

Duisternis

Allix Brenninkmeijer
Versie 2 september 2020

1. Inleiding en achtergrond

De Basismonitoring Wadden houdt de ontwikkelingen in het waddengebied in de gaten. Het idee hierachter is, dat als de beheerders van het waddengebied de kennis en gegevens gezamenlijk verzamelen en met elkaar delen, er effectiever, efficiënter en goedkoper kan worden gemonitord. Om dit te bereiken, zijn per sleutelaspect van het waddengebied analysedocumenten opgesteld.

Doel analysedocument

Het doel van een analysedocument is om aan te geven of datgene, wat gemonitord wordt, nodig is om te beoordelen of met het gevoerde beheer de overeengekomen beleidsdoelen bereikt worden. Als tweede doel wordt geadviseerd of de huidige monitoring voldoende is of dat er een aanvullende monitoring nodig is om de beleidsdoelen te bereiken.

In dit analysedocument wordt nader ingegaan op het sleutelaspect Duisternis van de Basismonitoring Wadden. Om bovenstaand doel te bereiken, doorloopt dit document het format, zoals weergegeven in tabel 1. In hoofdstuk 2 wordt fase 1 beschreven. Hierin worden de beheer- en beleidsdoelen beschreven, alsmede de wet- en regelgeving omtrent duisternis en lichthinder. Tevens wordt ingegaan op de meetbare omschrijving van de informatiebehoefte en daaruit voortvloeiend de geschikte indicatoren. Hoofdstuk 3 gaat in op fase 2 en 3: wat en hoe wordt er gemeten en moet er nog aanvullend gemeten worden. Hoofdstuk 4 beschrijft fase 4. Dit betreft het advies voor de basismonitoring, inclusief het voorstel voor een adequaat meetprogramma voor het analyseren van de doelen, met de bijbehorende kosten en financiers. Tot slot wordt in dit hoofdstuk beschreven in welk opzicht de monitoring niet toereikend is voor het analyseren van de doelen.

Tabel 1. Beschrijving van de verschillende fasen bij het opstellen van een analysedocument.

Fasering	Inhoud per fase
Fase 1 - de wens & het conceptuele model	A. Bepalen van de informatiebehoeften vanuit beheer- & beleidsdoelen.
	B. Welke zijn meetbare omschrijvingen van die behoeften?
	C. Welke zijn geschikte indicatoren om vast te stellen in welke mate doelen zijn gerealiseerd?
Fase 2 - het wat	A. Wat wordt er al gemeten?
	B. Wat moet er nog worden gemeten?
Fase 3 - het hoe	A. Hoe meet je de parameters voor 2.B? B. Zijn die te integreren in bestaande c.q. zijn er aanvullende meetprogramma's nodig?
Fase 4 - het advies	A. Wie gaat er wat meten, waar en wanneer (ruimte en tijdschaal)? B. Wat zijn de kosten en wie zijn mogelijke financiers?

2. Informatiebehoefte en indicatoren

In hoofdstuk 2 wordt fase 1 (De wens en het conceptuele model) beschreven. Hierin worden de beheer- en beleidsdoelen beschreven, alsmede de wet- en regelgeving omtrent duisternis en lichthinder. Tevens wordt ingegaan op de meetbare omschrijving van de informatiebehoefte en daaruit voortvloeiend de geschikte indicatoren.

2.1. Informatiebehoefte vanuit beheer & beleidsdoelen

Sleutelaspect

Duisternis

Doel

Duurzame bescherming en/of een zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling van rust, weidsheid, open horizon en natuurlijkheid inclusief duisternis (bron: Structuurvisie Waddenzee¹)

1. *Wat is het probleem?*

Duisternis is één van de kernkwaliteiten van het Werelderfgoed Waddenzee. In het landelijk gebied in en rond de Waddenzee vinden vrijwel geen ontwikkelingen plaats die een negatief effect hebben op de duisternis. Dit is wel het geval in en rond het stedelijk gebied en de havens rond de Waddenzee. Daar bevinden zich een aantal lichtbronnen die vanaf de Waddenzee goed zichtbaar zijn en een aantasting of bedreiging vormen voor de duisternis (bron: ILT 2015, Royal Haskoning 2015).

We hebben echter nergens gedefinieerd hoe donker we het Waddengebied (figuur 1) willen hebben, hoe we dat gaan meten en hoe we de Wadden zo donker mogelijk kunnen krijgen en houden. In dit hoofdstuk wordt dat verder uiteengezet.



Figuur 1. Begrenzing Waddenzee en Waddengebied (bron: Ambitiedocument Basismonitoring Wadden)

Wat is duisternis?

Duisternis is een landschappelijke kwaliteit, zowel voor de natuur als voor de mens. De hemel in Nederland wordt gemiddeld elk jaar 5-9% lichter, maar er zijn lokaal grote verschillen in verlichting. Zo behoort de Randstad tot de meest verlichte gebieden ter wereld, terwijl de Waddenzee één van de donkerste gebieden van Europa is. Op veel plekken in het Waddengebied kun je op een onbewolkte, maanloze nacht de Melkweg nog prima zien (bron: Van Heusden 2017).

¹ Structuurvisie Waddenzee: De Waddenzee is primair een natuurgebied en een uniek open landschap. De natuurlijke dynamiek van de fysische processen in de Waddenzee, op de Waddeneilanden en in de Noordzeekustzone wordt zo min mogelijk beperkt, zodat zich nieuwe platen, geulen en jonge duin- en kustgebieden kunnen ontwikkelen. De rust, weidsheid, open horizon en natuurlijkheid inclusief duisternis, zijn gewaarborgd en worden hoog gewaardeerd.

Waarom is duisternis belangrijk?

Duisternis is van belang voor zowel de mens als de natuur.

Belang voor de mens (bronnen: Bierbaum *et al.* 2017, Van Heusden 2017)

Kunstmatig licht (vooral met korte golf componenten) kan het natuurlijke dag-nacht ritme van de mens verstoren. Dit kan o.a. leiden tot slapeloosheid en concentratiestoornissen. Daarnaast kan het de herstelprocessen in het menselijk lichaam verstoren, met bijbehorende gezondheidsproblemen (achtergebleven groei, grotere kans op prostaatkanker, migraine, Alzheimer en Parkinson).

Duisternis kan worden ingezet in de toeristensector ter verhoging van de natuurbeleving. Zo kun je op of rond het wad in donkere nachten op een aantal locaties nog de Melkweg en andere sterren zien. Bovendien zijn er, vooral in de zomer, nachten waarin je prima de zeevonk op het wad kunt zien oplichten, of lichtgevende paddenstoelen en vuurvliegjes in de duinen. Daarnaast is het voor de sterrenkunde van belang dat er voldoende hele donkere locaties zijn om de sterren te kunnen bestuderen.

Belang voor de natuur (bron: Bierbaum *et al.* 2017, Van Heusden 2017, NIOO 2020)

Kunstmatig licht kan ook verstrend werken in de natuur. Momenteel doet het NIOO hiernaar uitgebreid onderzoek. Hier volgen enkele voorbeelden. Kunstlicht kan het vuurvliegjes moeilijker maken om een partner te vinden. En het kan nachtvlinders, die vooral worden aangetrokken door lampen met Uv-licht en blauw licht, wegtrekken uit hun natuurlijke omgeving, waardoor geïsoleerde (en uiteindelijk uitgestorven) populaties kunnen ontstaan.

Vleermuizen reageren wisselend op kunstmatige lichtbronnen. Een aantal wendbare, snel vliegende vleermuissoorten wordt aangetrokken door de insecten die worden aangetrokken door kunstmatige verlichting. Deze vleermuizen hebben dus (tijdelijk) voordeel van dergelijke lichtbronnen. Grote, minder wendbare vleermuizen mijden juist kunstmatige verlichting, omdat ze dan een gemakkelijkere prooi worden voor hun natuurlijke vijanden, zoals uilen. In verband met dit verhoogd predatierisico vliegen water- en meervleermuizen niet boven verlichte wateroppervlaktes. En de meeste vleermuissoorten mijden om die reden ook verlichte vlieg- en migratieroutes. Het verlichten van in- en uitvliegopeningen van zomerverblijven kan ertoe leiden dat de vleermuizen minder tijd hebben om te foerageren omdat ze hun verblijfplaats niet, later of totaal verlaten. Vleermuizen hebben vooral last van wit en groen licht, maar nauwelijks van oranje en rood licht.

Vogels kunnen tijdens de trek ernstig verstoord of gedesoriënteerd worden door vooral wit (en rood) licht, met in een aantal gevallen de dood door uitputting als gevolg. Van groen (of blauw) licht hebben trekvogels geen last. Daarnaast kan extra licht (ongeacht de kleur) effect hebben op het dag-nacht-ritme (minder slaap 's nachts) en het seksuele gedrag (minder overspel) van broedvogels. Ook kan het een negatief effect hebben op de seksuele ontwikkeling en de rui van vogels. Een aantal trekvogels kan bij meer kunstlicht sneller opvetten voor de trek naar broed- of overwinteringsgebieden. Dit kan zowel voordelig (meer vogels in goede trekconditie) als nadelig (vogels komen te vroeg aan in nog besneeuwde broedgebieden) zijn. En weidevogels houden bij het maken van hun nest meer afstand van kunstmatige lichtbronnen, wat een negatief effect kan hebben op het aantal broedparen in een gebied.

2.2. Meetbare omschrijving informatiebehoefte

Wat is het duisternis-doel in het Waddengebied?

Het duisternis-doel is dat het Waddengebied in de toekomst in ieder geval niet lichter, en - binnen de mogelijkheden - juist donkerder wordt. Om te controleren of je dit doel haalt, dien je jaarlijks de donkerte in het Waddengebied te meten.

Wat wordt eraan gedaan om de duisternis van het Waddengebied te borgen?

We kunnen het duisternis-doel halen door:

1. de mogelijkheden in de wet- en regelgeving optimaal te benutten/borgen dan wel de wetgeving indien mogelijk aan te passen
2. te meten hoe donker het was in de Waddenzee; hiervoor moeten we oude metingen achterhalen en daarna een geschikt jaar vaststellen dat als 0-meting gaat fungeren (na consultatie experts en interne afstemming)
3. te definiëren hoe donker we het in de toekomst willen hebben (zowel voor de natuur als de mens) en dit periodiek te gaan meten
4. allerlei lichtreductiemaatregelen te treffen (zie o.a. overzicht in PRW 2018)

Beleidsmatig wordt er in de noordelijke provincies op ingezet om de Waddenzee donkerder te krijgen.

Wet- en regelgeving lichthinder

De externe werking van de Structuurvisie Waddenzee SVW is onvoldoende krachtig voor het behoud van landschappelijke kwaliteiten, waaronder duisternis. Dit geldt vooral voor ontwikkelingen in het stedelijk gebied (havens) van Harlingen, Den Helder, Eemshaven en Delfzijl. Het Besluit algemene regels ruimtelijke ordening maakt dergelijke ontwikkelingen mogelijk; bovendien ontbreken heldere criteria ten behoeve van de externe werking en een referentiekader; hierdoor is er ruimte voor bestuurlijke interpretatie met behulp van het afwegingskader van de SVW (bron: Royal Haskoning 2015).

Nederland kent wel een overkoepelende wet over geluidshinder, maar niet over lichthinder. De Wet Milieubeheer besteedt wel aandacht aan lichthinder. Voor het onderwerp donkertebescherming zijn met name het Besluit glastuinbouw en Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer (bekend onder de naam Activiteitenbesluit) van belang. Lichthinder en donkertebescherming worden expliciet in de zorgplicht van artikel 2.1 van het Activiteitenbesluit milieubeheer genoemd. Hiermee kan lichthinder voor omwonenden worden voorkómen of verminderd tot een aanvaardbaar niveau. Het beschermen van de duisternis en het donkere landschap valt ook onder de zorgplicht. Het bevoegd gezag kan met de zorgplicht maatregelen of voorzieningen voorschrijven. Dat kan alleen, als de inrichting in een aangewezen gebied ligt, waarvoor het bevoegd gezag eisen (beleidsregel, verordening of een bestemmingsplan) heeft opgesteld om de duisternis of het donkere landschap te beschermen (bron: Van Heusden 2017).

Op provinciaal en gemeentelijk niveau is er in activiteitenbesluiten, POV's en provinciale vergunningen-strategieën iets meer geregeld met betrekking tot het tegengaan van lichthinder en -vervuiling, maar hierin zijn geen specifieke waarden opgenomen voor bijvoorbeeld lichtsterkte of kleurtemperatuur. In de Omgevingsvisie 2016-2020 van de Provincie Groningen staat: 'Duisternis is een kernkarakteristiek van onze provincie. Wij nemen maatregelen om de lichthinder (en het energiegebruik) door openbare verlichting langs provinciale wegen te verminderen. Daarbij houden we rekening met de sociale en verkeersveiligheid. We maken hier afspraken over met de gemeenten. Wij vragen gemeenten en waterschappen om in hun plannen toe te lichten hoe zij rekening houden met duisternis. In vergunningen voor bedrijven en instellingen waarvoor wij bevoegd gezag zijn, nemen wij zo nodig voorschriften op voor de lichtuitstoot, bijvoorbeeld via een verlichtingsplan.'

Het goed afstellen en richten van schijnwerpers en armaturen kan lichthinder voorkomen. Goed overleg tussen bevoegd gezag en ondernemer is belangrijk voor het voorkómen en oplossen van knelpunten. Daarnaast zijn in het Activiteitenbesluit speciale voorschriften opgenomen voor assimilatiebelichting bij glastuinbouw (regels voor afscherming) en voor verlichting van sportterreinen (regels voor tijdstippen van verlichting) (www.infomil.nl, <http://www.platformlichthinder.nl/thema/sportveldverlichting/>, <http://www.omgevingsweb.nl/nieuws/de-duisternis-beschermen-op-gebiedsniveau>). In de rapportage van het IPO (Handboek licht/donker – beleid en uitvoeringsinstrumenten voor provincies; op <http://www.platformlichthinder.nl/docs/Handboek-lichtdonker.pdf>) wordt een uitgebreid overzicht gegeven van de relevante wet- en regelgeving (bron: Van Heusden 2017).

Duisterniswetgeving Frankrijk

In 2018 hebben drie Franse milieuorganisaties de Franse staat aangeklaagd omdat ze de aanpak van de lichtverontreiniging onvoldoende vonden. Als gevolg daarvan is er in Frankrijk per 1 januari 2020 een wet ingevoerd die de verdere lichtvervuiling moet tegengaan. Duitsland is bezig met vergelijkbare aanvullende wetgeving. De volgende maatregelen zijn in de Franse wet beschreven:

- 1. Kunstlicht mag alleen worden gebruikt waar dit nodig is.**

-
2. **Alleen de minimale hoeveelheid licht moet worden gebruikt.**
 3. **Kunstlicht mag alleen worden ingeschakeld wanneer dit nodig is en moet worden gedimd (minimaal 70%) of worden uitgeschakeld buiten de gebruiksperiode.**
 4. **Kunstlicht mag alleen oppervlaktes verlichten die absoluut noodzakelijk verlicht moeten worden.**
 5. **Alleen lichtbronnen met weinig ultraviolet en blauwe componenten mogen worden gebruikt, amber tot warm wit licht, met kleurtemperaturen van 1700 tot maximaal 3000 Kelvin.**
 6. **De hoogte van het licht moet zo laag mogelijk worden gehouden om het externe effect te beperken.**
 7. **Reclameverlichting en het onder de aandacht brengen van gebouwen zijn de belangrijkste vormen van lichtverontreiniging die beperkt dienen te worden.**
-

Duisternis van het Waddengebied

Maar liefst 43 partijen hebben in 2016 een intentieverklaring getekend om gezamenlijk aan de slag te gaan om de duisternis van het Waddengebied te versterken. Sindsdien zijn de Boschplaat bij Terschelling en het Nationaal Park Lauwersmeer al Dark Sky Park geworden en zijn er voor Schiermonnikoog verkenningen hiervoor gaande. De gemeente Ameland wil omschakelen naar Ledverlichting die reageert op verkeer. En op Zwarte Haan moet de eerste sterrenschuur komen, een rustige plek waar je met een telescoop nog meer van de sterrenhemel kunt zien (bronnen: Van Heusden 2017, website PRW).

In maart 2020 is het project 'De Donkerte van het Waddengebied' van start gegaan. Dit project van de Natuur- en Milieufederaties Noord-Holland, Friesland en Groningen in samenwerking met o.a. de Rijksuniversiteit Groningen, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten en de noordelijke provincies, wil met de *beleving* van de duisternis duurzame toerisme in het hele Waddengebied stimuleren. Er zullen minimaal 15 nachttuinen gerealiseerd worden waar bezoekers nachtvlinders en andere nachtdieren kunnen spotten. Het hele jaar door zullen er activiteiten en beleefmomenten zijn, onder meer tijdens de Nachten van het Wad (bronnen: Van Heusden 2017, website PRW).

Trilateraal Dark Sky Programma werelderfgoed Waddengebied

De drie Waddenzeelanden Denemarken, Duitsland en Nederland werken trilateraal samen voor een transitie naar een duurzame Waddeneconomie. Samen hebben zij onder de vlag van UNESCO een aantal kernwaarden van het gebied benoemd: ruimte, rust, openheid, nachtelijk duister, een unieke levende natuur en de onverstoorde dynamiek van getijdenwater, zand en slib. In 2018 is de trilaterale afspraak gemaakt om samen met gemeenschappen en belanghebbenden verschillende initiatieven te bevorderen voor het verminderen van lichtemissies, zonder de veiligheidsnormen uit het oog te verliezen. Hierbij wordt gedacht aan maatregelen om onnodige verlichting tegen te gaan, de uitwisseling van beste praktijken, technologische innovaties en monitoringactiviteiten ten behoeve van het hele Waddenzegebied (bronnen: Van Heusden 2017, website PRW).

2.3. Geschikte indicatoren

Er zijn twee manieren om de duisternis te meten: 1) van beneden naar boven (met indicator Hemelhelderheid) en 2) van boven naar beneden (met indicator Opgaand licht).

Hemelhelderheid

De indicator hemelhelderheid wordt van beneden naar boven gemeten met behulp van fotosensoren op de grond. Het is een geschikte indicator om inzicht te krijgen in hoe helder de hemel nog is.

Opgaand licht

De indicator opgaand licht wordt van boven naar beneden bepaald met behulp van satellietbeelden. Het is een geschikte indicator om inzicht te krijgen in de hoeveelheid kunstlicht die binnen het Waddengebied wordt uitgestoten. Hiermee kan berekend worden waar het donkerder en waar het lichter wordt.

In het volgende hoofdstuk wordt verder ingegaan op het meten van beide indicatoren.

3. Meetinspanning

De methode om de duisternis van beneden naar boven te meten (indicator hemelhelderheid m.b.v. fotosensoren op de grond, paragraaf 3.1) verschilt van de methode om die van boven naar beneden te meten (indicator opgaand licht m.b.v. satellietbeelden, paragraaf 3.2).

Momenteel bestaat er geen reguliere monitoring van duisternis van het gehele Waddengebied. Delen van het Waddengebied worden wel onregelmatige gemonitord. Zo wordt de hemelhelderheid sinds 2019 op negen locaties in het Waddengebied gemonitord door de Rijksuniversiteit Groningen (RUG). En in 2019 is opgaand licht in de provincies Groningen en Fryslân geanalyseerd, maar hierbij is niet speciaal ingezoomd op het Waddengebied.

In dit hoofdstuk, dat ingaat op fase 2 en 3, wordt voor beide meetmethodes aangegeven wat en hoe er wordt gemeten en of er nog aanvullend gemeten moet worden.

3.1. **Meten van hemelhelderheid (met netwerk van fotosensoren op de grond)** (Bronnen: Van Heusden 2017, nachtmeetnet.nl, washetdonker.nl, www.darkskypark.nl)

Hemelhelderheid

Hemelhelderheid is een maat voor hoe donker het is. Het is de luminantie in het zenith, oftewel hoe donker het is als je recht omhoogkijkt. Als het heel donker is (bij afwezigheid van kunstmatige verlichting en afwezigheid van zon en maan) kan de hemelhelderheid kleiner zijn dan 0,25 mcd/m² (milicandela per vierkante meter; een maat voor de helderheid van de hemel). Kunstmatige verlichting heeft veel invloed op de hemelhelderheid.

Het meten van de hemelhelderheid met fotometers is momenteel nog nauwkeuriger dan het meten van opgaand licht met satellieten, die kleine afwijkingen kunnen hebben door de wisselende meethoeken en meettijden.

NachtMeetnet

NachtMeetnet, een meetnet van de hemelhelderheid dat is opgezet door Sotto Le Stelle en Lumineux Consult, heeft tussen 2009 en 2019 de hemelhelderheid in Nederland via een netwerk van kleine lichtmeetstations gemeten. De komst van gevoelige satellieten, die ook het licht 's nachts kunnen meten, maakt de monitoring van de donkerte mogelijk met minder inspanning en meetapparatuur. NachtMeetnet is daarom in 2020 gestopt.

Meetnetwerk RUG

De afdeling Sterrenkunde van de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) is bezig met de realisatie van een speciaal meetnetwerk van meetstations voor de duisternis in Noord-Nederland. Met het meetnetwerk wil de RUG de duisternis meten en zo nodig anticiperen op het mogelijke verdwijnen van duisternis in Nederland.

Elk meetstation bestaat uit een fotometer (ook wel lichtmeter, donkertemeter of luxmeter genoemd) en een minicomputer met internetverbinding; elk meetstation heeft stroom en wifi nodig.

Sinds september 2019 wordt de duisternis elke nacht gemeten op 18 meetstations in Nederland, waarvan 5 op de Waddeneilanden (Griend, Vlieland-Oost, Texel Den Burg, Terschelling Natuurschuur, Ameland Natuurcentrum) en 4 langs de vastelandskust (Lauwersoog, Hornhuizen, Roodeschool en Termunten) (figuur 1, rechterfiguur). De resultaten van de duisternismetingen zijn terug te vinden op washetdonker.nl.

TESS

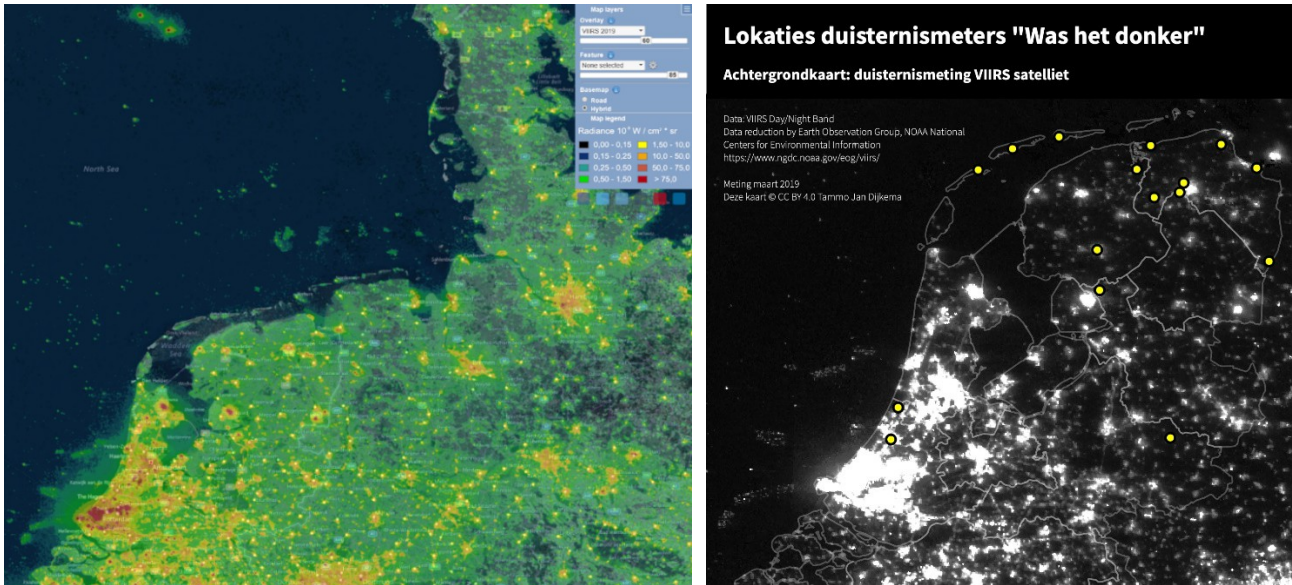
Duitsland wil met TESS, een trilateraal meetnet voor het internationale Waddengebied, van de bodem af via 50-100 fotometers in en rond de internationale Waddenzee de helderheid van de hemel meten. De RUG is geïnteresseerd in samenwerking met Duitsland. Voorlopig struikelblok hierbij is dat Nederland de zeggenschap over de verzamelde gegevens niet wil opgeven maar deze openbaar wil houden, zodat iedereen er gebruik van kan blijven maken.

Dark Sky Park

Een Dark Sky Park is een gebied waar het heel donker is (je moet de Melkweg 's nachts kunnen zien) en waar bezoekers 's nachts van de duisternis kunnen genieten (<http://www.darkskypark.nl/>). Nederland heeft momenteel twee Dark Sky Parken: de Boschplaat op Terschelling en het Lauwersmeergebied. Andere Waddeneilanden overwegen om eveneens een Dark Sky Park te worden. Ook in Duitsland en Denemarken is men bezig met de realisatie van Dark Sky Parken. Daarnaast wordt in het Lauwersmeergebied gewerkt aan een nieuwe sterrenwacht van het Kapteyn Instituut.

Een mogelijkheid om o.a. de bottom-up-monitoring centraal te regelen is de oprichting van een trilaterale Wadden Sea Dark Sky-community. De drie deelnemende landen zijn daarbij verantwoordelijk voor de organisatie van bijeenkomsten. De succesvolle ervaringen met het Nederlandse programma kunnen hierbij als ruggensteun dienen. Verder kan de positionering van het trilaterale Dark Sky Programma onder de vlag van UNESCO gebracht worden, in samenwerking met het Stichting Feel the Night (SFtN) en International Dark Sky Association (IDA). De volgende piketpaaltjes staan op de agenda:

- In 2020 is er een trilaterale Dark Sky-community met intrinsiek gemotiveerde deelnemers uit alle drie de landen;
- In 2022 is er een trilateraal Programma Dark Sky Werelderfgoed Waddengebied;
- In 2022 is de positionering van het Programma Dark Sky Werelderfgoed Waddengebied ondergebracht onder de vlag van UNESCO.



Figuur 1. Linkerkaart: Duisterniskaart van de Waddenzee en wijde omgeving in 2019 op basis van VIIRS satellietbeelden. De duisternis is weergegeven in 8 kleurgradaties van radiantie (in $10^{-9} \text{ W/cm}^2 * \text{sr}$): 1(zwart)=0-0,15, 2=0,15-0,25, 3=0,25-0,50, 4=0,50-1,50, 5=1,50-10,0, 6=10,0-50,0, 7=50,0-75,0, 8(rood)>75,0 (Bron: <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=0&lat=11953813&lon=20037600&layers=0BTFFFFFFF>). Rechterkaart: locaties van de 16 duisternismeters, geprojecteerd op de VIIRS Duisterniskaart van Nederland van maart 2019. Bron: ©Tammo Jan Dijkema, <http://washetdonker.nl/station/groot.jpg>

3.2. Meten van opgaand licht (met satellietbeelden) (Bronnen: Van Heusden 2017, Schmidt 2020)

VIIRS-duisterniskaarten

De indicator opgaand licht (gemeten van boven naar beneden) geeft inzicht in de hoeveelheid kunstlicht die binnen het Waddengebied wordt uitgestoten. Deze indicator wordt bepaald met satellietmetingen. In 2011 is er een nieuw satelliettype gelanceerd: de Suomi-NPP met aan boord een nieuw instrument de VIIRS, die in één van de banden (de zogenaamde Dag en Nachtband) specifiek voor de nachtsituaties metingen uitvoert en meet hoeveel energie de aarde uitzendt in het zichtbare golflengtegebied. De satelliet draait rondjes over de aarde van pool naar pool en komt steeds (in elke locatie op aarde) rond 1 uur overdag en 's nachts over. Hij meet in een scan van 3.000 kilometer breed de aarde onder zich. Bij de volgende omloop (anderhalf uur later) is de aarde een stukje opgeschoven en pakt hij de volgende 3.000 km. De resolutie is ongeveer 0,7 bij 0,7 kilometer per pixel, met een foutmarge van 15-20%. In donkere gebieden is de foutmarge waarschijnlijk nog wat groter. De VIIRS-data zijn van tevoren gekalibreerd. Ook tijdens de metingen wordt er intern gekalibreerd. Het dynamisch bereik is zo groot dat zowel de donkerste gebieden in Nederland als de lichtste (de verlichte kassen) betrouwbaar gemeten kunnen worden. Elke opname wordt met dezelfde configuratie uitgevoerd, zodat kaarten op verschillende tijdstippen of gebieden goed te vergelijken zijn.

Deze satellietkaarten worden elke dag gemaakt (figuur 1). Vooral de maandelijkse en zeker de jaarlijkse samenvattingen zijn interessant. In de zomermaanden zijn er geen data voor Nederland vanwege de hoge zon; daarnaast zijn er maanden met te weinig heldere nachten in Nederland en dus te weinig gegevens.

Er is in 2019 een tweede milieusatelliet bijgekomen, maar de data van deze satelliet zijn nog niet vrijgegeven. Wellicht willen ze eerst de kalibratieproblemen tussen beide satellieten oplossen. De verwachting is dat deze satellietmethode rond 2025 door de verbeterde kalibratie de beste methode wordt om duisternis te meten.

Bortle Dark-Sky Scale

De mate van duisternis kan worden weergegeven met de negendelige Bortle Dark-Sky Scale. Totaal donkere gebieden, vaak zeer afgelegen en niet bewoond, behoren tot klasse 1; zeer sterk verlichte gebieden als grootstedelijke gebieden scoren klasse 9. Momenteel zijn nergens in het waddengebied gebieden met klasse 1 of 2 te vinden, ook niet op afgelegen plekken als de Boschplaat of de kwelders van Schiermonnikoog. De Waddenzee kent een aantal grote lichtbronnen: de havens van Den Helder, Harlingen, Eemshaven, Delfzijl en Emden. Daartussen bevinden zich de kleinere lichtbronnen van dorpen aan de vastelandskust van Friesland en Groningen en de dorpen op de eilanden. Tot slot zijn er de meer verspreid liggende lichtbronnen van afzonderlijke woningen en andere gebouwen. Meer op afstand van de Waddenzee bevinden zich op de Noordzee windparken en boorplatforms met hun (knipperende) verlichting en op het vasteland agrarische kassen en de grotere steden met hun lichtkoepels die op grote afstand nog te zien zijn door de reflectie van licht op stofdeeltjes, verontreinigingen en waterdruppels in de lucht (bron: Van Heusden 2017).

4. Advies basismonitoring

Hoofdstuk 4 beschrijft het advies voor de basismonitoring, inclusief het voorstel voor een adequaat meetprogramma voor het analyseren van de doelen, met de bijbehorende kosten en financiers (fase 4). Hierbij wordt tevens beschreven in welk opzicht de monitoring niet toereikend is voor het analyseren van de doelen.

Advies

In dit hoofdstuk wordt advies uitgebracht hoe we de (hopelijk jaarlijks toenemende) duisternis van de Waddenzee jaarlijks gemonitord willen hebben.

1. Basismonitoring optie 1: VIIRS-duisterniskaarten

Deze 'top down' methode meet het opwaartse licht met satellietbeelden van bovenaf. Door meerdere jaren achtereen te gaan monitoren wordt inzichtelijk welk effect beleid en maatregelen hebben op de duisternis in het Waddengebied. Als het goed is, is dan na een aantal jaren een trend te zien. De verschillen per jaar kunnen in beeld gebracht worden door de resultaten van de jaarlijkse satellietmetingen van elkaar af te trekken. Dit is naar verwachting over ca. 5 jaar (door de verbeterde kalibratie) de meest betrouwbare, valide en financieel voordelige manier om de juiste conclusies voor duisternis te trekken.

Kosten VIIRS-duisterniskaarten: ca. €10.000-€20.000 per jaar

De satellietbeelden waren t/m 2019 gratis verkrijgbaar, maar kosten vanaf 2020 ca. €10.000 per jaar indien je direct over de recente satellietbeelden van heel West-Europa wilt beschikken. Na een aantal maanden zijn deze beelden weer gratis. Als je de beelden direct wilt hebben, dan kunnen de bijkomende kosten na overleg wellicht gedeeld worden met Duitsland en Denemarken. Naast een goede monitoring van de gehele trilaterale Waddenzee is het met dezelfde gegevens tevens mogelijk om de duisternis te berekenen van andere waddengebieden in Europa en deze te vergelijken met de Waddenzee.

De jaarlijkse kosten voor het berekenen van de duisternis in het Waddengebied (en het is weinig duurder om dit meteen voor de hele internationale Waddenzee te berekenen) op basis van de satellietbeelden bedragen globaal eveneens ca. €10.000 per jaar. Daarmee komen de verwachte totale jaarlijkse monitoringskosten via de VIIRS-satelliet op ca. €10.000,- tot €20.000,- per jaar.

Uitvoerders van de monitoring

Sotto Le Stelle heeft deze analyses tot en met 2020 voor de provincies uitgevoerd (bron: Schmidt 2020), maar is daarna met pensioen gegaan. De afdeling Fysica van de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) is bereid de analyses over te nemen, eventueel samen met de GIS-afdeling van de provincie Groningen.

Mogelijke financiers: de noordelijke provincies

Medio 2019 is een aantal noordelijke provincies afzonderlijk gestart met het monitoren van het opgaande licht in Noord-Nederland. Vanaf 2020 wordt jaarlijks het opgaande licht in kaart gebracht om te kunnen bepalen of er sprake is van een af- of toename van het opgaande licht. Wij adviseren om de afzonderlijke opdrachten van de noordelijke provincies te bundelen en daarbij in ieder geval het Waddengebied jaarlijks als één geheel te monitoren. Voor weinig extra kosten kan met dezelfde data ook de duisternis van de Duitse en Deense Waddenzee gemonitord worden. Aanbevolen wordt om hierover trilaterale afspraken te maken.

Beschikbaar stellen data

Datahuis Wadden beoogt data van natuurlijke, landschappelijke (waaronder stilte en duisternis) en cultuurhistorische (waaronder archeologische) waarden van de Wadden via het dataportaal beschikbaar te stellen. We adviseren om de monitoringgegevens van de duisternis via Datahuis Wadden beschikbaar te stellen.

Advies 1

We adviseren om de methode te gebruiken van het monitoren van het opgaande licht met behulp van satelliet kaart(en). De methode voor het maken van een satellietkaart heeft een aantal voordelen:

- het is direct duidelijk welke groep van lichtbronnen groot en klein bijdragen aan de verstoring van de duisternis
- er kan elk jaar een analyse van de ontwikkelingen in elk punt gemaakt worden op basis van herfstmaandkaarten (die geven de meest betrouwbare resultaten)
- de kaart kan ook gebruikt worden als input van de duisterniskaart. Hierbij wordt berekend hoeveel licht elk punt in de omgeving krijgt van de opgaande lichtpunten. De wereldatlas van de duisternis in de wereld, waarvan in 2014 de tweede versie gemaakt is, is ook op die manier gemaakt. Dan kan ook op een relatief eenvoudige manier het effect op de Waddenzee berekend worden, zodat ingewikkelde en dure metingen op zee niet nodig zijn.
- een dergelijke satellietkaart kost een fractie van een duisterniskaart.

2. **Basismonitoring optie 2: monitoring Hemelhelderheid met lichtmeters**

De ('bottom up') methode van de RUG en Duitsland (Planetarium Osnabrück). Duitsland meet met TESS van de bodem af via vele tientallen lichtmeetstationnetjes in en rond de (internationale) Waddenzee de helderheid van de hemel. Het meten van de hemelhelderheid met fotometers is momenteel nog nauwkeuriger dan het meten van opgaand licht met satellieten, die kleine afwijkingen kunnen hebben door de wisselende meethoeken en meettijden. TESS is ook waardevol als aanvullende monitoring. De satelliet meet de duisternis alleen tussen ca. 2 en 4 uur 's nachts, terwijl TESS de gehele nacht de helderheid van de hemel meet. Duitsland heeft de grote wens om TESS voor het gehele trilaterale waddengebied van de grond te krijgen.

Kosten ca. 15 extra meetstations: ca €4.500 (éénmalig 15x€300,-)

Wanneer het meetnet van de RUG wordt uitgebreid met ca. 15 extra meetstations (á €300,-) in het Waddengebied, kan de donkerte in het Nederlandse Waddengebied gebiedsdekkend gemeten worden. Ook een uitbreiding naar een integraal Tess netwerk voor de trilaterale Waddenzee (50-100 meetstations, waarvan er een aantal reeds bestaan) kost maximaal ca. €30.000,- voor de aanschaf van apparatuur. De uitwerking van de gegevens is een tijdrovende zaak en daarmee in principe zeer kostbaar. Zolang de RUG (en wellicht Duitsland) deze uitwerking bijvoorbeeld via studenten voor eigen rekening nemen, is deze methode financieel zeer voordelig.

Uitvoerders van de monitoring

Vooralsnog wordt er door de RUG alleen gezocht naar financiering van de meetstations. De analyses van de data ten behoeve van de jaarlijkse duisternismonitoringen komen dan voor rekening van de RUG. Hierover dienen wel met de RUG afspraken gemaakt te worden. Mogelijk kan men de basismonitoring laten aansluiten op het programma van de RUG in De donkerte van het Wad 2022-2023.

Advies 2

We stellen voor om deze hemelhelderheidsmonitoring in elk geval de komende 5 jaar (2020 t/m 2024) uit te laten voeren, bij voorkeur samen met de analyse van de satellietbeelden. Dan kan over

ca. 5 jaar (na de kallibratie van de 2^e satelliet) een keuze gemaakt worden voor de beste methode. Dan is er bovendien meer inzicht in de werkelijke kosten van beide monitoringen.

5. Literatuur

- Bierbaum (ed) 2017. Austrian Guidelines for outdoor lightning. Light that does more good than harm. NIOO 2020. Licht op landschap. <https://www.straatbeeld.nl/artikel/030320/licht-op-landschap-onderzoekt-hoe-dieren-omgaan-met-lichtintensiteit>
- PRW 2018. Overzicht maatregelen lichtreductie Dark Sky Werelderfgoed Waddengebied. www.rijkwaddenzee.nl
- Royal Haskoning 2015. Evaluatie Structuurvisie derde nota Waddenzee. Ontwikkelen als perspectief, beschermen als basis. Rapport Royal Haskoning, Nijmegen.
- Schmidt, W. 2019. Lichtuistoot Provincie Groningen. Validiteit en betrouwbaarheid van VIIRS data, maart 2019. Rapport Sotto Le Stelle Onderzoek en advies lichthinder, Utrecht.
- Schmidt, W. 2020. Opgaand licht provincie Groningen 2012-2018. Rapport Sotto Le Stelle Onderzoek en advies lichthinder, Utrecht.
- Van Heusden, W. 2017. Meer licht op duisternis. Programma naar een rijke Waddenzee, Leeuwarden. www.rijkwaddenzee.nl

Websites

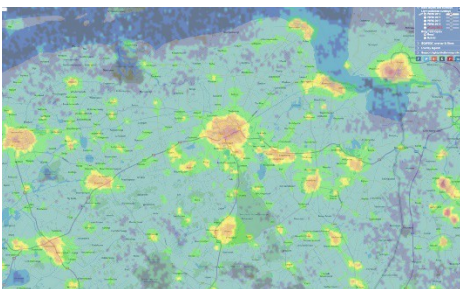
- <https://tess.stars4all.eu/>
- https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/9199/4/meier_josiane.pdf: dissertatie Josie Meier (let vooral op hoofdstuk 2)
- http://www.verlustdernacht.de/tl_files/VDN/PDF_allgemein/VdN-Band1_Kosten_web.pdf
- <https://www2.land-oberoesterreich.gv.at/internetpub/InternetPubPublikationDetail.jsp?SessionID=SID-0F3F8E8E-B11C2BFE&xmliid=Seiten%2F115999.htm&pbNr=300750&dest=ooe>: Oostenrijkse richtlijnen Duisternis
- ftp://datapub.gfz-potsdam.de/download/10.5880.GFZ.1.4.2016.001/NewWorldAtlas_ArtificialSkyBrightness.kmz: De Falchi lichtverontreinigingsatlas (als kmz-Overlay voor GoogleEarth)
- <https://www.lightpollutionmap.info/>: de best werkende sites met satellite data en hemelhelderheidskaarten
- <https://www.straatbeeld.nl/artikel/030320/licht-op-landschap-onderzoekt-hoe-dieren-omgaan-met-lichtintensiteit>: NIOO onderzoekt effect van licht op landschap
- <https://lighttrends.lightpollutionmap.info/>: voor het meten van veranderingen
- <https://biosphaerenreservat-rhoen.de/himmelsschauplaetze>: De 'hemelkijklocaties'in de Rhön
- <https://bleu-minuit.com/lodges/>: de lodges
- <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/22/6400>: melatonine
- <http://eva.walterwaddenmonitor.org/monitoringtools/#B1>)
- <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=0&lat=11953813&lon=20037600&layers=0BTFFFFFFF>
- <https://waddenvereniging.nl/wv/images/PDF/WADDENAPPEL-LR.pdf>)
- <https://destaatvangroningen.nl/mmp-duisternis-opgaandlicht.html>
- <https://destaatvangroningen.nl/mmp-duisternis-hemelhelderheid.html>
- www.waddenvereniging.nl
- <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/pollution-lumineuse>
- <https://projects.interreg-baltic.eu/projects/lucia-187.html>: met Hamburg aan de Duitse kant
- <https://www.naturpark-bayer-wald.de/lichtverschmutzung-projekt.html>: Beierse Bos (Duistland en Tjechië)
- <http://www.pfaelzerwald.de/blog/sternenpark/das-projekt-sternenpark-pfaelzerwald/>,
- http://www.pfaelzerwald.de/wp-content/uploads/2019/07/Folder_Sternenpark_8s_v4-K4.pdf: Pfälzer Bos
- <https://www.sternenregion-eifel.de/>: Sterrenregio Eifel
- <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/aktuelles/20200722.html>: Duitse oorzaken van en maatregelen tegen lichtverontreiniging
-

Bijlage 1 Opgaand licht

Bron: <https://destaatvangroningen.nl/mmp-duisternis-opgaandlicht.html>



Door het opgaande licht te meten, krijgen we inzicht in de hoeveelheid kunstlicht die binnen een gebied wordt uitgestoten. We maken hiervoor gebruik van satellieten. Er wordt dus van boven naar beneden gekeken hoeveel licht de aarde uitstraalt. Door dit jaarlijks te monitoren weten we of de hoeveelheid licht die we uitstoten meer of minder wordt. Het verschil laten we zien op een kaart zodat je direct een indruk krijgt waar het lichter of donkerder is. Zo weten we direct hoe effectief duisternisbeleid is. Begin 2020 zijn de resultaten van de eerste metingen inzichtelijk.



Hierboven zie je hoeveel opgaand licht er is. De rode en gele kleur geeft aan dat er heel veel kunstlicht aanwezig is. De groene kleur laat zien dat het er al wat donkerder is. De gebieden met een blauwe kleur zijn nog echt donker. De kaart is een momentopname van 2018 en geeft niet aan of het donkerder wordt of lichter. Deze kaart is afkomstig van de website lightpollutionmap.info.

Wat monitoren we?

Medio 2019 zijn de noordelijke provincies gestart met het monitoren van het opgaande licht. De eerste resultaten worden eind 2019 verwacht. Daarna wordt jaarlijks het opgaande licht in kaart gebracht om te kunnen bepalen of er sprake is van een af- of toename van het opgaande licht. Om een indruk te krijgen van de resultaten zijn hieronder een aantal voorbeeldkaarten weergegeven.

Het verschil met de eerder gemaakte [hemelhelderheidskaart](#) is dat van boven naar beneden wordt gekeken en dat daarmee dus de oorzaak, namelijk de lichtbronnen, in kaart worden gebracht. Omdat we meerdere jaren achtereen gaan monitoren wordt ook inzichtelijk welk effect ons beleid heeft op de duisternis in Groningen. We willen de trend laten zien. Om de verschillen per jaar in beeld te brengen gebruiken we de resultaten van satellietmetingen. Dit is een betrouwbare, valide en financieel voordelige manier om de juiste conclusies voor duisternis te trekken.

Voorbeeldenkaarten van opgaand licht

Als voorbeeld zijn satellietgegevens van 2012 en 2018 geanalyseerd. Deze data is omgezet in de drie onderstaande kaarten. Je krijgt aan de hand van deze kaarten een indruk van de locaties waar veel opgaand licht wordt veroorzaakt. De witte vlekken laten zien waar veel licht is. Bij de meest donkere (zwarte) plekken is het 's nachts nog echt donker. De derde kaart laat het verschil zien in de hoeveelheid opgaand licht tussen 2012 en 2018. Uit deze kaart blijkt dat er plekken zijn waar de hoeveelheid opgaand licht is toegenomen. Op andere plekken is het juist weer afgenomen. De komende jaren blijven we de verschillen monitoren om de trend van het opgaand licht in beeld te brengen.



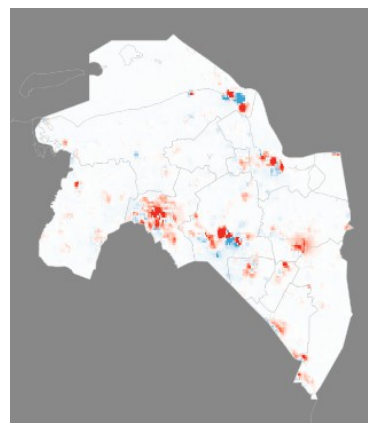
Hoeveelheid opgaand licht provincie Groningen 2012

Wat opvalt op deze kaart is de zichtbaarheid van de grote woonkernen zoals de stad Groningen, het kassencomplex in Hoogezand en de bedrijvigheid langs de kust. Het platteland daarentegen is nog donker.



Hoeveelheid opgaand licht provincie Groningen 2018

De kaarten van 2012 en 2018 verschillen op het eerste gezicht niet veel van elkaar. Toch is te zien dat bij de grotere woonkernen, het kassencomplex en de havengebieden aan de kust er sprake is van meer lichtuitstoot.



Verskil in opgaand licht 2012 - 2018 provincie Groningen

In bovenstaande kaart is het verschil in opgaand licht tussen 2012 en 2018 weergegeven. Rood betekent een toename van de hoeveelheid gemeten licht. De blauwe kleur geeft een vermindering weer van de hoeveelheid licht. Binnen de witte gebieden zijn niet of nauwelijks veranderingen waargenomen. Wat opvalt is dat er sprake lijkt te zijn van een stijgende hoeveelheid opgaand licht op de plekken waar veel bedrijvigheid is. De monitoring die medio 2019 van start is gegaan gaat hierover uitsluitend geven.

Bijlage 2 Hemelhelderheid

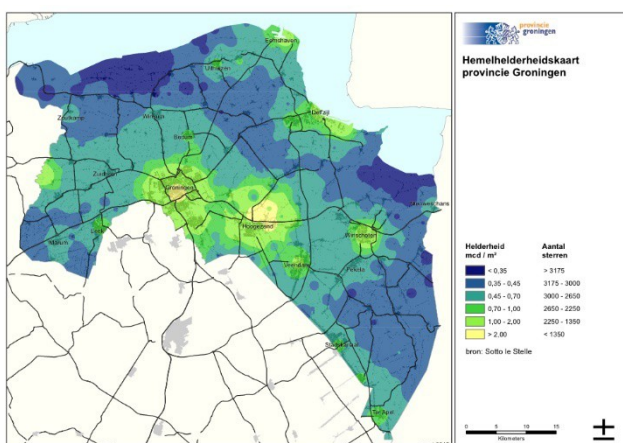
Een hemelhelderheidskaart geeft aan hoe helder de hemel is recht boven je hoofd. Het meeste licht van de nachthemel komt niet van de sterren, maar van de hemel zelf. Hoe helder de hemel is en dus de mate van duisternis, wordt bepaald door omhoog stralend licht, zowel direct licht als weerkaatst licht van de grond in de ruime omgeving. Hoe hoger het getal (uitgedrukt in mcd/m²), des te meer licht er van de hemel komt en hoe lichter het is. De helderheid bepaalt tevens hoeveel sterren je nog kunt zien. De kaart laat ons zien wat het effect is van het kunstlicht dat we uitstralen.

Bron: <https://destaatvangroningen.nl/mmp-duisternis-hemelhelderheid.html>



In 2014 is onderzoek verricht naar de hemelhelderheid van de provincie Groningen. Dit onderzoek heeft laten zien waar het nog echt donker is en op welke plekken het kunstlicht de hemelhelderheid negatief beïnvloedt binnen de provincie.

De hemelhelderheid geeft aan hoe helder de hemel recht boven je hoofd is. Minder licht betekent een heldere hemel waar je veel sterren kunt zien. Dit maakt de hemelhelderheid tot een geschikte indicator om te bepalen hoe het met de duisternis in Groningen is gesteld.



Hemelhelderheidskaart Groningen

Wat zie je?

Hierboven zie je de hemelhelderheidskaart van Groningen. De kaart geeft aan hoe helder de hemel is recht boven je hoofd. Het meeste licht van de nachthemel komt niet van de sterren maar van de hemel zelf. Hoe helder de hemel is en dus de mate van duisternis, wordt bepaald door omhoog stralend licht, zowel direct licht als weerkaatst licht van de grond in de ruime omgeving. Hoe hoger het getal (uitgedrukt in mcd/m²) des te meer licht er van de hemel komt en hoe lichter het is. De helderheid bepaalt tevens hoeveel sterren je nog kunt zien. De kaart laat ons zien wat het effect is van het kunstlicht dat we uitstralen.

Wat (gaan) we monitoren?

Vanaf 2019 gaan we jaarlijks het opgaande licht monitoren. Dit is een meer toegankelijke methode om ons beleidsdoel te monitoren (zie bijlage 1).

Bijlage 3 Wie houdt zich allemaal met Duisternis Waddenzee bezig?

Jaap Kloosterhuis: Een duisternismeter is een sensor die ergens op een mast staat en die de hoeveelheid licht (dus ook de absentie daarvan) meet. Bij SBB in de Lauwersmeer staan er nu twee: een van Wim Schmidt (Sotto le Stelle), die SBB heeft begeleid in het proces richting DSP en sinds kort ook een van Theo Juriens, astronoom van de RUG. Om de status van Dark Sky Park te behouden moet SBB jaarlijks rapporteren aan de International Dark Sky Association (IDA). SBB moet aangeven in welke mate ze hebben voldaan aan de 'public outreach' en met welk succes. Dat houdt bijvoorbeeld in: excursies, lezingen, publicaties door en/of over ons enz. De mate van duisternis wordt voortdurend gemeten middels een duisternismeter (nu zelfs twee) bij de Bosschuur. Heleen Slager van de Provincie Groningen verzamelt jaarlijks de gegevens en maakt er een rapport van voor de IDA.

Provincie Groningen

Gerben Bergstra

Jet Tolsma

Heleen Slager

Allix Brenninkmeijer

Provincie Fryslân

Femke van Akker

Hilde Kloosterziel

Provincie Noord-Holland

????

PRW

Sonja van der Graaf

Wouter van Heusden

St. Feel the Night/NRJ Architectuur

Nynke-Rixt Jukema

Sotto Le Stelle

Wim Schmidt

SBB

Jaap Kloosterhuis

RUG astronomie

Theo Juriens

Duitsland -planetarium Osnabrück

**Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde Kommission Lichtverschmutzung der
Astronomischen Gesellschaft**

Andreas Haenel