beschermingszones) (3 in het Gewest) moeten instandhoudingsdoelstellingen worden vastgelegd: zie pagina Aanduiding van de gebieden). Deze instandhoudingsdoelstellingen omvatten maatregelen die verband houden met de luchtvervuiling.

Op dit moment wordt gewerkt aan een methode voor de betrokken gebieden in het kader van de opdracht voor vleermuizenmonitoring van Leefmilieu Brussel in samenwerking met Plecotus/Natagora. Deze opdracht focust vooral op de Natura 2000-habitats en de vijvers om te voldoen aan de monitoringverplichtingen die voortvloeien uit de Europese richtlijn. Het proefproject Bat Light District verbindt twee Natura 2000-gebieden in de stedelijke matrix.

De potentiële jachtgebieden van de lichtschuwe vleermuissoorten werden gedefinieerd om “overwogen zones” vast te leggen voor het “sterrennetwerk”. Hiervoor werden twee SIG-lagen geselecteerd: de geografische spreiding van de aaneengesloten natuurlijke gebieden van meerdere hectaren en de nachtelijke lichtsterkte (laag geleverd door een 's nachts genomen satellietbeeld).

Figuur 24.6. Locaties van de waarnemingen van lichtschuwe vleermuissoorten
Bron: Natagora (Studie van de lichtvervuiling)

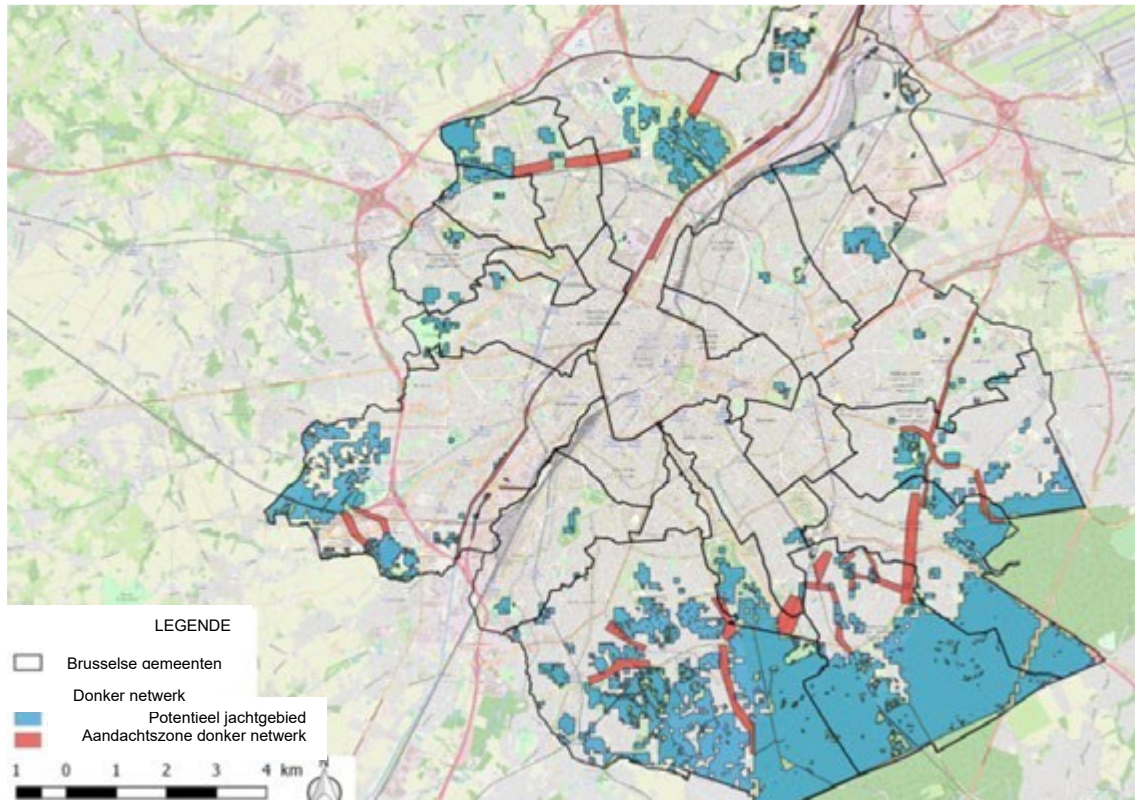




De lichtschuwe vleermuissoorten worden vooral aangetroffen aan de rand van het Brussels Gewest.

Figuur 24.7. Kaart van de overwogen zones voor een sterrennetwerk in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Bron: Natagora (Nota over de uitdagingen op het vlak van verlichting in de Brusselse kanaalzone)



De zones in het blauw op bovenstaande kaart zijn de jachtgebieden die voldoende groot en donker zijn om als jachtgebied te worden gebruikt door lichtschuwe soorten. De in het rood op de kaart aangeduide corridors werden voorgesteld op basis van deze gegevens om de versnippering van deze natuurlijke gebieden te beperken en ze onderling te verbinden.

Bronnen

1. ANSES, Effets sur la santé humaine et sur l'environnement des systèmes utilisant des LED, Expertise Anses 2019, Persdossier.
2. ASCEN asbl, 2014, Impact environnementaux de la pollution lumineuse, 20 p.
3. AUBE M., ROBY J., KOCIFAJ M., Evaluating Potential Spectral Impacts of Various Artificial Lights on Melatonin Suppression, Photosynthesis, and Star Visibility, PLoS ONE 8(7): e67798.
4. AZAM, C., Impacts of light pollution on bat spatiotemporal dynamics in France: implications for outdoor lighting planning. Ecology, environment. Museum national d'histoire naturelle - MNHN PARIS, 2016.
5. BENNIE J., DAVIES T.W., CRUSE D., GASTON K.J., Ecological effects of artificial light at night on wild plants, Journal of Ecology 2016, 104, 611–620, 10 p.
6. BESNARD A., BOURGEOIS M., 2019. Etude sur l'impact de la pollution lumineuse sur l'avifaune en Gironde, LPO Délégation territoriale Aquitaine, 45 p.
7. BRABANT C., NYSSSEN P., WEISERBS A. & SAN MARTIN G., 2019. "Analyse des données de monitoring et développement de critères pour l'état de conservation local des Chiroptères en Région de Bruxelles-Capitale", studie uitgevoerd door Natagora in opdracht van Leefmilieu Brussel..



8. LEEFMILIEU BRUSSEL, 2012, Rapport over de staat van de natuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.
9. BOYES D.H., EVANS D.M., FOX R., PARSONS M.S., POCOCK M.J.O., Street lighting has detrimental impacts on local insect populations, Science Advances, 2021.
10. LEEFMILIEU BRUSSEL, infofiche "Lichtverontreiniging".
11. CANOPEA, 2022, La sombre époque des lumières. Focus sur la pollution lumineuse.
12. CHANEY W.R., Does Night Lighting Harm Trees?, Purdue University Extension Forestry and Natural Resources, 2002.
13. DE MOLENAAR J.G., Lichtbelasting - Overzicht van de effecten op mens en dier; Alterrapport 778 (2003, 72 pagina's).
14. DOMINIONI, D., QUETTING, M., PARTECKE, J., Artificial light at night advances avian reproductive physiology, Proceedings of the Royal Society B, vol 280, Issue 1756, 7 april 2013.
15. Eisenbeis et Hassel (2000) in Sibley J.-Ph. (2008), Rapport MNHN-SPN / MEEDDAT n°8, Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Synthèse bibliographique.
16. FALCHI F., CINZANO P., DURISCOE D., KYBA C.C.M., ELVIDGE C.D., BAUGH K., PORTNOV B.A., RYBNIKOVA N.A., FURGONI R., Un nouvel atlas mondial de la luminosité artificielle du ciel nocturne, Science Advances, 10 Juin 2016, Vol. 2, no. 6, e1600377, 23 p.
17. FRENCH-CONSTANT R.H., SOMERS-YEATES R., BENNIE J., ECONOMOU T., HODGSON D., SPALDING A., MCGREGOR P.K., 2016, Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. Proc. R. Soc. B 283: 20160813.
18. HOLKER, F., WOLTER, C., PERKIN E.K., TOCKNER K., 2010, Light pollution as a biodiversity threat, Trends in Ecology & Evolution, 25, 12, pp. 681-682.
19. JEDIDI H., DEPIERREUX F., JEDIDI Z., BECKERS A., La pollution lumineuse, Entre écologie et santé, Rev Med Liège 2015; 70: 11: 557-562, 6 p.
20. KEMPENAERS B., BORGSTRÖM P., LOË P., SCHLICHT E., VALCU M., Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds, Current Biology 20, 1735–1739, October 12, 2010 Elsevier, 5 p.
21. KNOP E., ZOLLERA L., RYSERA R., GERPEA C., HORLERA M., FONTAINE C., 2017, Artificial light at night as a new threat to pollination, Nature.
22. KYBA C.M., KUESTER T., SANCHEZ DE MIGUEL A., BAUGH K., JECHOW A., HÖLKER F., BENNIE J., ELVIDGE C.D., GASTON K.J., GUANTER L., Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent, Science Advances, 22 november 2017.
23. LE TALLEC T., PERRET M., THERY M., Light pollution modifies the expression of daily rhythms and behavior patterns in a nocturnal primate, Plos one, 2013.
24. NATAGORA, Un éclairage pour protéger la faune en milieu urbain, Persbericht, 30 april 2021.
25. NATAGORA, Étude de la pollution lumineuse.
26. OWENS A.C.S., COCHARD P., DURRANT J., FARNWORTH B., PERKIN E.K., SEYMOUR B., 2020, Light pollution is a driver of insect declines, Biological Conservation, Volume 241.
27. PAWSON, S.M., BADER, M.K.-F., LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature, Ecological Applications, 24(7), 2014, pp. 1561 – 1568.
28. RAAP T., EENS M., PINXTEN R., 2017. Effects of artificial light at night on behaviour and physiology of free-living songbirds, Scientific reports. 5, 13557.
29. SHUBONI D., YAN L., Nighttime dim light exposure alters the responses of circadian system, Neuroscience, 2010, 170, 1172-1178.
30. SIERRA A., ERHARDT A., 2019. Light pollution hampers recolonization of revitalized European Nightjar habitats in the Valais (Swiss Alps). J. Ornithol. 160, 749-761.
31. SORDELLO R., Longueurs d'ondes impactantes pour la biodiversité. Exploitation de la synthèse bibliographique de Musters et al. (2009), UMS 2006 Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN. Rapport Patrinat n°2017-117. 18 p.
32. TEKLAL M., Gemeente Jette – Persoonlijke mededeling – 2022.
33. TOUZOT M., LENGAGNE T., SECONDINI J., DESOUHANT E., THERY M., DUMET A., DUCHAMP C., and MONDY N., 2020. Artificial light at night alters the sexual behaviour and fertilisation success of the common toad. Environ Pollut **259**:113883.



34. TOUZOT M., LEFEBURE T., LENGAGNE T., SECONDI J., DUMET A., KONECNY-DUPRE L., VEBER P., NAVRATIL V., DUCHAMP C., MONDY N., 2021. Transcriptome-wide deregulation of gene expression by artificial light at night in tadpoles of common toads
35. VAN GRUNSVEN R.H.A., CREEMERS R., JOOSTEN K., DONNERS M., VEENENDAAL E.M., Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle, Amphibia-Reptilia, 2016, 7 p
36. VERHEGGHEN E., 2013. Pollution lumineuse et perte de biodiversité, L'Homme & l'Oiseau 2-2013, 12p

Andere fiches

- Focus: Biologische waarderingskaart (2022)
- Focus: Monitoring van de natuurlijke habitats in het Brussels Gewest (2020)
- Focus: Amfibieën en reptielen in het Brussels Gewest (2020)
- Focus: De zoogdieren in het Brussels Gewest (2020)
- Focus: Evolutie van de avifauna (2020)
- Factsheet: 23. Avifauna in gebouwen en mobilisatie voor het behoud ervan (2020)

Aanvullende informatie:

- Infociche van Leefmilieu Brussel: Technische aanbevelingen gebouwen en biodiversiteit, Een doordachte verlichting, minder schadelijk voor de fauna, 2019, 3p.
- Werkgroep Lichthinder

Auteurs van de fiche

Florence Didion, Guy Rotsaert

Herlezing

Juliette de Villers, Julien Ruelle, Guy Rotsaert