



---

# Ontwikkelen van een Remote Sensing monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur

Pilotstudie: detectie verruiging Grijze Duinen (H2130) voor het Natura 2000-gebied Meijendel-Berkheide

Sander Mûcher, Henk Kramer, Raymond van der Wijngaart, Rik Huiskes



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Ontwikkelen van een Remote Sensing monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur

Pilotstudie: detectie verruiging Grijze Duinen (H2130) voor het Natura 2000-gebied Meijendel-Berkheide

Sander Mûcher, Henk Kramer, Raymond van der Wijngaart, Rik Huiskes

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (Alterra) in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Terrestrische biodiversiteit' (projectnummer BO-11-019.01-034).

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, oktober 2017

---

Rapport 2838  
ISSN 1566-7197

---

Mücher, Sander, Henk Kramer, Raymond van der Wijngaart, Rik Huiskes, 2017. *Ontwikkelen van een Remote Sensing monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur; Pilotstudie: detectie verruiging Grijze Duinen (H2130) voor het Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2838. 46 blz.; 17 fig.; 7 tab.; 9 ref.

De ontwikkelde Remote Sensing-monitoringsystematiek voor vegetatiestructuur is gebaseerd op de analyse van veranderingen per vierkante meter in de vegetatiehoogte, afgeleid uit AHN originele LiDAR-puntenwolken en veranderingen in de vegetatiebedekking uit geclassificeerde ZHR-satellietbeelden.


De Remote Sensing-monitoringsmethodiek kan in principe voor geheel Nederland uitgerold worden, maar kan slechts een keer in de zes jaar geactualiseerd worden, omdat dit de frequentie is waarmee AHN-bestanden geactualiseerd worden. M.b.v. de uit de ZHRS afgeleide vegetatiebedekking kan de vegetatie vaker dan eens in de zes jaar gemonitord worden, maar er zijn grotere onzekerheden verbonden aan de absolute waarden in vegetatiebedekking dan in vegetatiehoogte. Ook moet duidelijk zijn dat op basis van vegetatiehoogte en vegetatiebedekking niet alle structuurveranderingen gedetecteerd kunnen worden. De Remote Sensing-methodiek dient slechts ter ondersteuning van de reguliere vegetatiemonitoring. Het uitgewerkte voorbeeld voor het monitoren van de verruiging Grijze Duinen (H2130) kan relatief gemakkelijk voor heel Nederland worden uitgerold. De Remote Sensing-methodiek kan in principe ook voor andere vegetatiestructuur- of habitattypen worden uitgerold, maar vragen om specifieke beslisregels m.b.t. vegetatiehoogte en vegetatiebedekking die alleen in een gemeenschappelijke discussie goed vastgesteld kunnen worden. De terreinbeheerders zullen in de toekomst een belangrijke rol moeten spelen om de beslisregels voor ander structuurtypen te ontwikkelen. Let wel, de Remote Sensing-methodiek zal nooit met één druk op de knop alle goede antwoorden geven. Input van bestaande veldkennis blijft zeer belangrijk naast de RS-output. De ontwikkelde Remote Sensing-methodiek is daarmee slechts een aanzet tot een volledige monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur.

Regular mapping of vegetation structure is of importance for biodiversity monitoring. In the Netherlands, vegetation structure mapping is in most cases still done in a traditional way based on field surveys in combination with visual interpretation of aerial photographs. This procedure is time consuming and often limited in its consistency and efficiency to cover large areas. Meanwhile space and airborne imagery are increasingly becoming available at affordable costs and with a high spatial resolution of approximately 50 cm. Therefore, commonly shared Dutch open LiDAR-data such as AHN (LiDAR derived terrain models) in combination with commercially available very high resolution satellite data were used to develop methodologies that can help to increase the updating frequency of vegetation structure maps, based on respectively vegetation height and vegetation cover. A pilot project was carried out in 2016 in cooperation with terrain managers from the coastal nature area Meijndel-Berkheide (Province Zuid-Holland, the Netherlands). In this pilot, we combined LiDAR-data from AHN2 (2008) and AHN3 (2014) with very high resolution satellite imagery from the similar time period in order to detect changes in vegetation structure at 1 meter spatial resolution. The existing habitat map was used to develop a protocol to find Grey Dunes (H2130) that showed significant changes vegetation structure between 2008 and 2014. The Remote Sensing method can also be used for other vegetation structure - or habitat types but requires other specific decision rules in relation to vegetation height and/or vegetation cover which have to be agreed upon by the nature conservation community. Therefore, the developed Remote Sensing monitoring method for vegetation structure is only a start to enable national wide operational monitoring of the vegetation structure of all habitat types.

Trefwoorden: vegetatie hoogte, spectrale vegetatieklassen, zeer hoge resolutie satellietbeelden; LiDAR-puntenwolken, AHN, habitats, change detection, monitoring

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/424672> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

---

 2017 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research Rapport 2838 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Foto gemaakt op 8 december 2016 tijdens velbezoek en evaluatie classificatieresultaten met beheerder Dunea in Natura 2000-gebied Meijendel-Berkheide.

---

---

# Inhoud

	<b>Woordenlijst</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
	1.1 Probleemstelling	9
	1.2 Projectdoelstelling	10
	1.3 Remote Sensing (RS) methodiek	10
	1.4 Werkwijze	11
	1.5 Leeswijzer	13
<b>2</b>	<b>Studiegebied en Remote Sensing-data</b>	<b>14</b>
	2.1 Natura 2000-gebied Meijndel & Berkheide	14
	2.2 Zeer hoge resolutie satellietbeelden (ZHRS)	16
	2.3 Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)	20
	2.4 Habitattypenkarteringen voor Natura 2000-gebied Meijndel & Berkheide	21
<b>3</b>	<b>Remote Sensing-monitoringsmethodiek</b>	<b>22</b>
	3.1 Inleiding	22
	3.2 Processing AHN-puntenwolken	23
	3.3 Processing ZHR-satellietbeelden	24
	3.4 Methodiek veranderingen in vegetatiestructuur	26
<b>4</b>	<b>Resultaten pilot monitoring vegetatiestructuur Meijndel-Berkheide</b>	<b>28</b>
	4.1 Classificatie en veranderingen in vegetatiehoogte	28
	4.2 Classificatie en veranderingen in vegetatiebedekking	29
	4.3 Voorbeelden veranderingen in vegetatiehoogte en vegetatiebedekking	31
	4.4 Analyse veranderingen vegetatiestructuur per object	33
	4.4.1 Verruiging grijze duinen (H2130)	33
<b>5</b>	<b>Conclusies &amp; discussie</b>	<b>35</b>
	5.1 Conclusies	35
	5.2 Kansen Remote Sensing-methodiek	36
	<b>Literatuur</b>	<b>37</b>
	<b>Bijlage 1 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om structuurtypen uit de Werkwijze Monitoring te identificeren</b>	<b>38</b>
	<b>Bijlage 2 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om vegetatie- en structuurkenmerken van habitattypen te identificeren</b>	<b>42</b>

---



---

# Woordenlijst

AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
DN	Digital number oftewel digitaal nummer. Refereert aan de gemeten waarde van een pixel (value)
DTM	Digitaal Terrein Model (maaiveld)
DSM	Digitaal Surface Model (bovenkant van alle objecten)
EZ	Ministerie van Economische Zaken
HPS	Hyperspectraal, als er sprake is van beeldmateriaal met meer dan 20 spectrale banden
LAI	Leaf Area Index
LIDAR	LIght Detection And Ranging of <i>L</i> aser <i>I</i> maging <i>D</i> etection <i>A</i> nd <i>R</i> anging
MS	Multispectraal. Er is meestal sprake van multispectraal als het beeld meer dan 3 spectrale banden heeft.
N2K	Natura 2000
NDVI	Normalized Vegetation Index
NIR	Near InfraRed
NSO	Netherlands Space Office ( <a href="http://www.spaceoffice.nl">www.spaceoffice.nl</a> )
PAN	Panchromatisch
PAS	Programma Aanpak Stikstof, zie ook <a href="http://pas.natura2000.nl">pas.natura2000.nl</a>
Red Edge	Red edge verwijst naar de snelle verandering van reflectie van de vegetatie in het Red Edge-gebied van het elektromagnetisch spectrum tussen 680 en 730 nm, en speelt een belangrijke rol bij het karakteriseren van de vegetatie.
RS	Remote Sensing
T1	Tijdstip 1
T2	Tijdstip 2
UTM	Universal Transverse Mercator coordinate system
VNIR	Visible and NIR spectrum
WEnR	Wageningen Environmental Research (Alterra)
WGS84	World Geodetic System 1984 (WGS 84) is een standaard coördinaten-referentiesysteem voor de aarde
UAV	Unmanned Airborne Vehicles, beter bekend als drones
ZHR	Zeer Hoge Resolutie
ZHRS	Zeer Hoge Resolutie Satellietbeelden



---

# 1 Inleiding

Mede vanuit het natuurbeleid is er behoefte om te onderzoeken of Remote Sensing de nodige ondersteuning kan leveren bij de vegetatiemonitoring in Nederland, waarbij een hogere efficiëntie en actualiseringsfrequentie steeds belangrijker worden. Een belangrijke conclusie uit een eerdere BO-studie (Mücher et al. 2015) was dat terreinbeherende organisaties en groenbureaus vooral baat hebben bij een tussentijdse monitoring van vegetatiestructuur m.b.v. Remote Sensing-technieken. En dan met name met Remote Sensing-data met een zeer hoge ruimtelijke resolutie die voor heel Nederland beschikbaar zijn, waardoor de toepassingen breed inzetbaar zijn.

Wat betreft het laatste speelt het nationale satelliet dataportaal van NSO (Netherlands Space Office, [www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal/](http://www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal/)) ook een steeds grotere rol, die met het gratis beschikbaar stellen van grote hoeveelheid satellietbeelden voor het Nederlandse publiek het gebruik van satellietinformatie wil stimuleren. Er doet zich dan ook een kans voor om het gestelde doel te realiseren, omdat zowel de technieken als de data beschikbaar zijn. Er dient wel een goede monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur ontworpen te worden, zodat er een goede aansluiting is tussen de reguliere vegetatiemonitoring en monitoring op basis van Remote Sensing-technieken.

Een andere belangrijke conclusie uit de verkennende BO-studie in 2014 was dat terreinbeheerders en groenbureaus mogelijkheden zagen voor de inzet van UAV's (drones) voor kwetsbare en moeilijk toegankelijke gebieden (Mücher et al. 2015). Ook op dit vlak wordt er steeds meer samengewerkt met natuurbeheerders binnen Nederland en het buitenland, maar dit is geen onderdeel van dit rapport.

Met informatie verkregen door middel van semiautomatische classificatietechnieken uit dronebeelden en of satellietbeelden en of airborne Remote Sensing-producten zoals LiDAR, blijkt het mogelijk om consistentere veranderingen in de vegetatiestructuur te detecteren dan door middel van enkel visuele waarnemingen in het veld. De visuele informatie over veranderingen in de vegetatiestructuur die men van tevoren uit het beeldmateriaal kan halen, kan het verdere veldwerk ondersteunen en efficiënter laten verlopen. De veldwerker kan zich concentreren op waarnemingen die niet uit Remote Sensing-technieken gehaald kunnen worden.

De voor u liggende BO-studie richt zich op een pilot voor Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide, waarin de Remote Sensing-methode voor vegetatiestructuurmonitoring is uitgewerkt op basis van LiDAR-data en zeer hoge resolutie satellietbeelden voor het habitatype H2130 Grijze Duinen. Omdat de gebruikte data voor geheel Nederland beschikbaar zijn, kan de ontwikkelde methode in principe voor geheel Nederland worden uitgerold. Dit vraagt wel bij elk ander vegetatiestructuurtype of habitatype om lokale afstemming met natuurbeheerders, groenbureaus en beleidsmakers.

## 1.1 Probleemstelling

Huidige verplichtingen die zijn aangegaan zoals SNL (Subsidiestelsel Natuur en Landschap), Natura 2000-rapportages en PAS-monitoring vragen om frequente informatie over de natuurkwaliteit van beheertypen (SNL) en habitattypen (Natura 2000, PAS). Deze worden van oudsher verkregen door middel van arbeidsintensieve veldmonitoringsmethodieken die nog weinig gebruikmaken van beschikbare digitale databestanden (airborne of spaceborne imagery) en semigeautomatiseerde methoden. De verkregen veldinformatie bevat vaak een zekere mate van subjectiviteit, doordat gangbare methoden gebaseerd zijn op visuele interpretaties van oppervlakten, aantallen of locaties/begrenzings op basis van veldwerk in combinatie met luchtfoto's alleen (Janssen, 2001). Daarnaast hanteren veel veldwerkers hun eigen methodieken die niet altijd voldoende geprotocolleerd zijn. Ook verschillen veldwerkers in ervaring, wat sterke invloed kan hebben op de kwaliteit en detail van de resultaten. Daarnaast spelen terrein- en weercondities een rol, die fysieke beperkingen opleggen aan de waarneembaarheid van vegetatiepatronen.

---

Tevens hebben terreinbeheerders vaak een beperkt budget voor monitoring en richten zij zich daarbij in eerste instantie op verplichte monitoringsinspanningen. Zo worden habitattypenkaarten bijvoorbeeld tot nu toe voornamelijk gemaakt voor Natura 2000-gebieden, terwijl er juist ook behoefte is aan vegetatie-habitattypenkaarten buiten de Natura 2000-gebieden, in het Natuurnetwerk Nederland (NNN) en/of in door particulieren beheerde gebieden. Vanwege de beperkte middelen en arbeidsintensieve methoden is de kans klein dat dergelijke kaarten veel buiten het NNN uitgevoerd zullen worden.

Ook zijn verplichte rapportagefrequenties van verschillende regelgeving niet altijd gelijk. Zo dienen EU-rapportages met een zesjaarlijkse cyclus uitgevoerd te worden, terwijl vegetatiekaarten binnen SNL worden gepland met een frequentie van eens in de twaalf jaar. Voor het maken van updates halverwege deze termijn zijn dan alternatieve methoden nodig, zeker als vanuit de PAS-monitoring behoefte ontstaat aan een frequentere update dan eens in de zes jaar. De vraag komt dan naar voren of met (nieuwe) Remote Sensing-data en -technieken de vegetatiemonitoringsgegevens efficiënter en/of beter ingewonnen kunnen worden. De hoeveelheid en het detailniveau van Remote Sensing-data nemen nog steeds toe. Voorbeelden van recent beschikbaar gekomen gegevens vormen de AHN2 (~ 2008) en AHN3 (~ 2014) gerelateerde 3D LiDAR-puntenwolken. Deze kunnen, in combinatie met satellietbeelden met een zeer hoge ruimtelijke resolutie zoals Worldview-3 met een 30 cm ruimtelijke resolutie, goed ingezet worden om vegetatiestructuur eens in de zes jaar te monitoren. Dergelijke satellietbeelden worden bijna met een dagelijkse frequentie genomen. Door bewolking zal in de praktijk vaak maar ongeveer één keer in de twee weken bewolkingsvrij beeld beschikbaar zijn voor een specifiek gebied. Dit is ruim voldoende voor onze doeleinden van vegetatiemonitoring.

## 1.2 Projectdoelstelling

Doelstelling van het project is om een monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur te ontwikkelen op basis van Remote Sensing (RS) data en -technieken zodat deze de reguliere vegetatiemonitoring kan ondersteunen en dit tevens te demonstreren aan de hand van een uitgewerkte casestudie. Hiervoor is in overleg met meerdere partijen een keuze gemaakt voor een geschikt terrein. Voor dit terrein zijn op basis van gedetailleerde LiDAR-data uit AHN-2 en AHN-3 en zeer hoge resolutie satellietbeelden uit verschillende jaren veranderingen in de vegetatiestructuur op 1 m resolutie gemeten en vastgelegd. In nauwe samenwerking met vegetatiedeskundigen is er een vertaling gemaakt van de geïdentificeerde structuurveranderingen op pixelniveau naar objectniveau (vlakken) van beschikbare vegetatiekaarten. Door te kiezen voor een onderzoeksgebied met generieke kaartproblemen, moet het project uiteindelijk leiden tot een Remote Sensing-systematiek die in principe uitgerold kan worden voor geheel Nederland.

## 1.3 Remote Sensing (RS) methodiek

Deze studie zal zich met name richten op de inzet van LiDAR 3D-puntenwolken uit AHN- en ZHR-satellietbeelden (ZHRS) om veranderingen in de vegetatiestructuur over een periode van zes jaar tijd te detecteren en dit te vertalen naar informatie relevant voor de huidige vegetatie(structuur)kaarten. Er wordt gekozen voor het gebruik van vrij beschikbare 3D LiDAR-puntenwolken uit het AHN, omdat deze verwerkt kunnen worden tot informatie over o.a. de vegetatiehoogte in combinatie met ZHR-satellietbeelden die spectrale informatie kunnen verschaffen m.b.t. veranderingen in vegetatiebedekking. Samen verschaffen ze informatie over veranderingen in vegetatiestructuur in ruimte en tijd.

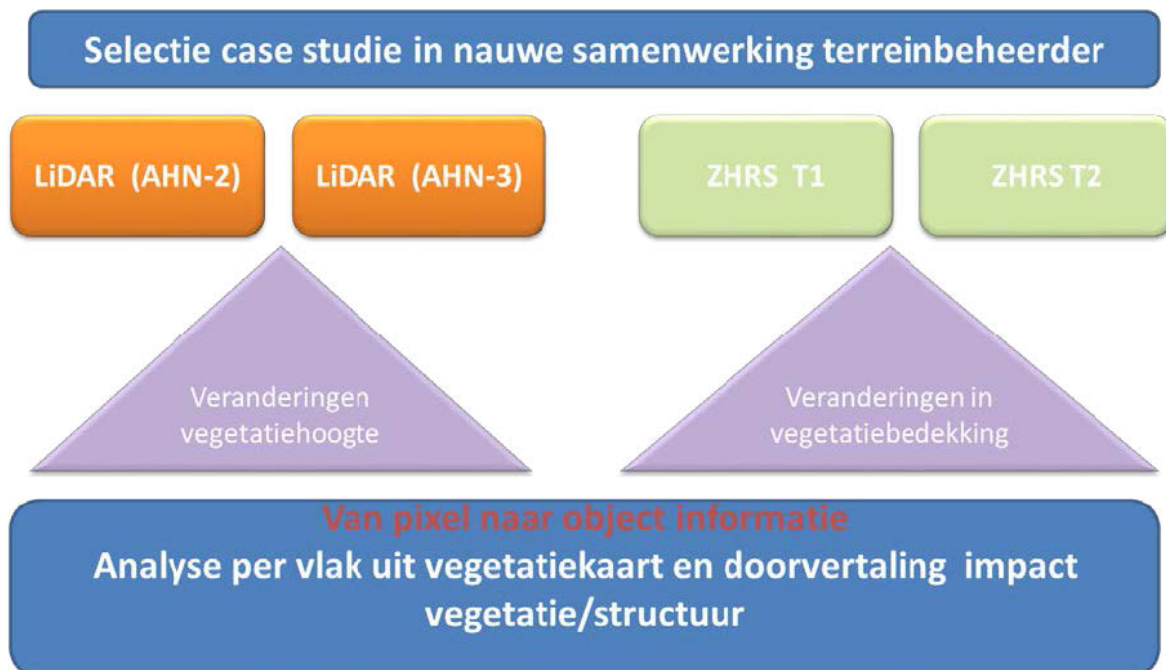
ZHRS zijn beter geschikt dan analoge of digitale luchtfoto's om te classificeren met semiautomatische classificatietechnieken, omdat de reflectiewaarden uit ZHRS een fysieke betekenis hebben en daarmee consistent in de tijd herhaald kunnen worden. Absolute kalibratie van satellietbeelden blijft nog steeds lastig, onder andere door schaduw- en andere bi-directionele effecten waar nog lastig (geautomatiseerd) voor gecorrigeerd kan worden.

Commerciële ZHRS of vrij beschikbare ZHRS uit het nationaal satelliet dataportaal (zie Tabel 1) zijn beschikbaar voor bijna elk gewenst tijdstip over het groeiseizoen. De LiDAR-data hebben daarentegen wel een absolute betekenis, zodat deze direct gebruikt kunnen worden om veranderingen in de vegetatiehoogte te meten. Beide databronnen zijn landsdekkend beschikbaar met een ruimtelijke resolutie van 0,5–2 m. De LiDAR-data worden slechts om de zes jaar geactualiseerd. Wil men een actualisatie frequentie korter dan zes jaar, dan zal men gebruik moeten maken van UAV's (drones) met LiDAR en RGB/NIR-camera's (zie bijv. [www.wur.eu/uarsf](http://www.wur.eu/uarsf) of [booking.labfacilities.wur.nl](http://booking.labfacilities.wur.nl)).

## 1.4 Werkwijze

Deze rapportage verwoordt de volledige, gehanteerde werkwijze voor de Remote Sensing-monitoringsystematiek voor vegetatiestructuur. Daarnaast geeft zij inzicht in welke vragen nog onbeantwoord zijn gebleven aan het einde van de pilot. De Remote Sensing-monitoringsystematiek voor vegetatiestructuur moet een sneller inzicht verschaffen in veranderingen binnen vegetatiestructuur en habitattypen, die anders enkel via de conventionele vegetatiekartering kan worden onderbouwd. Vanwege de kosten en ook mogelijke methodologische aspecten beperkt tot eenmaal in de twaalf jaar. Beleidsmatig en specifiek vanuit de Natura 2000-rapportageverplichtingen en PAS-regeling is behoefte aan frequentere updates van minimaal eens in de zes jaar.

De methode waarbij via Remote Sensing de vegetatiestructuur wordt gevolgd, zou zo opgezet moeten zijn dat vanuit de lucht meetbare veranderingen in de vegetatiestructuur in principe voor geheel Nederland zou kunnen worden afgeleid met relatief makkelijk toegankelijke Remote Sensing-data, mits deze een zeer hoge ruimtelijke resolutie hebben (van ~ 1 meter detail), zoals AHN en zeer hoge resolutie satellietbeelden (ZHRS), zie Figuur 1.



**Figuur 1** Overzicht van Remote Sensing-methodiek om te komen tot een monitoringssysteem van veranderingen in de vegetatiestructuur op basis van een casestudie. LiDAR staat voor Laser Imaging Detection And Ranging en bestaat uit laserpuntenwolken met een x-, y- en z-waarde. ZHRS staat voor zeer hoge resolutie satellietbeelden met spectrale informatie nabij de 1 meter resolutie oplossend vermogen.

De Remote Sensing-monitoringsystematiek maakt veranderingen in de vegetatiestructuur zichtbaar en is gebaseerd op het meten van veranderingen in de vegetatiehoogte en de vegetatiebedekking. Vegetatiehoogte en vegetatiebedekking zijn twee belangrijke aspecten van de vegetatiestructuur die complementair aan elkaar zijn. Let wel, uit *Bijlage 1 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om structuurtypen uit de Werkwijze Monitoring te identificeren* en *Bijlage 2 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om vegetatie- en structuurkenmerken van habitattypen te identificeren*, moge duidelijk worden dat de Remote Sensing-data en -methodiek niet geschikt is voor alle structuurtypen en alle structuurkenmerken van habitattypen. Oftewel, de Remote Sensing-methodiek is geen algemene oplossing, maar is bedoeld om de reguliere vegetatiemonitoring te ondersteunen en daarmee efficiënter te maken.

De veranderingen in vegetatiehoogte kunnen worden afgeleid uit de vrij beschikbare LiDAR-puntenwolken uit AHN (lees AHN2 en AHN3) die ongeveer eens in de zes jaar worden geactualiseerd. Let wel: AHN3 is tijdens dit onderzoek nog niet landsdekkend beschikbaar.

De veranderingen in de vegetatiebedekking kunnen worden afgeleid uit zeer hoge resolutie satellietbeelden ZHRS met een ruimtelijke resolutie van tussen de 0,5–2 m. Deze commerciële ZHRS kosten ongeveer 13 euro per km<sup>2</sup> en komen met een hogere frequentie beschikbaar dan de AHN-data. Voor de studie in dit rapport hebben we gebruikgemaakt van de volgende bronnen van ZHRS: a) Worldview 2, b) Pleiades 1B en c) GeoEye 1, met ruimtelijke resoluties van rond de 50cm (PAN) en 2 m (multispectraal). De kosten van deze ZHRS zijn ongeveer 13 euro per km<sup>2</sup>. Recentelijk maakte NSO voor Nederlandse burgers ook ZHRS gratis beschikbaar voor geheel Nederland (zie Tabel 1). Ten tijde van het project (2016) waren de data in Tabel 1 nog niet beschikbaar. Daarom hebben we zelf ZHRS-beelden aangeschaft (5 ZHRS voor minder dan 2000 euro).

**Tabel 1** Overzicht van recentelijk vrij beschikbare satellietbeelden met een zeer hoge ruimtelijke resolutie in het nationaal satelliet-dataportaal van NSO (bron: [www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal](http://www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal))

Satelliet	Sensor	Aankoop Frequentie	Ruimtelijke resolutie
Planet doves	VNIR <sup>1</sup>	2x per maand	3.1 m
Rapid Eye	VNIR, Red-Edge	2x per maand	5 m
Tripletat	PAN <sup>2</sup> , VNIR	4 x per jaar	80 cm PAN, 3.2.m VNIR

<sup>1</sup> VNIR: RGB banden beschikbaar in het zichtbare licht, naast een spectrale band in Nabij-InfraRood

<sup>2</sup> PAN: Panchromatische spectrale band, die met 1 band het gehele zichtbare licht en soms ook NIR meet.

In overleg met BIJ12 en vegetatiedeskundigen als John Janssen is er om praktische redenen gekozen voor het Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide, omdat:

- het gebied voldoende dynamisch en divers is;
- voor dit gebied zowel AHN2 (2008) als AHN3 (2014) LiDAR-data beschikbaar zijn;
- de benodigde vegetatie en habitattypenkaarten voorhanden zijn;
- de terreinbeheerder Dunea mee wilde werken;
- het gebied als goed voorbeeld voor andere gebieden kan functioneren.

Het totale gebied heeft een oppervlakte van bijna 3000 ha. Over de periode 2008–2014 is gekeken naar veranderingen in vegetatiestructuur op basis van veranderingen in vegetatiehoogte en vegetatiebedekking op een resolutie van een bij een meter.

Omdat veranderingen in vegetatiehoogte en vegetatiebedekking op pixelniveau nog weinig zeggen en niet zomaar te relateren zijn aan monitoringsmeetvragen, moet informatie over veranderingen worden gekoppeld aan bijvoorbeeld habitattypen of beheerseenheden op basis van beslisregels. Om op gebiedsniveau uitspraken te kunnen doen over de waargenomen verandering, moet een specifieke doorvertaling (met beslisregels) van veranderingen op pixelniveau naar objectinformatie (vlakken) worden opgesteld. Deze beslisregels per habitatype zouden theoretisch achter het bureau te bedenken en zo mogelijk af te leiden zijn. Maar deze pilot heeft praktisch laten zien dat enkel na validatie en groundtruthing eventuele meer generalistische beslisregels op te stellen zijn. Hiertoe was

---

de pilot beperkt in omvang voor de hele reeks habitattypen waarbij in potentie Remote Sensing een rol zou kunnen spelen bij het volgen van structuurveranderingen.

Mede omdat voor natuurbeheerder Dunea de verruiging binnen de Grijze Duinen (H2130) een hoge prioriteit heeft, is dit onderwerp nader uitgewerkt in deze studie. De begeleidingscommissie van het project bestond uit Marcelle Lock, Marlies Ellenbroek, Peter van der Molen van BIJ12 en Frank Tillie van EZ, met wie regelmatig overleg plaatsvond m.b.t. voortgang van het project. Uiteindelijk is de ontwikkelde Remote Sensing-monitoringssysteem voor vegetatiestructuur toegepast op de identificatie van verruiging Grijze Duinen voor Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide gepresenteerd aan Dunea, BIJ12 en het ministerie van EZ op 8 december 2016, in combinatie met een veldbezoek aan het gebied. Tijdens het veldbezoek hadden we de resultaten op een veldcomputer bij de hand. Deze was gekoppeld aan een zeer nauwkeurige gps (Trimble R1 RTX gps) met een nauwkeurigheid van 50 cm in de plaatsbepaling, zodat ook kleine veranderingen op exacte locatie besproken konden worden. Op 15 december 2016 zijn de resultaten gepresenteerd op het Provinciaal Coördinatoren Overleg (PCO) bij Bij12 te Utrecht. Alle analyses en bijeenkomsten hebben geleid tot (technische) adviezen voor de opdrachtgever en verdere ontwikkeling, zoals verwoord aan het einde van dit rapport. Hiermee is de doelstelling van het project behaald om een aanzet tot een monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur te ontwikkelen op basis van Remote Sensing-data en -technieken die reguliere vegetatiemonitoring kan ondersteunen en dit tevens te demonstren aan de hand van een uitgewerkte casestudie.



**Foto 1** Veldbezoek aan Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide op 8 december 2016 om de resultaten van de ontwikkelde Remote Sensing-monitoringssysteem te bespreken en te evalueren samen met mensen van Dunea, BIJ12, ministerie van EZ en Wageningen Environmental Research (Alterra).

## 1.5 Leeswijzer

Na de inleiding in Hoofdstuk 1, besteedt Hoofdstuk 2 aandacht aan het studiegebied Meijndel-Berkheide en de Remote Sensing-data die gebruikt zijn. Hoofdstuk 3 maakt de Remote Sensing-methodiek duidelijk voor het monitoren van de vegetatiestructuur op basis van AHN (vegetatiehoogte) en ZHR-satellietbeelden (vegetatiebedekking). Hoofdstuk 4 bespreekt de resultaten voor Meijndel-Berkheide aan de hand van de gemeten veranderingen in de vegetatiehoogte en vegetatiebedekking over een periode van zes jaar op 1 meter resolutie, en wat dit betekent voor de verruiging van de Grijze Duinen (H2130) als voorbeeld.

---

## 2 Studiegebied en Remote Sensing-data

Het Natura 2000-gebied Meijndel & Berkheide is om verschillende redenen uitgekozen om de Remote Sensing (RS) methodiek voor vegetatiestructuurmonitoring toe te passen, namelijk 1) beschikbaarheid originele 3D LiDAR-puntenwolken uit AHN2 en AHN3, 2) voldoende dynamiek van het terrein, 3) medewerking terreinbeheerder Dunea, 4) waar verschillende instanties gekarteerd hebben en 5) beschikbaarheid vegetatiestructuur en/of habitattypenkaarten. Dit hoofdstuk beschrijft het studiegebied en de beschikbare gegevens waarop de studie gebaseerd is.

De Remote Sensing-monitoringsystematiek voor vegetatiestructuur is geheel gebaseerd op het meten van veranderingen in de vegetatiehoogte en vegetatiebedekking, waarbij de verandering in vegetatiehoogte wordt afgeleid uit AHN gerelateerde LiDAR-puntenwolken en vegetatiebedekking uit ZHR-satellietbeelden. Beide bronnen kunnen zeer gedetailleerd geanalyseerd worden op een ruimtelijke resolutie van om en nabij 1 bij 1 meter. Let wel, AHN wordt slechts één keer in de zes jaar geactualiseerd, wat een beperking oplegt aan onze methodiek.

Aangezien AHN3 slechts voor een beperkt aantal provincies klaar is, moest het studiegebied in ieder geval in Zuid-Holland, Zeeland of Friesland liggen (zie ook sectie 2.3), en heeft uiteindelijk op basis van bovenstaande voorwaarden en in overleg met vegetatiedeskundigen als John Janssen (WEnR), medewerkers van BIJ12 en Harrie van der Hagen van Dunea geleid tot de keuze voor Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide. In 2020 zal AHN3 voor heel Nederland beschikbaar zijn, en zou de Remote Sensing-methodiek in principe voor heel Nederland kunnen worden uitgerold. Deze studie is de eerste studie waarin data uit AHN2 direct vergeleken worden met AHN3 om veranderingen in de vegetatiehoogte te detecteren. Naast de AHN-bestanden die slechts één keer in de zes jaar geactualiseerd wordt, spelen ook ZHRS-beelden met een ruimtelijke resolutie tussen de 0,5–2 m een grote rol in onze Remote Sensing-monitoringsystematiek, omdat deze satellieten zeer regelmatig overkomen en voor elke gewenste periode in het seizoen ingewonnen kunnen worden, mits er niet veel bewolking is.

Daarnaast hebben verschillende habitattypen in de duinen geen opgaande begroeiing van houtige planten, maar wel een vegetatiedek bestaande uit mossen, korstmossen of zeer lage vegetatie. Deze typen kunnen daarom niet van kaal zand worden onderscheiden enkel op basis van AHN afgeleide vegetatiehoogte. De ZHRS-data kunnen deze begroeiing wel onderscheiden van kaal zand. Dit betekent dat AHN en ZHRS voor deze typen vegetatie aanvullend aan elkaar zijn en respectievelijk voor vegetatiehoogte en vegetatiebedekking worden ingezet. Tijdens de pilot werd duidelijk dat, wil je de veranderingen goed kunnen duiden, deze verandering in bedekking en of hoogte moet worden gezien binnen de context van een habitattypekaart of een beheertypekaart.

### 2.1 Natura 2000-gebied Meijndel & Berkheide

Het Natura 2000-gebied Meijndel & Berkheide ligt in de provincie Zuid-Holland tussen de plaatsen Den Haag, Wassenaar en Katwijk, en is zeer populair bij recreanten: elk jaar bezoeken meer dan 1 miljoen mensen dit gebied. Het heeft een oppervlakte van 2.8940 ha en bestaat uit een kalkrijk duinengebied met een relatief breed middenduin, in de reeks zeereep, buitenduin, middenduin en strandwal. Meijndel zelf ligt relatief laag en vlak met grote 'uitgestoven duinvlakten in sterk geaccidenteerde parabolën', terwijl Berkheide juist relatief hooggelegen en reliëfrijk is. Het Natura 2000-gebied kent verschillende beheerders, waaronder Rijksvastgoedbedrijf/Domeinen, Staatsbosbeheer, Dunea en enkele particuliere terreinbeheerders. Dunea is een drinkwaterbedrijf en levert drinkwater aan circa 1,3 miljoen klanten in Zuid-Holland. Om een goede kwaliteit van het drinkwater te behouden, is ook een goede monitoring van o.a. de vegetatieontwikkeling in het duinterrein noodzakelijk. Dunea maakt gebruik van vegetatie- en flora- en faunakaracteringen om het terreinbeheer te monitoren en te evalueren.





**Foto 2** Foto gemaakt vanaf hoog uitzichtpunt dat een goede indruk geeft van het duingebied Meijndel. De foto is gemaakt op 8 december 2016, de dag waarop we samen met de beheerder, BIJ12 en EZ de resultaten in het veld hebben besproken.



**Foto 3** Foto van goed ontwikkelde grijze duinen (H2130) gemaakt midden in het duingebied Meijndel. Foto is gemaakt op 8 december 2016 tijdens het veldbezoek.



**Foto 4** Foto gemaakt te midden van een plaatselijk open duinstruweel in het duingebied Meijndel, waar verruiging van grijze duinen (H2130) als een probleem wordt ervaren. Door de natuurbeheerder wordt ingegrepen (omkappen bomen en struiken) om verstuiving weer mogelijk te maken. Ook deze foto is gemaakt op 8 december 2016 tijdens het veldbezoek.

Volgens de habitatkaart is binnen Meijndel een groot areaal goed ontwikkeld droog kalkrijk duingrasland aanwezig, naast duindoornstruwelen en droge duineikenbossen. Vochtige duinvalleivegetaties komen op zeer beperkte schaal voor (dit is mede het gevolg van de habitatdefinitie). In het gebied speelden voor de grondwaterafhankelijke habitattypen H2180B duinbossen (vochtig) en H2190 vochtige duinvalleien grote knelpunten in de waterhuishouding en verstuiwingsdynamiek. Wat betreft de landelijke staat van instandhouding is het beoordelingsaspect kwaliteit erg ongunstig voor H2130 Grijze duinen. De nog steeds toenemende algemene verruiging van de duingraslanden en de toegenomen struweelvorming ('verstruweling', inclusief een zeer beperkte toename van Amerikaanse vogelkers) is ongunstig. Ondanks het lichte herstel van de konijnenpopulatie kunnen de konijnen de voortgaande stabilisatie van het stuivende zand in de vorm van verruiging en verstruweling (meestal) niet meer terugdraaien, omdat de vegetatie in de tussentijd al te hoog is geworden voor begrazing. Daar staat tegenover dat op veel plaatsen grootschalige maatregelen worden genomen om verstruweling, vergrassing en vermossing van duingraslanden tegen te gaan, bijvoorbeeld door het stimuleren van verstuiwing en het (opnieuw) invoeren van beweiding. Jaarlijks maaibeheer in specifieke terreingedeelten is gericht op het terugdringen van verruiging, vergrassing en/of verstruweling (ARCADIS, 2016, Janssen et al. 2017; ministerie EZ, 2007; Ministerie EZ, 2016). Zie ook Tabel 2 m.b.t. dynamiek in oppervlakte en kwaliteit van alle habitattypen in het Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide: deze geeft aan dat grijze duinen in kwaliteit aan het toenemen zijn; dit is volledig toe te wijzen aan het intensieve beheer.

**Tabel 2** Tabel met habitattypen waarvoor het Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide is aangewezen en hun dynamiek in oppervlakte en kwaliteit aangeeft (KiWa Water Research/EGG-Consult, 2007).

Code	Habitatnaam	Oppervlakte	Kwaliteit
H2120	Witte duinen	=	↑
H2130A	Grijze duinen (kalkrijk)	↑	↑
H2130B	Grijze duinen (kalkarm)	↑	↑
H2160	Duindoornstruwelen	= (↓)	=
H2180A	Duinbossen (droog)	=	=
H2180B	Duinbossen (vochtig)	=	↑
H2180C	Duinbossen (binnenduinrand)	=	↑
H2190A	Vochtige duinvalleien (open water)	↑	↑
H2190B	Vochtige duinvalleien (kalkrijk)	↑	↑
H2190D	Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)	↑	↑

## 2.2 Zeer hoge resolutie satellietbeelden (ZHRS)

Binnen Nederland worden vegetatiekarteringen tot nu toe eigenlijk niet uitgevoerd op basis van satellietbeelden maar op basis van visuele interpretaties van luchtfoto's, omdat deze de gewenste ruimtelijke resolutie hebben van 10–50 cm. De ruimtelijke resolutie van satellietbeelden is over de afgelopen 40 jaar enorm verbeterd, maar kwam voor het jaar 2000 nog lang niet in de buurt van de 1 meter resolutie. Sinds 10 jaar zijn er verschillende bronnen beschikbaar met een ruimtelijke resolutie rond de 1 meter, en zelfs nu tot een maximale ruimtelijk detail van 30 cm panchromatisch voor sensoren zoals Worldview 3 en 4. Hiermee worden satellietbeelden een interessantere bron voor vegetatiemonitoring, naast het gebruik van drones die wel een zeer hoge resolutie kunnen halen van rond de 1 cm. Het gebruik van drones wordt echter weer beperkt (in hun bereik) door nationale regelgeving en daarmee dekking van de gewenste terreinen. Bijkomend voordeel van ZHRS is dat multispectrale beelden zoals verkregen met drones en satellieten een betere input vormen voor automatische classificaties dan luchtfoto's die vaak visueel geoptimaliseerd zijn (voor visuele interpretatie), maar in Digital Numbers (DN) hun fysieke betekenis hebben verloren.

Wat betreft satellietbeelden speelt het nationale satelliet dataportaal van NSO (Netherlands Space Office, [www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal/](http://www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal/)) een steeds grotere rol, die met het gratis beschikbaar stellen van grote hoeveelheid satellietbeelden voor het Nederlandse publiek het gebruik van satellietinformatie wil stimuleren. Hierin zijn zeer recentelijk ook ZHRS-beelden gratis beschikbaar gekomen voor heel Nederland (zie ook Tabel 1). Ten tijde van de uitvoering van dit project waren deze data echter nog niet beschikbaar. (NB Wel moet worden nagegaan of deze beelden landsdekkend dezelfde resolutie geven als gebruikt in deze pilot.)

In onderstaande Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de meest voorkomende ZHRS, die vaak ook uitgebreide archieven hebben waaruit informatie geput kan worden. Het gaat hier vaak om commerciële providers, met uitzondering van de SENTINELS. Het goedkoopst is het om in de archieven te kijken welke beelden reeds beschikbaar zijn. Daarentegen is het geven van een opdracht om satellietbeelden op te nemen binnen een specifieke tijdsperiode met bijvoorbeeld maximaal 10% bewolking vaak het duurst. Een aantal van deze zeer nuttige satellietarchieven:

- AIRBUS: <http://www.intelligence-airbusds.com/en/4871-browse-and-order>
- Digital Globe: <https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/>
- European Space Imaging: <http://www.euspaceimaging.com/imagery-search>
- Nationaal Satelliet Data Portaal: <http://www.satellietbeeld.nl/>
- Planet: <https://www.planet.com/explorer/>
- SENTINEL & AMAZON: <http://sentinel-pds.s3-website.eu-central-1.amazonaws.com/image-browser/>
- USGS: <http://glovis.usgs.gov/>

Om een idee te krijgen: ZHRS uit commerciële archieven kosten gemiddeld 13 euro/km<sup>2</sup>, wat neerkomt op 13 cent per ha (prijspeil 2017). In feite zijn deze kosten erg laag in vergelijking met luchtfotokosten en bijkomende gemiddelde karteringskosten per ha. Voor kleine gebieden kan het tegenwoordig ook interessant zijn om met UAV's (Unmanned Airborne Vehicle, beter bekend als drones) te vliegen, alhoewel de kosten hiervan een stuk hoger zijn per ha (ongeveer 1 euro per ha). Het grote voordeel van UAV's is wel dat men weinig last heeft van bewolking (maar wel van regen en wind) – en dus op het geschiktste tijdstip in het jaar kan vliegen – en de zeer hoge resolutie, namelijk in centimeters (1-20 cm).

**Tabel 3** Spaceborne Remote Sensing-bronnen die relevant kunnen zijn voor vegetatiemonitoring.

Satelliet sensoren	Lancering	Aantal banden	Ruimtelijke resolutie [m]	Revisit tijd [dagen]	Biophysical parameters
WorldView-2	2009	8 (B,G,R,coastal, yellow,NIR,RedEdge, NIR2)	0.46 (pan) 1.8 (ms)	1.1	Reflectie, NDVI, LAI, blad chlorofyl (en stikstof) concentratie Classificatie
WorldView-3	2014	8 (B,G,R,coastal, yellow,NIR, RedEdge,NIR2) 8 SWIR 12 CAVIS	0.31 (pan) 1.24 (ms) 3.7 (short wave IR)	<1	Reflectie, NDVI, LAI, blad chlorofyl (en stikstof) concentratie Classificatie
WorldView-4 (GeoEye-2)	2016		0.3 (pan) 1.2 (ms)	<3	Reflectie, NDVI, LAI, blad chlorofyl (en stikstof) concentratie Classificatie
QuickBird	2001	4 (B,G,R,NIR)	0.65 (pan) 2.6 (ms)	1 - 3.5	Reflectie, NDVI, LAI Classificatie
GeoEye-1	2008	4 (B,G,R,NIR)	0.4 (pan) 1.65 (ms)	~3	Reflectie, NDVI, LAI
Ikonos	1999	4 (B,G,R,NIR)	1 (pan) 4 (ms)		Reflectie, NDVI, LAI Classificatie

Satelliet sensoren	Lancering	Aantal banden	Ruimtelijke resolutie [m]	Revisit tijd [dagen]	Biophysical parameters
RapidEye (5 satelliet constellatie)	2008	5 (B,G,R,NIR, RedEdge)	5 (ms)	1	Reflectie, NDVI, LAI, blad chlorofyl (en stikstof) concentratie  Classificatie
Pleiades-1A & B (2 satelliet constellatie)	2011/2012	4 (B,G,R,NIR)	0.5 (pan) 2 (ms)	1	Reflectie, NDVI, LAI  Classificatie
SkySat-1 & 2	2013/2014	4 (B,G,R,NIR)	0.9 (pan) 2 (ms)		
SPOT-6 & 7 constellatie	2012/2014	4 (B,G,R,NIR)	1.5 (pan) 8 (ms)	1	
Sentinel-2A & B (2 satelliet constellatie)	2015/2016	13 (VNIR, NIR, SWIR)	10, 20, 60	< 5	Reflectie, NDVI, LAI, blad chlorofyl (en stikstof) concentratie  Classificatie

B: blauw, G: groen; R: rood; NIR: nabij infrarood; pan: panchromatisch; ms: multi-spectraal; VNIR: zichtbaar en nabij infrarood; SWIR: shortwave infrarood; TIR: thermisch-infrarood

De bronnen die wij in onze studie gebruikt hebben, zijn: Worldview 2, Pleiades 1B en GeoEye 1. Pleiades hebben we verkregen via Airbus, en Worldview 2 en GeoEye via European Space Imaging. (Zie ook Figuur 2 voor afbeeldingen van de verkregen satellietbeelden.)

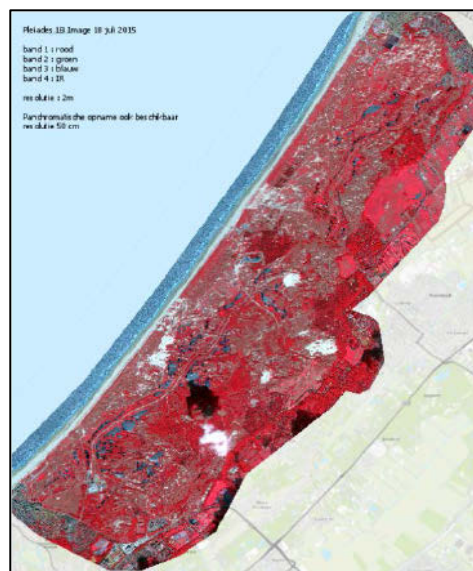
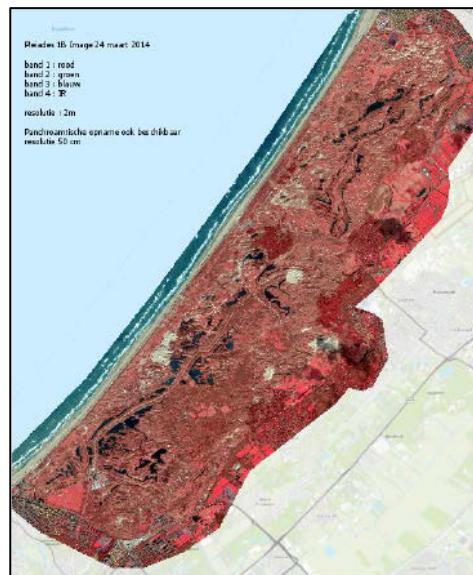
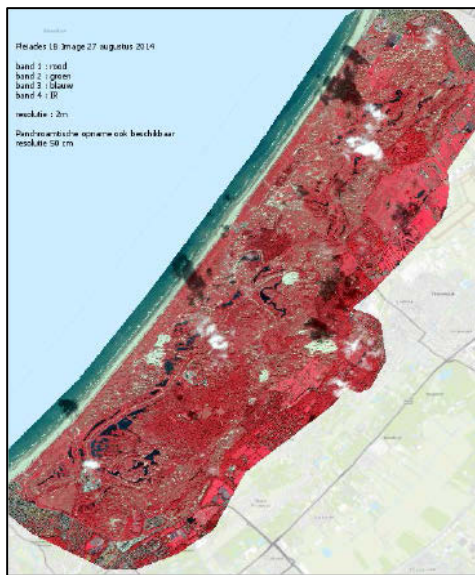
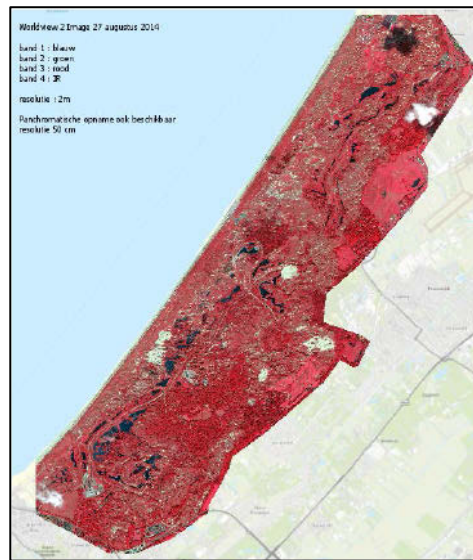
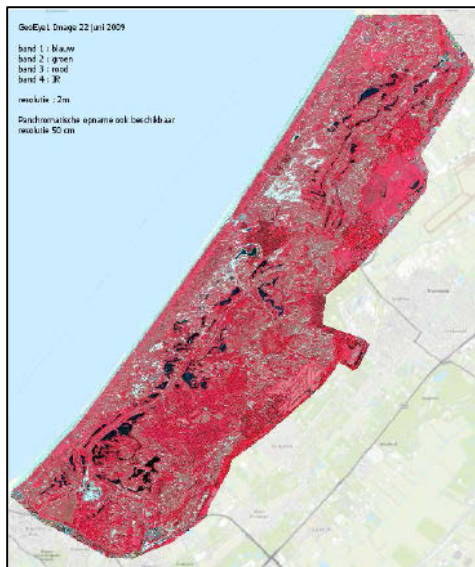
Worldview 2 is gelanceerd op 8 Oktober 2009 en was daarmee DigitalGlobe's derde satelliet in orbit, na de lancering van Worldview-1 in 2007 en Quickbird in 2001. Worldview-2 kan beelden schieten van elke gewenste locatie op aarde met een temporele frequentie van 1.1 dag met een ruimtelijke resolutie van 1.85 m multispectraal, en 0.46 m panchromatisch.

GeoEye-1 is gelanceerd op 6 September 2008, vliegt op een hoogte van 680 km en kan binnen 3 dagen elke plek op de aardbol bestrijken. Het multispectrale beeld heeft een ruimtelijke resolutie van 1.65 meter en het panchromatische beeld een resolutie van 41 cm.

Hoe verder je terug in de archieven kijkt, hoe moeilijker het is om de gewenste satellietbeelden met een zeer hoge resolutie te verkrijgen. Idealiter hadden we graag een goed satellietbeeld uit 2008 gehad, echter dit was niet beschikbaar in het archief. Daarom is er gekozen voor een GeoEye-1 beeld uit 2009. Dit is echter niet ideaal, omdat in de korte periode van 2008 op 2009 ook op specifieke plekken significante veranderingen hebben plaatsgevonden door ingrepen van de beheerder (in dit geval kappen van bos en struweel).

**Tabel 4** Overzicht van aangeschafte ZHRS voor Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide.

Datum	Bron	Resolutie	Aantal banden
22 Juni 2009	GeoEye 1	2m (MS), 0.5 m (PAN)	4: RGB & NIR
24 Maart 2014	Pleiades 1B	2m (MS), 0.5 m (PAN)	4: RGB & NIR
27 Augustus 2014	Worldview 2	2m (MS), 0.5 m (PAN)	4: RGB & NIR
27 Augustus 2014	Pleiades 1B	2m (MS), 0.5 m (PAN)	4: RGB & NIR
18 Juli 2015	Pleiades 1B	2m (MS), 0.5 m (PAN)	4: RGB & NIR



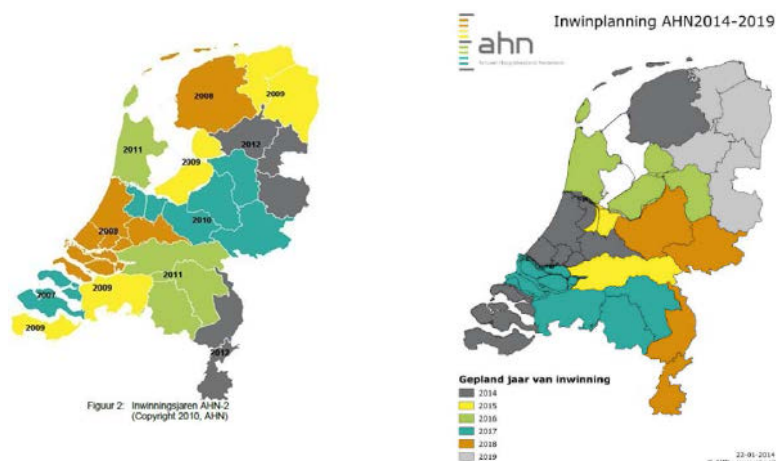
**Figuur 2** Overzicht van aangeschafte zeer hoge resolutie satellietbeelden (ZHRS). Het betreffen in het totaal 5 beelden, zie ook Tabel 5. Aantal kleine wolken zijn aanwezig, die erg lijken op de grote zandverstuivingen in het gebied, en de schaduw van de wolken is ook zichtbaar, beide worden uiteindelijk gemaskeerd voordat de interpretatie plaatsvindt.

## 2.3 Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)

De vrij beschikbare originele puntenwolken uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2 en AHN3) spelen een centrale rol in onze ontwikkelde Remote Sensing-monitoringsystematiek voor vegetatiestructuur. AHN zal ook in de toekomst regelmatig worden geactualiseerd en kan daarmee ook ingezet worden om de vegetatiestructuur te blijven monitoren. AHN is tot stand gekomen door samenwerking tussen de Rijksoverheid en de waterschappen. Het AHN is een ruimtelijke database voor geheel Nederland met gedetailleerde hoogtegegevens. AHN bestaat uit hoogtebestanden die verkregen zijn door het maken van LiDAR-metingen (lasertechnologie) die in Nederland meestal vanuit helikopters worden ingewonnen. De eerste AHN-bestanden (AHN-1) zijn gemaakt in de periode 1996–2003 met één laser hoogtemeting per 16 m<sup>2</sup> (4 m x 4 m) en is verwerkt tot hoogtebestanden met een ruimtelijke resolutie van 25 m. AHN2 is geproduceerd in de periode 2007-2012 (zie Figuur 3) en heeft een dichtheid van ~ 10 laser hoogtemetingen per m<sup>2</sup>, wat resulteert in een hoogtemodel met 0,5 meter gridresolutie. De systematische fout van de hoogtemetingen in AHN2 ligt rond de 5 cm en 95% van de punten heeft een minimale nauwkeurigheid van 15 cm (zie ook kwaliteitsdocument van AHN2 op [www.ahn.nl](http://www.ahn.nl)). AHN3 is vergelijkbaar met AHN2 en de lasermetingen zijn verricht in de periode 2014–2019 (zie Figuur 3). Voor meer achtergrondinformatie zijn alle AHN-producten ook te raadplegen via [www.ahn.nl](http://www.ahn.nl). Omdat AHN2 en AHN3 vergelijkbaar zijn ingewonnen, kunnen de onderliggende data vergeleken worden om veranderingen te detecteren.

De AHN2- en AHN3-databestanden zijn beschikbaar als drie verschillende producten;

1. Originele 3D-puntenwolken: dit zijn ingewonnen LiDAR-punten (x,y,z) waarbij de punten die op het maaiveld liggen, geclassificeerd zijn als 'grond'. Alle overige punten behoren tot de klasse 'niet-geclassificeerd'. Dit zijn alle objecten die boven het maaiveld uitsteken, zoals gebouwen, vegetatie, auto's of hoogspanningsleidingen.
2. De DTM (Digital Terrain Model), het maaiveld rasterbestand. DTM is een digitaal terreinhoogte bestand met een gridcel grootte van 0,5 m dat op basis van de LiDAR-punten met de klasse 'grond' is aangemaakt. Per gridcel is de absolute hoogte boven NAP aangegeven.
3. De DSM (Digital Surce Model), ook wel het ruwe hoogtebestand genoemd, dat nog niet gecorrigeerd is voor alle objecten die boven het maaiveld uitsteken. DSM is een gridbestand met een cel grootte van 0,5 m, dat op basis van de LiDAR-punten met de klasse 'niet geclassificeerd' is aangemaakt. Per gridcel is de hoogte boven NAP opgenomen.

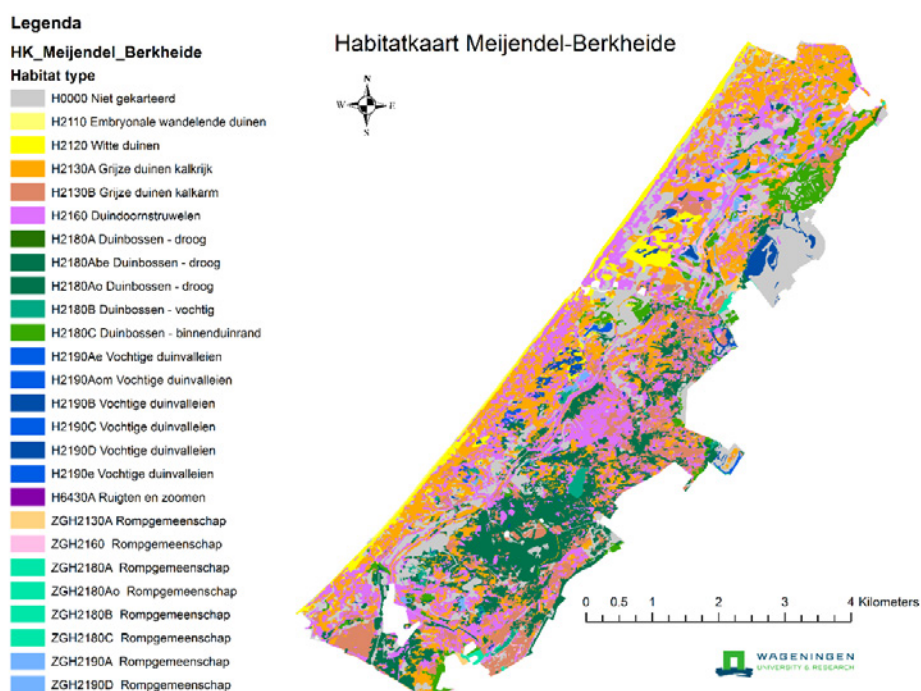


**Figuur 3** Links AHN2 en rechts AHN3 met inwinningsschema's ([www.ahn.nl](http://www.ahn.nl)).

Ons doel is om AHN2 en AHN3 puntenwolken te vergelijken om veranderingen in vegetatiestructuur te detecteren. Aangezien AHN3 nog niet voor alle gebieden in Nederland is ingewonnen (zie Figuur 3), hebben we ons moeten beperken tot een gebied in Zuid-Holland, Zeeland of Friesland. Uiteindelijk is de keuze gemaakt om de vergelijking uit te voeren voor Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide. Voor de verdere methodiek voor de verwerking van de originele 3D-puntenwolken verwijzen we naar hoofdstuk 3.

## 2.4 Habitattypenkarteringen voor Natura 2000-gebied Meijendel & Berkheide

De habitattypenkartering Meijendel-Berkheide is door ons gebruikt om veranderingen in de vegetatiestructuur te vertalen naar informatie per habitattype. We beperken ons daarbij tot verruiging van Grijze Duinen (H2130) over een periode van zes jaar (2008–2014). Als basis voor de habitattypenkarteringen dienden true-colour luchtfoto's uit 2010 en infrarood luchtfoto's uit 2006, in combinatie met de oorspronkelijke vegetatiekarteringen die echter sterk van elkaar verschillen, o.a. doordat ze gemaakt zijn in verschillende jaren voor de verschillende deelgebieden, en door verschillende bureaus met hun eigen methodische insteek (Janssen et al. 2017). Uitgangspunt voor de vertaling van vegetatietypen naar habitattypen vormde het profielendocument voor de habitattypen (versie 2008/2009; [www.synbiosys.alterra.nl/Natura2000/](http://www.synbiosys.alterra.nl/Natura2000/)). De complete habitattypenkaart van het Natura 2000-gebied Meijendel-Berkheide is te zien in Figuur 4 en levert de onderstaande resultaten (Tabel 5) op over de oppervlakten van de habitattypen (Janssen et al. 2017).



**Figuur 4** Habitatkaart Natura 2000-gebied Meijendel-Berkheide (Janssen et al; 2017).

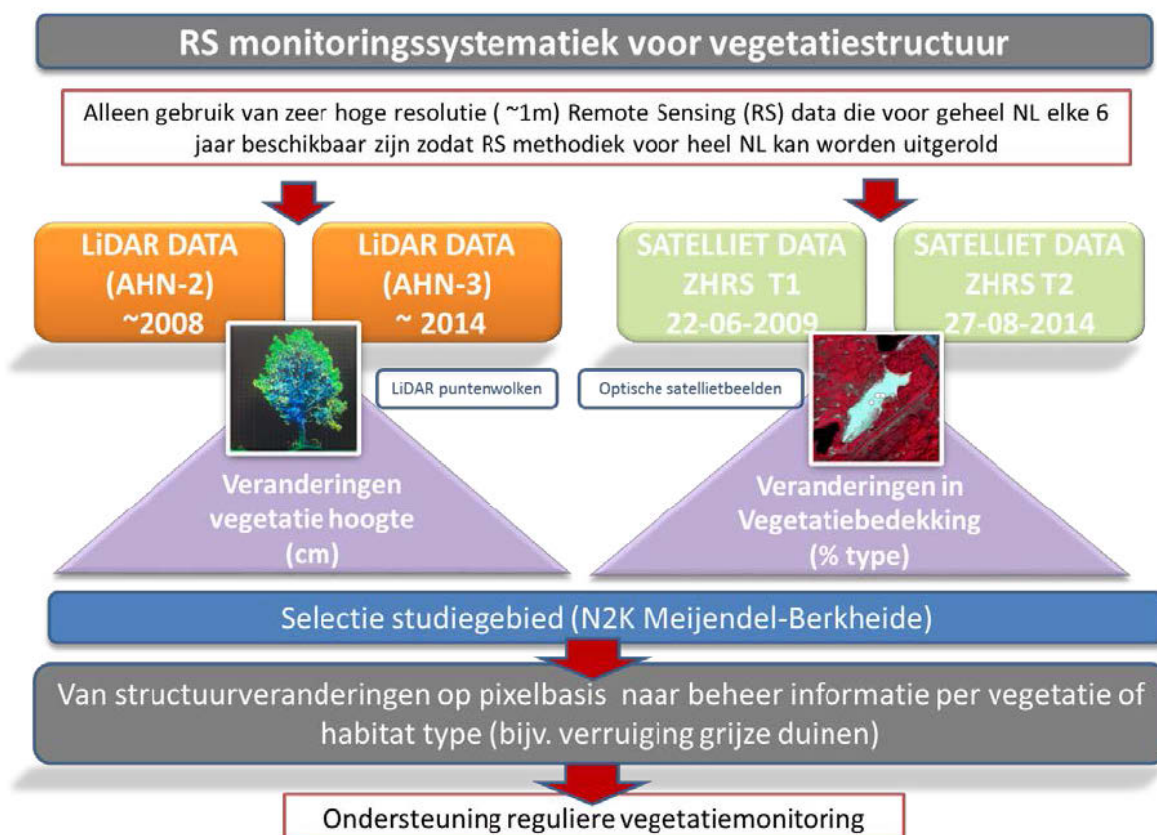
**Tabel 5** Oppervlakten van de habitatklassen in de habitattypenkaart Meijendel-Berkheide (Janssen et al. 2017).

Habitattype	Beschrijving	Oppervlakte (ha)
H2110	Embryonale wandelende duinen	95 ha
H2120	witte duinen	938 ha
H2130A	grijze duinen - Kalkrijk	5772 ha
H2130B	grijze duinen - Kalkarm	2909 ha
H2160	Duindoornstruwelen	5940 ha
H2180A	Duinbossen - droog	4154 ha
H2180B	Duinbossen - vochtig	272 ha
H2180C	Duinbossen - binnenduinrand	1294 ha
H2190A	Vochtige duinvalleien	106 ha
H2190B	Vochtige duinvalleien	213 ha
H2190C	Vochtige duinvalleien	1.9 ha
H2190D	Vochtige duinvalleien	306 ha
H6430A	ruigten en zomen	0.6 ha
ZGH2130A	Rompgemeenschap grijze duinen - Kalkrijk	20 ha
ZGH216	Rompgemeenschap Duindoornstruwelen	292 ha
ZGH2180A	Rompgemeenschap Duinbossen - droog	4.1 ha
ZGH2180B	Rompgemeenschap Duinbossen - vochtig	4.5 ha
ZGH2180C	Rompgemeenschap Duinbossen	31 ha

# 3 Remote Sensing- monitoringsmethodiek

## 3.1 Inleiding

Wil de inzet van Remote Sensing zinvol zijn voor de monitoring van vegetatiestructuurveranderingen binnen Natura 2000-gebieden, dan moet dit gebaseerd zijn op ruimtelijke data die voor heel Nederland beschikbaar zijn, met een ruimtelijke resolutie variërend tussen de 0,5–2 m resolutie, en die daarnaast ook regelmatig geactualiseerd worden. De uitgevoerde pilot heeft hierbij direct aangetoond dat dit in 2017 nog niet mogelijk was. AHN3 wordt pas volledig opgeleverd in 2019. De Remote Sensing- monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur is gebaseerd op het meten van veranderingen in de vegetatiehoogte en vegetatiebedekking (zie Figuur 5), waarbij de vegetatiehoogte wordt afgeleid uit AHN-gerelateerde LiDAR-puntenwolken en vegetatiebedekking uit ZHR-satellietbeelden. Op basis van vegetatiehoogte en vegetatiebedekking kunnen niet alle structuurveranderingen gedetecteerd worden. (Zie Bijlage 1 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om structuurtypen uit de Werkwijze Monitoring te identificeren en Bijlage 2 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om vegetatie- en structuurkenmerken van habitattypen te identificeren.) In dit hoofdstuk zullen we gedetailleerd ingaan op de RS-monitoringssysteematiek voor vegetatiestructuur, met speciale aandacht voor het verwerken van de originele LiDAR-puntenwolken tot vegetatiehoogte en het verwerken van ZHR satellietbeelden tot geclassificeerde vegetatiebedekking. Naast het processen van deze data is er ook aandacht voor de methodiek om veranderingen in vegetatiehoogte en vegetatiebedekking te bepalen.



**Figuur 5** Overzicht van de aanzet tot een Remote Sensing-monitoringssysteematiek voor vegetatiestructuur die we ontwikkeld hebben aan de hand van het meten van veranderingen in de vegetatiehoogte en vegetatiebedekking over een periode van zes jaar voor het Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide. Deze methodiek kan in principe voor geheel Nederland worden uitgerold en dient (slechts) ter ondersteuning van de reguliere vegetatiemonitoring.



---

De Remote Sensing-methodiek voor het detecteren van veranderingen in de vegetatiestructuur is gebaseerd op het meten van veranderingen in vegetatie hoogte afgeleid uit LiDAR 3D-puntenwolken in combinatie met, waar nodig, veranderingen in eenvoudige spectrale thematische klassen, zoals kaal, bedekt en opgaande begroeiing die afgeleid kunnen worden uit satellietbeelden.

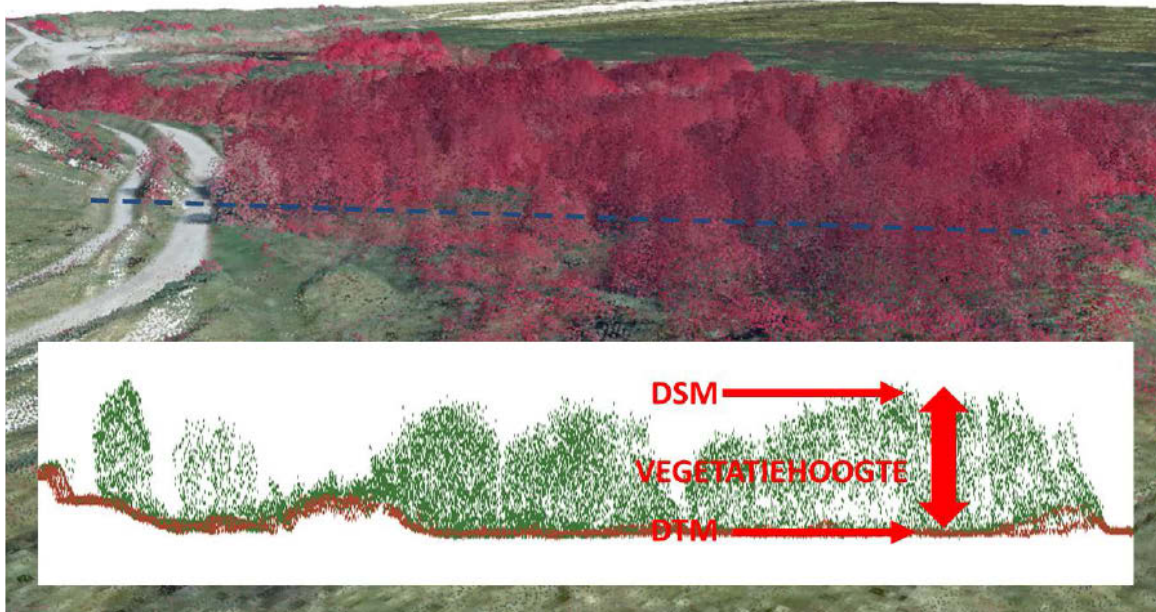
Als een vegetatietype uitsluitend bestaat uit een zeer lage begroeiing, bijvoorbeeld mossen, korstmossen en algen, kan LiDAR geen onderscheid maken tussen 'vegetatie' en 'geen vegetatie'. Daarvoor is spectrale informatie nodig en kan bijvoorbeeld de successie van kaal zand naar zand bedekt met mossen gemeten worden.

Indien we te maken hebben met opgaande begroeiing, dan kunnen veranderingen in vegetatiestructuur waargenomen worden met LiDAR-data. Alle veranderingen in vegetatiehoogte en spectrale klassen zijn geanalyseerd per m<sup>2</sup> over een periode van zes jaar (2008-2014). De veranderingen in spectrale klassen en vegetatiehoogte per m<sup>2</sup> op pixelbasis moeten dan uiteindelijk vertaald worden naar ecologische relevante informatie voor veranderingen in de vegetatiestructuur voor objecten zoals gedefinieerd in de oorspronkelijke vegetatiekaart of habitattypenkaart. De ecologische doorvertaling van veranderingen in pixelinformatie naar objectinformatie (vlakken) is in veel gevallen habitat-specifiek en probleem-specifiek. In dit rapport is de doorvertaling uitgewerkt voor het habitattype Grijze Duinen (H2130) m.b.t. verruigingsproblematiek grijze duinen.

## 3.2 Processing AHN-puntenwolken

Waarom is het verwerken van de originele AHN-puntenwolken nodig terwijl er bestaande DTM (Digital terrain Model) en DSM (Digital Surface Model) producten in AHN zijn? Bij het werken met AHN-data in eerdere projecten is gebleken dat de hoogte die in het ruwe rasterbestand is opgenomen voor vegetatie een onderschatting geeft van de hoogte van de vegetatie. Dit kan eenvoudig vastgesteld worden door de DSM-hoogte die in de AHN-gridcel is opgenomen te vergelijken met de hoogte van dezelfde locatie die we meten in de originele 3D-puntenwolk. We hebben geconstateerd dat deze verschillen kunnen oplopen tot enkele meters voor opgaande vegetatie. Een mogelijke verklaring is dat bij het aanmaken van het ruwe raster (DSM) een algoritme is gebruikt dat meer uitgaat van een gemiddelde vegetatiehoogte en niet van de maximale vegetatiehoogte. Dit effect treedt niet op bij gebouwen, hierbij komt de hoogte uit het ruwe bestand wel overeen met de hoogte in de 3D-puntenwolk. Bij een plat dak is er dus geen verschil tussen gemiddelde hoogte en maximale hoogte.

We hebben de vegetatiehoogte dus opnieuw berekend vanuit de originele 3D-puntenwolken (zie Figuur 6), waarbij we de maximale hoogte hebben gebruikt (outliers uitgesloten). Voor de berekeningen is gebruikgemaakt van de software LAsTools (Isenburg 2016). Dit is een verzameling tools voor het bewerken van LiDAR-data. Zowel de AHN2- als de AHN3 3D-puntenwolken zijn beschikbaar in het LAS-formaat, waarbij de punten die op de grond liggen al voorzien zijn van het klasse label 'grond'; alle overige punten hebben het klasse label 'niet geclassificeerd'. Om de hoogte van de vegetatie boven de grond te kunnen bepalen, is als eerste stap de hoogte van elk 3D-punt relatief ten opzichte van de grond bepaald. Hiervoor is de tool 'lasheight' gebruikt. Alle punten die op de grond liggen, hebben nu een hoogte van 0, de overige punten de hoogte boven de grond. Deze informatie is vervolgens verrasterd met een celgrootte van 1 bij 1 meter (per m<sup>2</sup>), waarbij de maximale hoogtewaarde aan elke gridcel is toegekend. Het resultaat bevat nu de hoogte boven de grond van alle opgaande elementen, zowel vegetatie als gebouwen e.d. Echter, binnen het Natura 2000-gebied Meijndel-Berkheide zijn bijna alle opgaande elementen begroeiing en geen gebouwen.



**Figuur 6** Gebruik originele LiDAR-puntenwolken om juiste vegetatiehoogte te kunnen afleiden.

### 3.3 Processing ZHR-satellietbeelden

De originele satellietbeelden zijn met behulp van het softwarepakket ENVI/IDL omgezet naar bestanden in het TIFF-formaat. ENVI/IDL kent sensor specifieke import mogelijkheden voor een correcte verwerking van de originele beelden. Na het importeren wordt een kalibratie uitgevoerd waarmee per beeld radiometrische correcties op basis van meegeleverde metadata doorgevoerd worden. De vertaling naar reflectiewaarden wordt gedaan om satellietbeelden van verschillende sensoren en opnametijdstippen beter met elkaar vergelijkbaar te maken. Echter, een vertaling naar absolute reflectiewaarden (surface reflectance) is nog steeds lastig, niet alleen omdat de samenstelling van de atmosfeer op het moment van opname boven het specifieke gebied vaak niet geheel bekend is (bijv. m.b.t. aerosolen), maar ook het feit dat het nog steeds lastig is om goed te corrigeren voor schaduweffecten en andere bi-directionele effecten. Hierdoor kunnen veranderingen meestal niet direct worden gehaald uit de veranderingen in reflectie, maar moet er eerst een classificatie plaatsvinden naar thematische klassen die dan vergeleken worden.

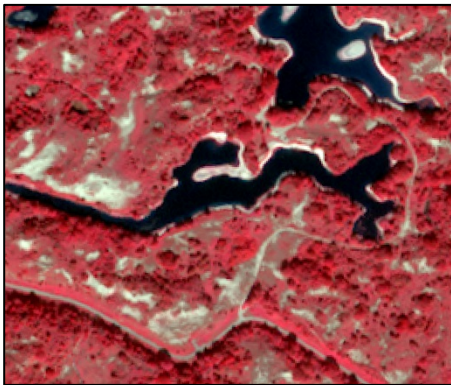
De originele satellietbeelden zijn voorzien van UTM-coördinaten (voor Zone 31) met de WGS84 projectie. De ligging van de Worldview-2, Pleiades-1B en GeoEye-1 satellietbeelden is redelijk goed, maar in vergelijking met de ortho-luchtfoto's (met het RD-coördinatenstelsel) lopen geometrische afwijkingen soms op tot enkele meters. Voor deze geometrische afwijkingen kan weer gecorrigeerd worden. De gekalibreerde satellietbeelden zijn door middel van een additionele geometrische correctie naar het RD-coördinatenstelsel omgezet. Dit is in ArcGIS uitgevoerd, waarbij visueel paspunten in de ortho-luchtfoto (met RD-coördinaten) van hetzelfde jaar als het satellietbeeld zijn aangewezen (verspreid over het gehele gebied). Dit is voor elk satellietbeeld uitgevoerd. De ligging van de satellietbeelden is hiermee verbeterd, maar er blijven nog steeds kleine geometrische afwijkingen mogelijk. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezige hoogteverschillen van het maaiveld. Om de ligging van de satellietbeeld exact goed te krijgen, dat wil zeggen met minder dan 2 m afwijking (de afmeting van 1 pixel), moet een ortho-rectificatie uitgevoerd worden, waarbij ook de afwijkingen die ontstaan door de hoogteverschillen in het terrein gecorrigeerd worden. Voor de beoogde toepassing, waarbij de satellietinformatie per habitatobject geanalyseerd wordt, zijn de huidige geometrische afwijkingen acceptabel.

Naast elk multispectrale (MS) satellietbeeld met 2 m pixelgrootte is er ook een panchromatisch (pan) opname met een pixelgrootte van 0,5 m van hetzelfde gebied beschikbaar (zie Figuur 7). Het detail van het panchromatische beeld kan samengevoegd worden met de kleuren uit het multispectrale beeld waardoor een multispectraal beeld ontstaat met een pixelgrootte van 0,5 m. Dit proces wordt pansharpenering genoemd en is uitgevoerd in ENVI/IDL met het 'NNDiffuse Pan Sharpening' algoritme. Dit pansharpened beeld is vooral geschikt voor visuele interpretatie, aangezien het aanzienlijk gedetailleerder is dan het originele multispectrale beeld. Echter, doordat alle reflectiewaarden uit de multispectrale banden beïnvloed worden door reflectiewaarden uit het panchromatische beeld, heeft het resultaat geen fysieke betekenis meer en is daardoor meestal niet meer geschikt voor het genereren van standaard afgeleide producten als een vegetatie-index (NDVI).

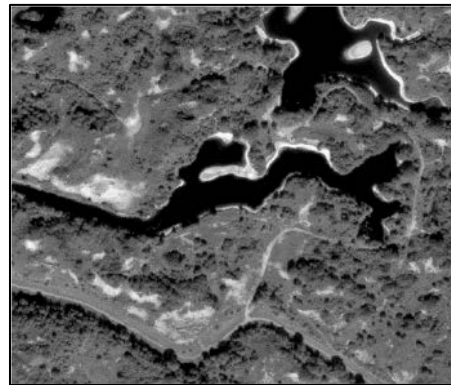
Per satellietbeeld is de vegetatie-index NDVI (Normalized Vegetation Difference Index) berekend (zie ook Figuur 7). De NDVI wordt bepaald met behulp van de reflectiegegevens uit nabij-infrarode band en de rode band en is een indicator voor de hoeveelheid groen of biomassa. De index loopt van 0 (geen groen) naar 255 (veel groen). De NDVI is omgezet naar een vegetatiebedekkingskaart met drie klassen (zie Figuur 6);

1. kaal (kaal zand of water)
2. bedekt (een toplaag van bijv. niet-groene mossen)
3. begroeid (een groene toplaag)

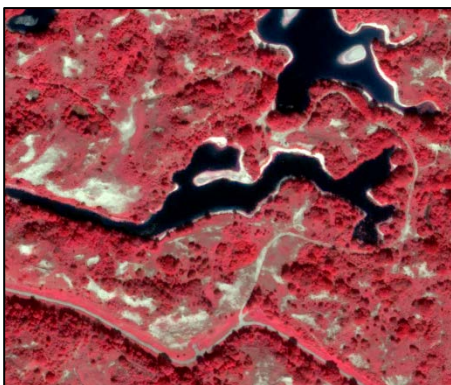
De NDVI-grenswaarden tussen de klassen zijn visueel bepaald op basis van het satellietbeeld.



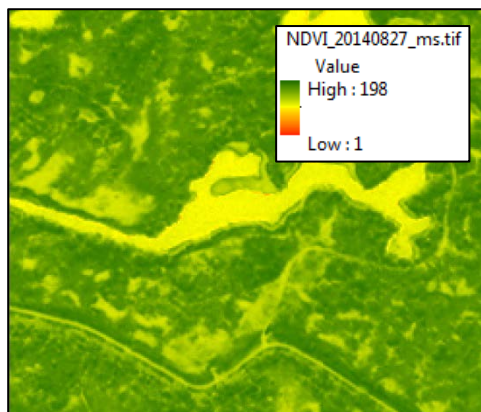
*Detail multispectrale Worldview-2 satellietbeeld met 2 m resolutie (ms\_20140827\_2m)*



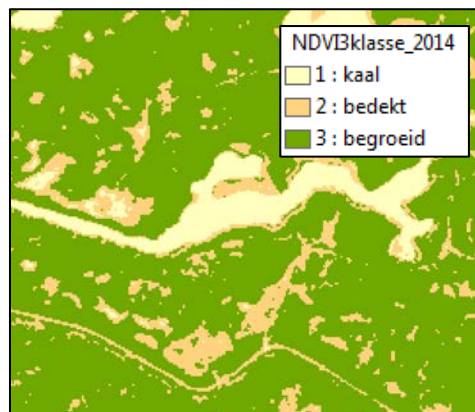
*Detail panchromatische Worldview-2 satellietbeeld met 0,5 m resolutie (pan\_20140827\_0.5)*



*Detail pansharpened Worldview-2 satellietbeeld met 0,5 m resolutie*



*Detail berekende NDVI (Normalized Difference Vegetation Index als indicatie biomassa) met 2 m resolutie (NDVI\_20140827)*



*Detail geclassificeerde NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) met 2 m resolutie (NDVI\_klasse\_20140827)*

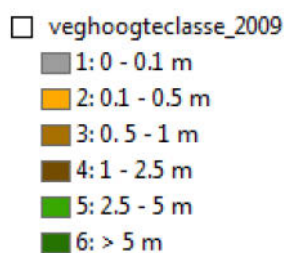
**Figuur 7** Detailvoorbeelden van de ZHR-satellietbeelden en afgeleide producten.

### 3.4 Methodiek veranderingen in vegetatiestructuur

In deze studie kunnen de veranderingen in de vegetatiestructuur m.b.v. de beschikbare Remote Sensing-data op twee manieren bepaald worden:

1. meten van veranderingen van de vegetatiehoogte en
2. meten van veranderingen in bedekking.

Het verschil in vegetatiehoogte (veghoogte 2014–veghoogte 2008) levert niet direct bruikbare informatie op. Een boom van 10 m hoogte die 2 m gegroeid is in de periode 2008-2014 blijft nog steeds hetzelfde vegetatietype. Echter, een locatie waar in 2008 geen opgaande vegetatie aanwezig was en in 2014 wel een vegetatiehoogte van 2 m gemeten is, heeft een verandering in vegetatietype ondergaan. Om wel de verandering van vegetatietype (of -structuur) te kunnen bepalen, is de vegetatiehoogte ingedeeld in zes relevante vegetatiehoogte klassen (zie Figuur 8).



**Figuur 8** Indeling in zes vegetatiehoogteklassen (grenzen indeling vegetatie hoogte klassen kunnen worden aangepast naar gelang de specifieke vraag van een terreinbeheerder voor een specifiek vegetatiestructuur – of habitatype).

De definitie van bovengenoemde hoogteklassen kan natuurlijk aangepast worden indien nodig. Het aantal klassen is ruim genomen, omdat nog niet bekend is welke indeling gewenst is. Een internationaal bekende indeling in vegetatiehoogten is die van Bunce et al. (2008) voor General Habitat Categories. In principe zou de indeling in vegetatiehoogte ook afhankelijk kunnen zijn van het habitatype waarnaar gekeken wordt en in welke biogeografische zone deze zich bevindt. De indeling in Figuur 8 is dus probleemafhankelijk.

---

Veranderingen in de vegetatiebedekking worden bepaald op basis van de uit de ZHRS afgeleide vegetatiebedekkingsklassen voor beide tijdstippen (2009-2014). Een kanttekening hierbij is dat de begrenzing van de vegetatiebedekkingsklassen ook licht kunnen veranderen in de tijd door verschillende seizoensinvloeden en weersomstandigheden. Een locatie die bedekt is met mos kan zowel als bedekt als begroeid geclassificeerd worden; als bijvoorbeeld het mos droog is, zal deze aan de klasse bedekt toegekend worden. Is het mos echter nat, dan kan deze (foutief) aan de klasse begroeid toegekend worden. De weersomstandigheden voorafgaand aan de satellietopname zijn hier dus van belang. In hoofdstuk 4 bespreken we de resultaten van de gedetecteerde veranderingen in hoogte en bedekking voor de vegetatie, en hoe deze informatie naar zinvolle informatie per object vertaald kan worden, waarbij het voorbeeld van de verruiging van de grijze duinen bij de hand wordt genomen.

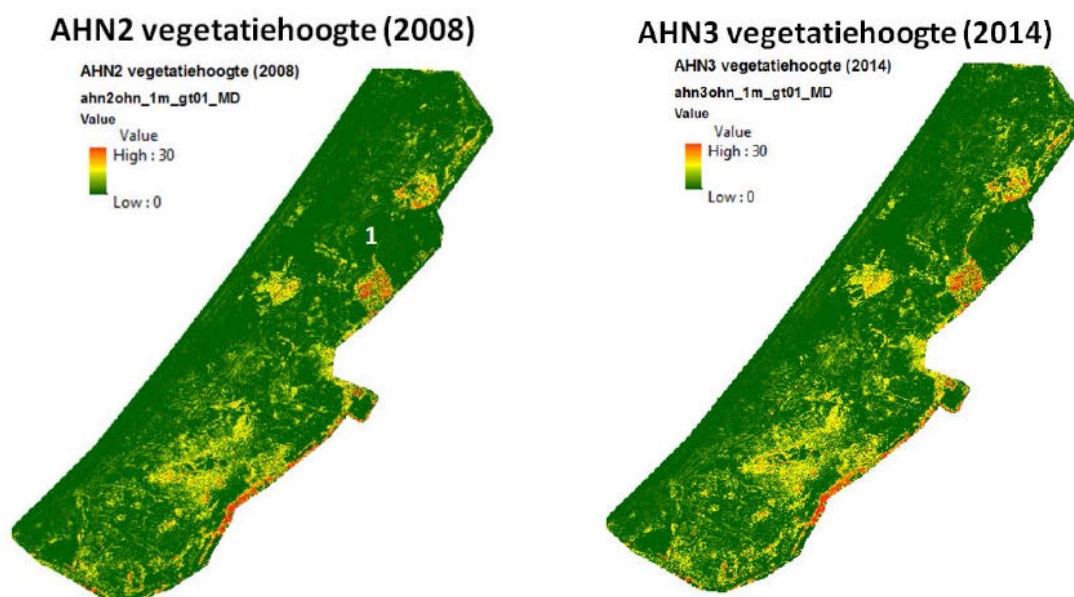
# 4 Resultaten pilot monitoring vegetatiestructuur Meijendel-Berkheide

De Remote Sensing-monitoringsystematiek voor vegetatiestructuur is geheel gebaseerd op het meten van veranderingen in de vegetatiehoogte en vegetatiebedekking, waarbij de vegetatiehoogte wordt afgeleid uit AHN gerelateerde LiDAR-puntenwolken en vegetatiebedekking uit ZHR-satellietbeelden. Echter, veranderingen in vegetatiehoogte en vegetatiebedekking op pixelbasis (1 m) zeggen eigenlijk vaak nog niet zo veel voor terreinbeheerders en beleidsmakers en moeten dus doorvertaald worden met specifieke beslisregels naar beheerinformatie voor bijvoorbeeld de relevante habitattypen of beheerseenheden. Elk habitatype en/of elke beheerder zal vragen om een specifieke doorvertaling van veranderingen in vegetatiehoogte en vegetatiebedekking op pixelbasis naar objectinformatie m.b.v. specifieke beslisregels.

## 4.1 Classificatie en veranderingen in vegetatiehoogte

### Vegetatiehoogte 2008

Figuur 9 links laat de vegetatiehoogte zien (gemeten in centimeters van 0.00 tot 30.00 m) zoals afgeleid uit AHN2 originele puntenwolken voor de situatie in 2008 voor het gebied. Gebieden zonder begroeiing, zoals strand en water, hebben een vegetatiehoogte van 0 m. De maximale boomhoogte in het gebied is ~ 25 m, maar er is een aantal locaties waar bomen staan van 30 m hoogte. Voor defensieterrain De Kom (1) ontbreken de vegetatiehoogten, omdat defensieterrainen in AHN2 gemaskeerd zijn. In AHN3 is hoogte-informatie van het defensieterrain wel opgenomen.

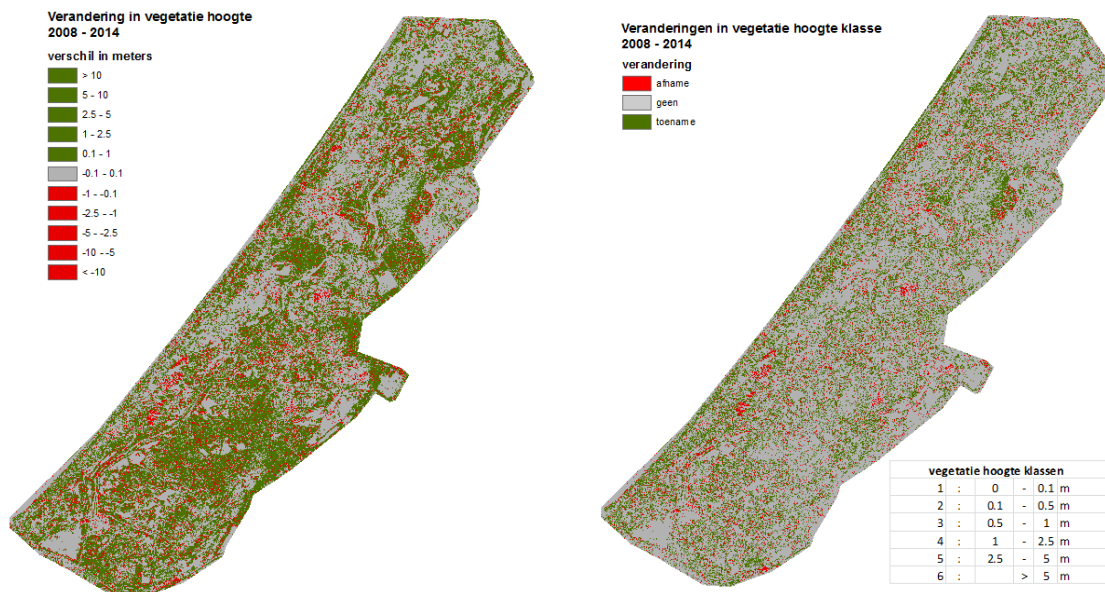


**Figuur 9** Linkerfiguur: vegetatiehoogte 2008 (in centimeters), afgeleid uit AHN2 originele puntenwolken. Rechterfiguur: vegetatiehoogte 2014 (in centimeters), afgeleid uit AHN3 originele puntenwolken. Let wel: rode kleur betekent een zeer grote vegetatiehoogte (maximaal 30 m bij bomen) en groene kleur betekent lage of geen vegetatiehoogte.

Figuur 9 rechts laat de vegetatiehoogte zien (gemeten in centimeters van 0.00 tot 30.00 m) zoals afgeleid uit AHN3 originele puntenwolken voor de situatie in 2014 voor het gebied. Gebieden zonder begroeiing, zoals strand en water, hebben een vegetatiehoogte van 0 m. De maximale boomhoogte in het gebied is ongeveer 27 m, maar er zijn een paar locaties waar een paar bomen staan met een hoogte van 30 m.

## Veranderingen in vegetatiehoogte 2008–2014

De veranderingen in vegetatiehoogte kunnen op twee manieren weergegeven worden. Figuur 10a laat de absolute verschillen in meters zien, Figuur 10b laat de veranderingen zien nadat beide hoogtebestanden eerst ingedeeld zijn in hoogteklassen volgens de getoonde indeling.

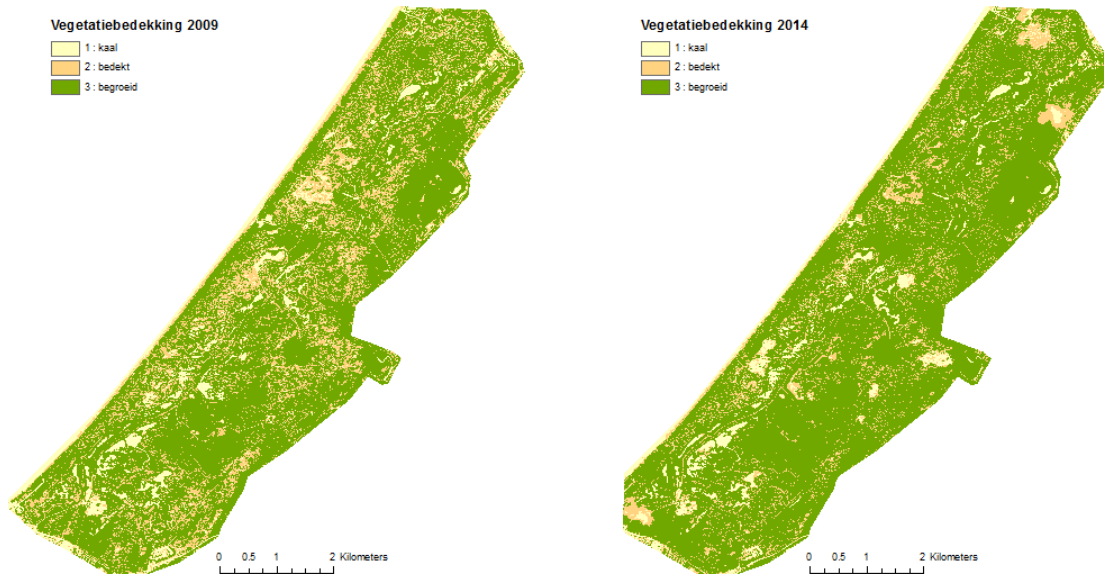


**Figuur 10 a en b** Veranderingen in vegetatiehoogte tussen 2008-2014. Links de veranderingen in absolute hoogte. Rechts de veranderingen in vegetatiehoogte vertaald in hoogteklassen. Bijvoorbeeld als vegetatie van klasse 1 naar klasse 2 is gegaan in een bepaalde pixel, is er sprake van een toename (groen); als een pixel van klasse 6 naar klasse 5 is gegaan, is er sprake van een afname (rood).

Figuur 10b laat goed zien dat een toename in vegetatiehoogte op pixelbasis nog niet altijd een relevante verandering is. Bijvoorbeeld een boom die groeit en daardoor in omvang toeneemt, zorgt ervoor dat een pixel die eerst bedekt was met mossen en een hoogte van 0 m heeft naar klassehoogte 6 kan schieten. De gebruikte klasse-indeling moet eigenlijk ook nog afgestemd worden op de uiteindelijke vraag van de beheerder. Pas dan kunnen significante veranderingen weergegeven worden. In paragraaf 4.3 wordt hier verder op ingegaan.

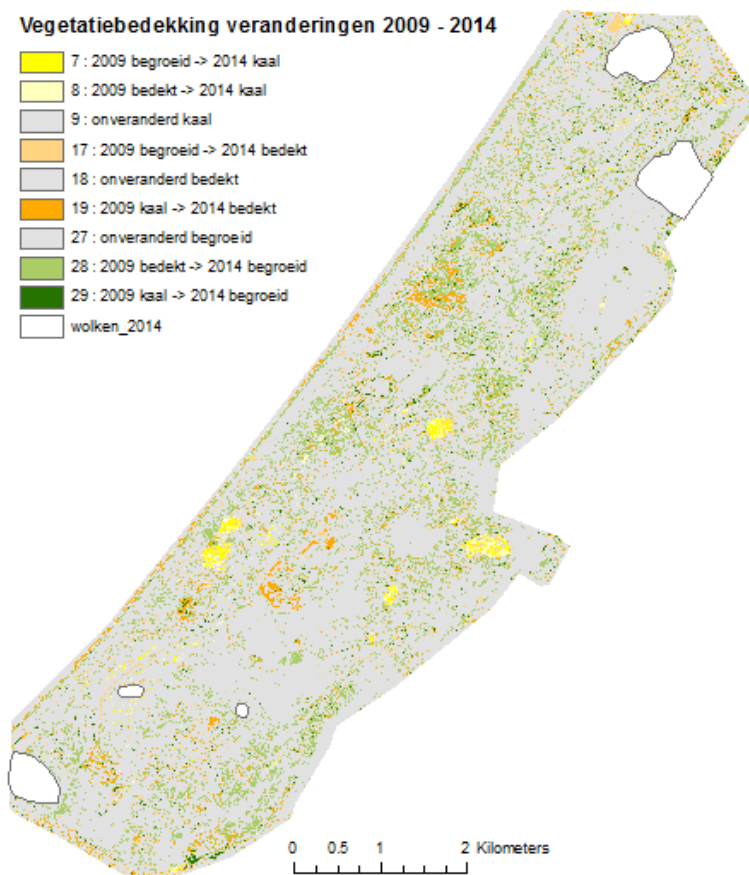
## 4.2 Classificatie en veranderingen in vegetatiebedekking

Per satellietbeeld is de vegetatie-index NDVI (Normalized Vegetation Difference Index) berekend (zie ook Figuur 7). De NDVI wordt bepaald met behulp van de reflectiegegevens uit nabij-infrarode band en de rode band en is een indicator voor de hoeveelheid groen of biomassa. De index loopt van 0 (geen groen) naar 255 (veel groen). De NDVI is omgezet naar een vegetatiebedekkingskaart met drie klassen: 1) kaal (kaal zand of water); 2) bedekt (een toplaag van bijv. niet-groene mossen); 3) begroeid (een groene toplaag). De NDVI-grenswaarden tussen de klassen zijn visueel bepaald op basis van het satellietbeeld. In Figuur 11 worden de vegetatiebedekkingsklassen zoals die zich voordoen in respectievelijk 2009 en in 2014 weergegeven.



**Figuur 11** Linkerfiguur: de vegetatiebedekking op 22 juni 2009; rechterfiguur: de vegetatiebedekking op 27 augustus 2014.

Veranderingen in vegetatiebedekking tussen 2009–2014 worden in onderstaande figuur weergegeven. Er zijn 9 theoretische combinaties mogelijk die allemaal voorkomen.

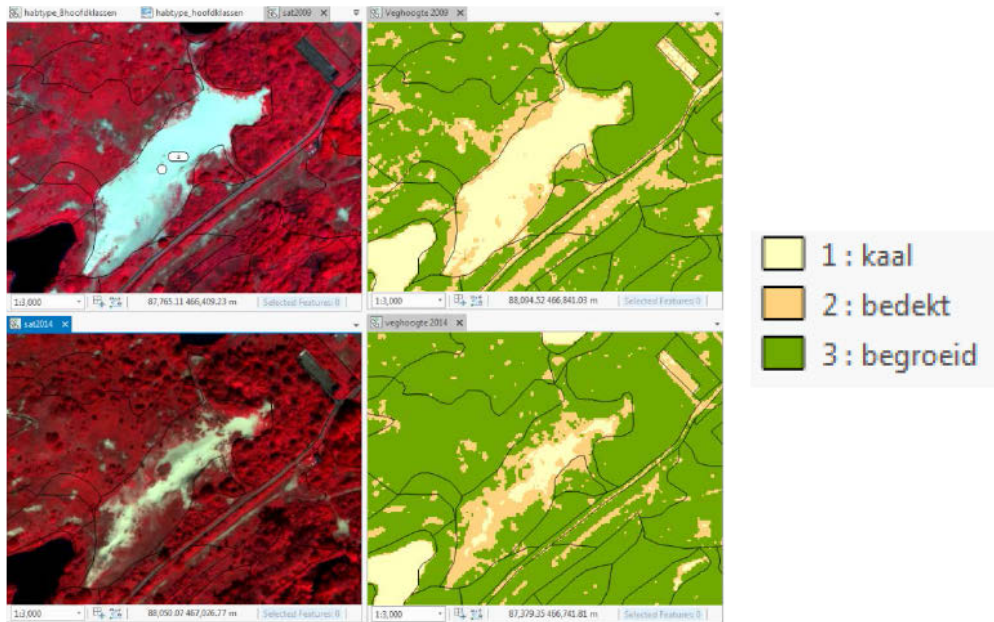


**Figuur 12** Veranderingen in vegetatiebedekking juni 2009–augustus 2014. Let wel: vegetatiebedekking is gevoeliger voor verschillen in weer of seizoenen dan vegetatiehoogte en bevat daarmee op pixelniveau ook iets meer ruis dan de geconstateerde veranderingen in vegetatiehoogte, maar zo zijn de gebieden waar de vegetatie verwijderd is om de zandverstuivingen op gang te helpen ook zeker duidelijk zichtbaar (gele klassen 7 en 8).

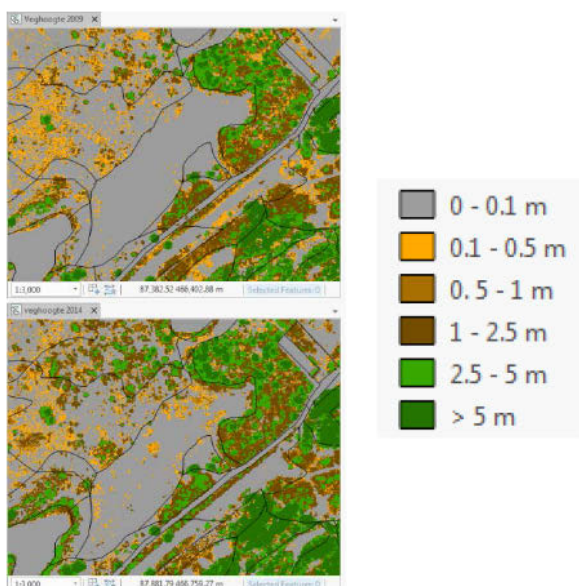


## 4.3 Voorbeelden veranderingen in vegetatiehoogte en vegetatiebedekking

In dit gedetailleerde voorbeeld (zie Figuur 13) zien we linksboven en linksonder de spectrale veranderingen die zichtbaar zijn over een periode van 5 jaar (2009–2014) in de ZHR-satellietbeelden. Het proces van verruiging in het centrale vlak 'Grijze Duinen (H2130)' is goed zichtbaar, waarbij het kale zand bedekt raakt met mossen, grassen en opgaande begroeiing. Rechtsboven en rechtsonder zien we de uit de ZHRS afgeleide classificatie op basis van NDVI-waarden, waar de classificatie is onderverdeeld in 3 klassen: 1) kaal; 2) bedekt; en 3) begroeid. Klasse 1 'kaal' is over de betreffende periode grotendeels vervangen door klassen 2 'bedekt' en 3 'begroeid' voor het centrale object in de figuur.



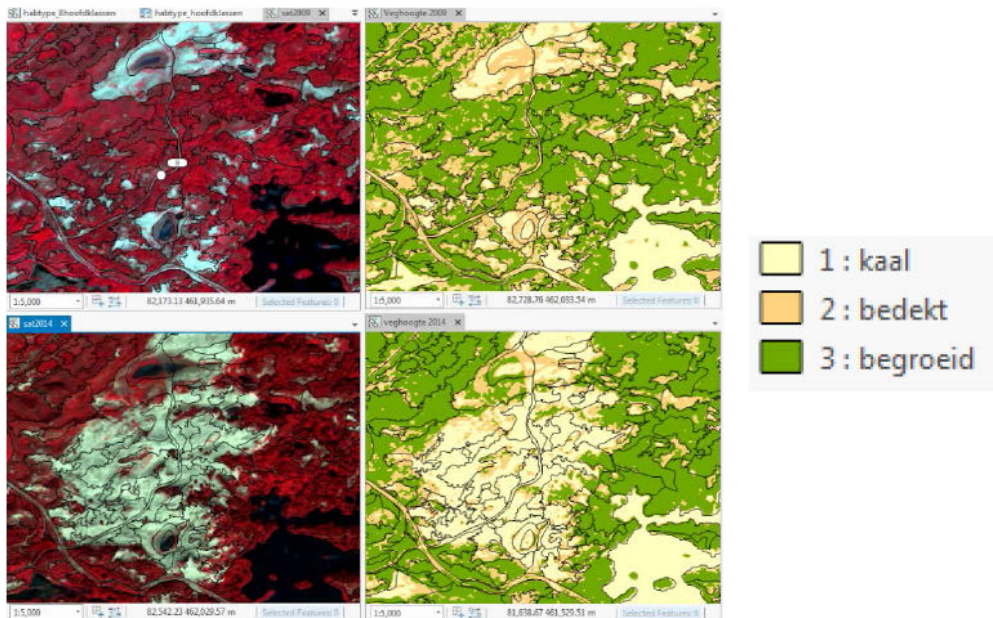
**Figuur 13** Gedetailleerd voorbeeld van veranderingen zichtbaar in de ZHRS false-colour, pan-sharpened (links onder en boven), en daaruit afgeleide veranderingen in de vegetatiebedekking (rechtsboven en rechtsonder. Schaal 1:3000.



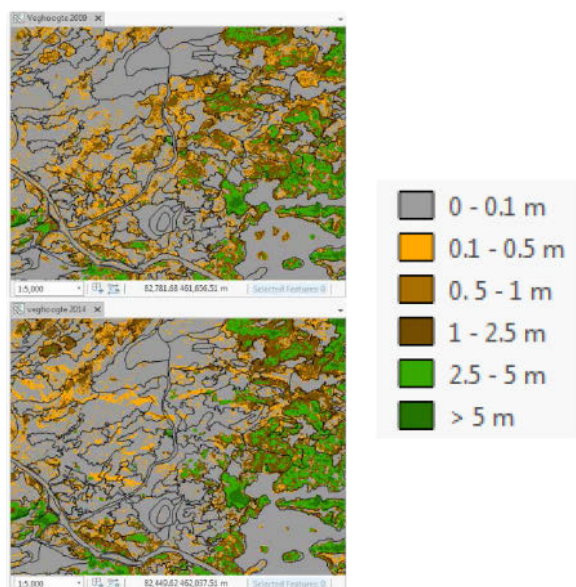
**Figuur 14** Gedetailleerd voorbeeld van veranderingen zichtbaar in de vegetatiehoogte, zoals afgeleid uit de originele LiDAR-puntenwolken van AHN2 (boven; 2009) en AHN3 (onder; 2014) voor hetzelfde gebied als in bovenstaande figuur.

In Figuur 14 zien we hetzelfde gebied, maar dan voor vegetatiehoogte. In 2009 bestond het centrale object 'Grijze Duinen (H2130)' nog voornamelijk uit de vegetatiehoogteklasse 0–0,1 m. Echter in 2014 zien we al veel meer plekken binnen het object met vegetatiehoogte 0,1–0,5 m en zelfs plekjes met 0,5–1 m.

In onderstaande Figuur 15 zien we een voorbeeld van natuurbeheer waarbij de verruiging van Grijze Duinen (H2130) met Duindoorn juist wordt tegengegaan door het actief verwijderen van de vegetatie, waarbij op termijn weer goede kwaliteit grijze duinen terugkeren.



**Figuur 15** Gedetailleerd voorbeeld van veranderingen zichtbaar in de ZHRS (false-colour, pan-sharpened), zie linksonder en -boven, en daaruit afgeleide veranderingen in de vegetatiebedekking, zie rechtsboven en rechtsonder, waarbij het proces van natuurbeheer waarbij verruigde vegetatie uit de Grijze Duinen (H2130) verwijderd is duidelijk is. Schaal 1:3000.



**Figuur 16** Gedetailleerd voorbeeld van veranderingen zichtbaar in de vegetatiehoogte, zoals afgeleid uit de originele LiDAR-puntenwolken van AHN2 en AHN3 voor hetzelfde gebied als in bovenstaande figuur.

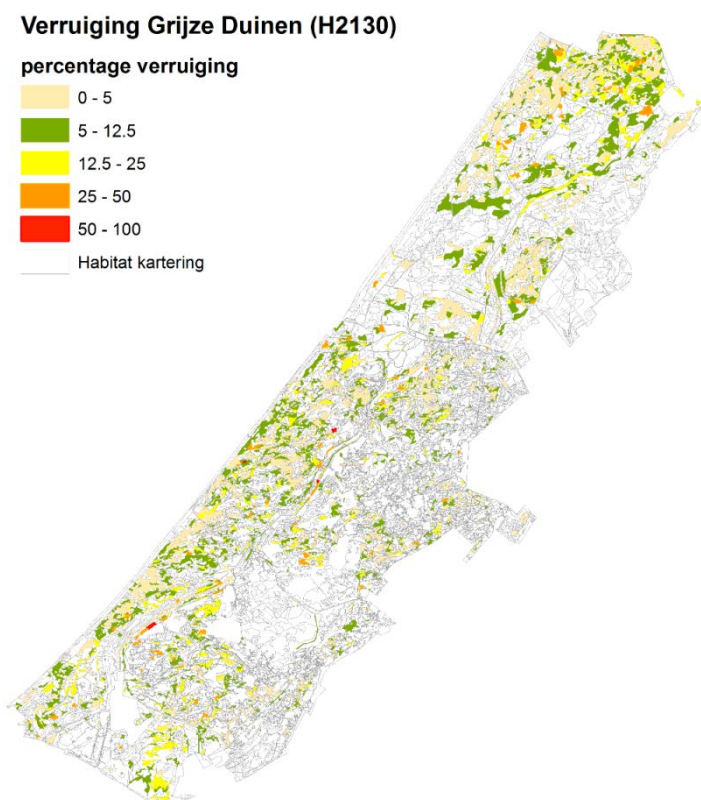
## 4.4 Analyse veranderingen vegetatiestructuur per object

In deze sectie is gekeken naar de doorvertaling van pixelinformatie naar beheerinformatie per habitattype en uitgewerkt voor het habitattype Grijze Duinen (H2130), omdat beheerder Dunea hier met name bezorgd is t.a.v. verruiging van het habitattype door vergrassing en/of verstruweling.

### 4.4.1 Verruiging grijze duinen (H2130)

Een analyse van de vegetatiestructuurveranderingen kan in principe voor het gehele gebied met de beschikbare Remote Sensing-data en methodiek uitgevoerd worden, maar de vraag is of dit ook bruikbare informatie oplevert. De hoogte en bedekkingsklasse van de vegetatie zijn voor beide tijdstippen beschikbaar als een raster met 1 meter resolutie.

Een van de mogelijkheden die de beschikbare data biedt, is het uitvoeren van analyses die afgestemd zijn op vragen van de terreinbeheerder, die vooral geïnteresseerd is in de belangrijkste veranderingen per habitattype of beheertype en waarop de beheerder mogelijk moet reageren. Hierbij wordt de bestaande habitattypenkartering als basis gebruikt en wordt een protocol opgesteld om voor een specifiek habitattype een relevante vraag te beantwoorden. Een voorbeeld van zo'n vraag is: 'Op welke locaties binnen het habitattype Grijze Duinen (H2130) vindt verruiging van de vegetatie plaats?' In het Natura 2000-beheerplan (2016-2028) staat namelijk aangegeven dat gesignaleerd is dat de openheid van het duingebied verloren gaat en dat deze openheid (lees zand en grasland) weer terug moeten komen. Dit betekent dat 1) oprukkende en opgerukte bos en struweelranden weer teruggedrongen moeten worden en dat 2) losse groepjes hogere struwelen bomen in het open gebied verwijderd worden. In beide gevallen ook als het de duintypische meidoorn en eik betreft. In het Natura 2000-beheerplan staat dat tussen de 5 en 45 ha geschoond moet worden. Een kenmerk van goed ontwikkelde Grijze Duinen is dat er geen of weinig opslag van struiken voorkomt. Op basis van de vegetatiehoogte uit 2014 kan per vlak van het type H2130 berekend worden wat het oppervlaktepercentage van opgaande begroeiing is (vegetatiehoogte > 0.5 m). In Figuur 17 wordt het percentage 'vegetatiehoogte > 0.5 m' weergegeven met een indeling in vijf klassen.



**Figuur 17** Percentage verruiging in 2014 per kaarteenheid uit de habitatkaart voor het habitattype Grijze Duinen.

---

Vervolgens kan de terreinbeheerder gericht locaties bezoeken om te bepalen of maatregelen voor het in stand houden van de Grijze Duinen noodzakelijk zijn.

Uit deze bondige analyse van verruiging van het habitatype H2130 'Grijze Duinen' wordt het voor de beheerder in één opslag duidelijk waar zich problemen voordoen m.b.t. verruiging van de grijze duinen, en kan de natuurbeheerder besluiten waar maatregelen het urgentst zijn. Deze Remote Sensing- methodiek voor het monitoren van de verruiging grijze duinen kan relatief gemakkelijk voor heel Nederland worden uitgerold, omdat de AHN2 en AHN3 data op korte termijn voor geheel Nederland beschikbaar komen (AHN3 moet in 2020 voor geheel Nederland klaar zijn). Let wel: terreinbeheerder Dunea geeft bij de analyse verruiging de voorkeur aan de beslisregel % > 0,5 m vegetatiehoogte. De voorkeur voor de grenswaarde kan voor andere terreinbeheerders mogelijk anders liggen. Het heeft de voorkeur van de auteurs om voor geheel Nederland dezelfde beslisregels te hanteren, zodat de methodiek uniform is en daarmee eenduidig, ook m.b.t. habitatrapportages richting de Europese Commissie.

Zowel uit overleg met terreinbeheerder Dunea als presentatieresultaten op Provinciaal Coördinatoren Overleg (PCO) bij Bij12 te Utrecht op 15 december 2016 is duidelijk geworden dat de Remote Sensing- monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur de traditionele vegetatiemonitoring echt kan ondersteunen maar niet vervangen, omdat niet alle veranderingen in structuurtypen met de Remote Sensing-data gemonitord kunnen worden (zie ook Bijlage 1 en 2). Ook werd in het overleg duidelijk dat de Werkwijze Monitoring en Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS (Van Beek, 2014) de Remote Sensing-data meer zou moeten omarmen en de inzet explicieter zou moeten maken voor specifieke structuurtypen.

---

# 5 Conclusies & discussie

## 5.1 Conclusies

De geteste Remote Sensing-monitoringssystematiek voor vegetatiestructuur zou voor heel Nederland kunnen worden uitgerold en kan de reguliere vegetatiemonitoring ondersteunen, maar niet vervangen. Dit omdat niet alle veranderingen in structuurtypen met de Remote Sensing-data gemonitord kunnen worden (zie ook Bijlage 1 en 2). Daarnaast waren tijdens het moment van de pilot verschillende databestanden niet landsdekkend beschikbaar en zijn er sinds de uitvoering van de pilot landsdekkende databestanden beschikbaar gekomen die we niet hebben kunnen testen in deze opzet.

Op basis van de in de pilot uitgevoerde analyses is het mogelijk gebleken om veranderingen in de vegetatiehoogte en -bedekking af te leiden uit respectievelijk de AHN-LiDAR puntenwolken en geclassificeerde ZHR satellietbeelden. Deze veranderingen zijn enkel te duiden in de context van een habitatype, beheer- of vegetatietype. In de pilot is dit in detail voor het habitatype Grijze Duinen (H2130) uitgetest, om te zien of de berekende veranderingen (d.w.z. de verruiging in de vorm van vergrassing of verstruweling) op reële veranderingen berusten. Dit hebben we in het veld via groundtruthing en discussies met terreinbeheerder Dunea kunnen bevestigen.

Met deze pilot kunnen we binnen het onderzochte duingebied ook veranderingen in andere gerelateerde habitattypen duiden, maar deze vragen om andere specifieke beslisregels die we jammer genoeg niet hebben kunnen testen. Hiervoor was de pilot te klein en was de groundtruthing te anekdotisch.

Met deze pilot hebben we wel kunnen vaststellen dat het technisch mogelijk is om de veranderingen op te sporen met behulp van Remote Sensing in een grotendeels begroeid duingebied. Willen we de werkwijze standaardiseren, dan is een praktijkproef in meerdere deelgebieden en verspreid over Nederland nodig. Daarbij is ook voorbereiding naar meerdere graslandtypen (bv. kwelder verruiging d.m.v. duinriet en strandkweek of kalkgrasland met gevinde kortsteel) en heidesystemen en veensystemen (dit laatste i.v.m. met de toegankelijkheid voor karteerders) nodig om een meer gestandaardiseerde methode op te kunnen stellen.

Wanneer het gebruik van Remote Sensing voor heel het Natura 2000-gebied binnen Nederland zou worden ingezet, is dit enkel met een tussen periode van zes jaar uitvoerbaar, omdat de AHN data per zes jaar worden geactualiseerd. Let op: daarbij zal niet heel Nederland in één jaar worden geactualiseerd, maar zal het meerdere jaren duren voordat een nieuwe versie van AHN voltooid is. M.b.v. de uit de ZHRS afgeleide vegetatiebedekking kan de vegetatie wel vaker dan eens in de zes jaar gemonitord worden, maar zijn er grotere onzekerheden verbonden aan de absolute waarden in vegetatiebedekking dan in vegetatiehoogte. Classificatie van de vegetatiebedekking uit ZHRS wordt wel sterker beïnvloed door seizoen en weersomstandigheden. Bij een veranderingsanalyse moet je hiermee goed rekening houden. Verandering in vegetatiebedekking is niet direct een verandering in vegetatiestructuur. Veranderingen in vegetatiehoogte zijn in het algemeen betrouwbaarder te meten dan veranderingen in vegetatiebedekking.

Op basis van de pilot zouden de auteurs de inzet van Remote Sensing willen beperken tot een structurele monitoringsfrequentie van eens in de zes jaar, waarbij een hotspotdetectie op basis van vegetatiebedekking uit ZHRS mogelijk is, en dient als een signaal en evaluatiefunctie voor terreinbeheerders en beleidsmakers. Voor specifieke Natura 2000-gebieden waar de dynamiek van het gebied zeer hoog is, kan men ook frequentere LiDAR-updates mogelijk maken m.b.v. UAV's (drones) met LiDAR-camerasystemen.

Op basis van vegetatiehoogte en vegetatiebedekking is het niet mogelijk alle structuurveranderingen te detecteren (zie Bijlage 1 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om structuurtypen uit de Werkwijze Monitoring te identificeren en Bijlage 2 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om vegetatie- en

---

structuurkenmerken van habitattypen te identificeren). De RS-methodiek dient slechts ter ondersteuning van de reguliere vegetatiemonitoring. Daarnaast is de RS-methodiek complex en kan mogelijk niet door elke terreinbeherende organisatie of groenbureau zelf worden uitgevoerd. Bij deze organisaties is vaak wel voldoende GIS-expertise aanwezig, maar niet voldoende RS-expertise en specifieke software. Ons advies zou zijn dat de op pixelbasis gedetecteerde veranderingen in vegetatiehoogte en vegetatiebedekking centraal worden verwerkt en vervolgens worden aangeleverd aan terreinbeheerder en groenbureaus voor verdere analyses in een GIS.

Uit de analyse van verruiging van het habitatype H2130 'Grijze Duinen' wordt het voor de beheerder in één opslag duidelijk waar zich problemen voordoen m.b.t. verruiging van de grijze duinen en kan de natuurbeheerder besluiten waar maatregelen het meest urgent zijn en daarna weer evalueren (na 6 jaar). Deze Remote Sensing-methodiek voor het monitoren van de verruiging van grijze duinen kan relatief gemakkelijk voor heel Nederland worden uitgerold. De Remote Sensing-methodiek kan ook voor andere habitattypen worden uitgerold, maar vragen om specifieke beslisregels m.b.t. vegetatiehoogte en of vegetatiebedekking die alleen in een gemeenschappelijke discussie met terreinbeheerders goed vastgesteld kunnen worden. De auteurs stellen dan ook voor om dit in een aparte reeks overleggen vast te leggen en beheerders en groenbureaus meer ruimte te geven om met bovenstaande informatie te kunnen werken. Daar waar de beslisregels alleen op basis van veranderingen in vegetatiehoogte kunnen worden vastgesteld, maakt het monitoren makkelijker dan op basis van een combinatie van vegetatiehoogte en bedekking, aangezien voor vegetatiebedekking ook de ZHR-satellietbeelden geclassificeerd zullen moeten worden. Voor het detecteren van de verruiging binnen de grijze duinen was het detecteren van veranderingen in vegetatiehoogte voldoende voor de terreinbeheerder Dunea.

De toepassingsmogelijkheden voor de opdrachtgever zijn dat vegetatiestructuurkarteringen in de toekomst efficiënter voor geheel Nederland uitgevoerd kunnen worden. Veldwerk blijft een voorwaarde bij vegetatiestructuurmonitoring. Echter, het veldwerk kan door de Remote Sensing-methodiek efficiënter uitgevoerd worden. Verder is het de verwachting dat de verkregen structuurkarteringen objectiever en consistentere zijn en daarmee de waargenomen veranderingen betrouwbaarder maken. Bovendien is het nu dus mogelijk om elke zes jaar de veranderingen in vegetatiestructuur te bepalen op basis van vegetatiehoogte en of -bedekking. De terreinbeheerders zullen in de toekomst een belangrijke rol moeten spelen om de beslisregels voor alle andere structuurtypen te ontwikkelen. Let wel, Remote Sensing zal nooit met één druk op de knop alle goede antwoorden geven. Input van bestaande veldkennis blijft zeer belangrijk naast de Remote Sensing-output.

## 5.2 Kansen Remote Sensing-methodiek

Naast de getoetste methode op basis van AHN en ZHRS-data zijn aanverwante kansrijke analyses denkbaar. Een overzicht van structuurkenmerken en de mate waarin Remote Sensing-technieken een rol kunnen spelen bij het kwalificeren/kwantificeren van deze kenmerken worden genoemd in Bijlage 1 en Bijlage 2. Aanvullend zijn ook andere indicatoren denkbaar die voor het beheer van belang kunnen zijn.

Remote Sensing-data en -technieken zoals in de case van dit project toegepast, kunnen met grote waarschijnlijkheid ook gebruikt worden voor het kwantificeren van de dynamiek van structuren zoals open zand, open water, struwelen en bossen. Denk daarbij aan het kwantificeren van veranderingen in tijd en ruimte van zand (hoeveelheid en snelheid verplaatst door verstuiwing, afzetting of afkalving), open water (overstromingen, verlegging, verlanding), struwelen en bossen (veroudering en verjonging, natuurlijke opslag, stormschade). Uiteraard dienen daarvoor eenmalig specifieke 'indicatoren' en verwerkingslijnen (protocollen met beslisregels) ontwikkeld te worden die data van AHN en beelden van ZHRS automatisch kunnen verwerken.

Tevens heeft de huidige studie laten zien dat momenteel voor het fabriceren van halffabrikaten van de satellietdata specialistische computerprogrammatuur nodig is. Mede daarom is het aan te raden om benodigde data al voor te bewerken en via de BIJ12-site beschikbaar te maken.

---

# Literatuur

- ARCADIS, 2016. Ontwerpbeheerplan bijzondere natuurwaarden Meijndel & Berkheide. Opgesteld door ARCADIS Nederland bv door M.J. Breedveld, W. Stempfer en M.E. de Boer in opdracht van de provincie Zuid-Holland.
- Bunce, R.G.H., Metzger, M.J., Jongman, R.H.G., Brandt, J., De Blust, G., Elena-Rossello, R., Groom, G.B., Halada, L., Hofer, G., Howard, D. C., Ková, P., Múcher, C.A., Padoa-Schioppa, E., Paelinx, D., Palo, A., Perez-Soba, M., Ramos, I.L., Roche, P., Skånes, H., Wrška, T., 2008. A standardized procedure for surveillance and monitoring European habitats and provision of spatial data. *Landscape Ecol.* 23 (1), 11-25.
- Janssen, 2001. Monitoring of salt-marsh vegetation by sequential mapping. PhD Thesis, University of Amsterdam, pp. 249.
- Janssen, J.A.M., Bijlsma, R.J., Damm, T. van Heerden, A., 2017. Vegetatie- en habitattypenkartering duinen Meijndel 2011. Zal gepubliceerd worden als Wageningen Environmental Research (Alterra) rapport.
- Ministerie EZ, 2007. Natura 2000-gebied 97 – Meijndel en Berkheide. Website:  
<https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=9&id=n2k97>
- Ministerie EZ, 2016. Habitattypen '\*Grijze duinen\*'.  
<https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=habyten&groep=2&id=2130>
- Múcher, C.A., van der Wijngaart, R., Huiskes, H.P.J., Meijninger, W.M.L., Schmidt, A.M., 2015. Mogelijkheden van Remote Sensing voor vegetatiemonitoring in Nederland; Verkenning van de toegevoegde waarde van de huidige Remote Sensing-technieken op gangbare methoden voor de monitoring en beoordeling van de kwaliteit van beheertypen en habitattypen. Wageningen, Alterra, Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2591, 116 pp.
- Beek, J.G. van ; Rosmalen, R.F. van ; Tooren, B.F. van ; Molen, P.C. van der, 2014. Werkwijze Monitoring en Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS. Versie 05032014. BIJ 12, Utrecht.
- Isenburg, M. 2016. "LAStools - efficient LiDAR verwerking software" (version 160429, academic), obtained from <http://rapidlasso.com/LAStools>

# Bijlage 1 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om structuurtypen uit de Werkwijze Monitoring te identificeren

Om inzichtelijk te maken of bepaalde terrein- of typekenmerken met behulp van Remote Sensing karteerbaar of vast te stellen zijn, is het nodig inzichtelijk te maken wat de te karteren parameters zijn en hoe deze gedefinieerd zijn. Hierbij gebruiken we de Werkwijze Monitoring en Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS (VAN BEEK, 2014) als leidraad.

Binnen de Werkwijze Monitoring worden 32 structuurtypen onderscheiden (zie Tabel 2). Onderstaande tabel is overgenomen uit Bijlage 6 in de Bijlage deel II bij de Werkwijze Monitoring en Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS (VAN BEEK, 2014), met aanvullingen hoe Remote Sensing-data en -technieken een rol kunnen spelen.

**Tabel 6** Mogelijkheden inzet Remote Sensing om structuurtypen uit de Werkwijze Monitoring te identificeren.

Structuurtype	Definitie	Score RS	RS-data	RS-technieken / Opmerkingen
Bochtige smele, pijpenstootje- en pitrusvelden	Soortenarme rompgemeenschappen met dominantie van genoemde soorten.	++	ZHRS (beelden bij voorkeur van vroege voorjaar), HPS	(Un)supervised classificatie (ZHRS)  Unmixing HPS beelden
(Bos met) dikke dode bomen	Bos met dikke (diameter >30 cm, gemeten op borsthoogte) liggende of staande dode bomen met het aangegeven aantal per ha. Deze bomen moeten tenminste een lengte hebben van 10 m.	-- Definitie niet geheel duidelijk	LiDAR, Lufo (kunnen wel inschatting geven van diameter bomen). Eventueel met ZHRS.	Decision-tree classificatie (LiDAR), Lufo-visueel.  Staande dode boom wel detecteerbaar, maar liggende dode boom bij een dichte kroon laag niet (Lufo-visueel). Op basis van ZHRS-VI.
(Bos met) dikke levende bomen	Bos met >8 dikke (diameter >50 cm, gemeten op borsthoogte) levende bomen per ha.	+-	LiDAR, Lufo	Decision tree- classificatie (LiDAR) in combinatie met VI (bv. m.b.v. boomregister.nl), Lufo-visueel  Door inzet van Lufo's kan een voorselectie (visueel of segmentatie) van kansrijke bomen worden uitgevoerd.
Europees (bos)	Bos waar inheemse soorten (zie hiervoor de lijst onder deze tabel) minimaal 80% van de bedekking ofwel het grondvlak uitmaken.	+- Definitie onduidelijk. Daarnaast RS niet geschikt om alle inheemse soorten te detecteren.	LiDAR, ZHRS, Lufo	Decision tree- classificatie (LiDAR), (un)supervised classificatie (ZHRS), Lufo-visueel  Verhouding loof-naald kan via RS worden bepaald.  Wanneer hoge resolutie beelden beschikbaar zijn kunnen ook bepaalde soorten worden onderscheiden.



Structuurtype	Definitie	Score RS	RS-data	RS-technieken / Opmerkingen
Gelaagd (bos)	Bos met boomhoogte van >20 m met daaronder ten minste een andere boomlaag van ten minste 6 m hoog met minimale bedekking van 25% en/of een struiklaag van 1,5 tot 6 m met minimale bedekking van 25%.	+ Voor specifieke bostypen (bijv. oude bossen)	LiDAR, Lufo	Decision-tree classificatie (LiDAR), Lufo-visueel  Via inzet van LiDAR-data kan boshogte worden bepaald.  Indirecte indicator op basis van false-color Lufo-VI indicatoren.
Gemengd (bos)	Bos dat naast de hoofdboomsoort voor minimaal 20% van de bedekking uit een andere boomsoort bestaat.	+-	Lufo, ZHRS, HRS	Lufo-visueel, (un)supervised classificatie (ZHRS, HRS).  Verhouding loof-naald kan via RS worden bepaald.  Wanneer ZHRS beelden beschikbaar zijn is ook op soortniveau te segmenteren.
Gesloten lage vegetaties, grassen, zeggen en kruiden	Vochtige en drogere (hei)schrale graslandvegetaties <40 cm (monotone begroeiingen (>70% bedekkend) van bochtige smele, pijpenstro en pitrus niet meegerekend).	+- Definitie onduidelijk	LiDAR in combinatie met Lufo/ZHRS, HPS, Thermisch	Vegetatie hoogte op basis van LiDAR, (un)supervised classificatie, decisiontree.  Dominantie typen zijn doormiddel van RS te segmenteren.  Tevens kan met behulp van temperatuur data (thermische beelden) nat van droog worden gescheiden.
Heidevegetaties	Begroeiingen met een hoog aandeel (>40%) struik-, dop- en/of kraaihei.	++	Lufo, ZHRS, HRS	Lufo-visueel, (un)supervised classificatie (ZHRS, HRS).  Heide goed te classificeren op basis van RS-data.  Dominantie typen zijn doormiddel van Lufo te bepalen.
Hoge grassen, zeggen of natte strooiselruigte (>40 cm)	Hogere (>40 cm) rietmoerassen, zeggenmoerassen en riet- of wilgenroosjesruigtes.	+-	LiDAR in combinatie met Lufo/ZHRS, (thermisch)	(un)supervised classificatie (ZHRS), Lufo-visueel, tree-decision (LiDAR).  Dominantie typen zijn doormiddel van RS te segmenteren.  Via de inzet van LiDAR-data kan vegetatie hoogte worden bepaald.
Hoog gras en kruiden (>40 cm)	Hogere vegetaties (>40 cm), bestaand uit grassen en kruiden (geen dominantie van struweel- en bosvormers).	++	LiDAR in combinatie met Lufo/ZHRS	(un)supervised classificatie, Lufo-visueel, decision-tree classificatie (LiDAR)  Dominantie van struweel- en bosvormers goed te detecteren.

Structuurtype	Definitie	Score RS	RS-data	RS-technieken / Opmerkingen
Hoog struweel incl. braam-, gageel- en bremstruwelen	Opslag van hoge struiken en jonge bomen (1,5-5 m), inclusief braam-, gageel-, brem- en duindoornstruweel.	++	LiDAR in combinatie met Lufo/ZHRS	(un)supervised classificatie, Lufo-visueel, decision-tree classificatie (LiDAR)  Struwelen goed te detecteren. Niet de individuele soorten. Wel soms op basis van HPS en/of Lufo.
Jeneverbesstruwelen	Aaneengesloten struwelen van jeneverbes (dichtheid >30%).	+-	Lufo	Lufo-visueel.  Alleen af- en toename in Jeneverbessen struweel. Locatie moet bekend zijn (ancillary data).
Kale bodem en/of open pionier-vegetaties	Zand-, leem- of kleigrond met geen, of met een open (<50%) en lage (<20cm) begroeiing, bijvoorbeeld: soorten van buntgrasduinen, zilver-havergraslanden, ass. van moeraswolfsklauw en snavelbiezen, alle natte pioniers van de oever-kruid-, zeevetmuur- en knopbies-orde.	++	ZHRS, Lufo	(un)supervised classificatie (ZHRS), Lufo-visueel.  Kaal zand versus pionier vegetatie zijn met behulp van ZHRS (Lufo) vast te stellen
Kleinschalig bulten- en slenken-patroon	Een kleinschalige afwisseling van bulten en slenken (beide aanwezig op 100 m <sup>2</sup> ), met elk hun eigen typische soorten van bulten en slenken in hoogveen.	--	Lufo, HPS	Lufo-visueel wel of niet i.c.m. segmentatie.
Krabbenscheervelden	Vegetatie waarin minstens lokaal frequent krabbenscheer aanwezig is. Delen zonder krabbenscheer maar met bv. gewoon blaasjeskruid, en/of kikkerbeet mogen worden bijgeteld bij de totale oppervlakte.	+-	Lufo	Lufo-visueel met expert kennis.
Kreken of vergelijkbare watergangen	Ondiepe natuurlijke waterlopen in kwelder- of duingebied die (soms nog) onder invloed staan van het getij.	++	Lufo, ZHRS	(un)supervised classificatie, Lufo-visueel
Laag struweel, niet gedomineerd door heide (<2 m)	(Kruipwilg-)struwelen, struiken en/ of boomopslag lager dan 2 m; dwergstruiken als heide niet inbegrepen.	++	LiDAR i.c.m. ZHRS/Lufo	Vegetatie hoogte op basis van LiDAR, (un)supervised classificatie, decision tree-classificatie
Los zand	Zand dat werkelijk verstufbaar is, dus zonder algenlaagje of pioniersoorten; zand waarin je voetstap als ingezakt kuiltje achterblijft.	++	ZHRS, Lufo	(un)supervised classificatie (ZHRS), Lufo-visueel
Oever tot 30 meter van hoogwaterlijn vrij van bomen	Oever tot 30 m van hoogwaterlijn vrij van bomen (een enkele solitaire boom uitgezonderd).	+-	Lufo, ZHRS	Lufo-visueel, (un)supervised classificatie i.c.m. contextuele informatie (bomen goed detecteerbaar)
Oude heide	Mozaïek van oude ('volwassen') en aftakelende/afstervende heidevegetaties.	+-	LiDAR in combinatie met ZHRS, Lufo	Variatie in vegetatie structuur (LiDAR) i.c.m. ZHRS, decision-tree classificatie, Lufo-visueel

Structuurtype	Definitie	Score RS	RS-data	RS-technieken / Opmerkingen
Riet, hoge zeggen en/of hoge biezen	Vegetatie van polvormende zeggen (vaak pluimzegge), russen en/of biezen met meestal daartussen riet of andere hoge helofyten, vegetatie hoger dan 80 cm	+-	Lufo, (LiDAR in combinatie met ZHRS).	Polvormers visueel zichtbaar op Lufo  Op basis van contextuele informatie zijn LiDAR i.c.m. ZHRS ook bruikbaar
Ruigte	Soortenarme begroeiingen van hoge kruidachtigen: van wilgenroosjes- en rietruigtes tot droge ruigtes met bv. boerenwormkruid en sint-janskruid.	++	Lufo, LiDAR in combinatie met ZHRS	Lufo-visueel, vegetatie hoogte i.c.m. ZHRS- VI, decision-tree classificatie
Slootlengte	Strekkende meter slootlengte (dus niet oeverlengte), gemeten per hectare.	++	Lufo, ZHRS	Lufo-visueel en/of segmentatie, ZHRS (alleen bij voldoende hoge resoluties, <50cm) met GIS-analyse
Solitaire bomen en kleine bosjes (> 5 m)	Vrijstaande berken, vliegdennen e.d., of kleine groepen daarvan (<10 ex.).	++	Lufo, LiDAR in combinatie met ZHRS	Lufo-visueel, LiDAR i.c.m. VI, decision tree-classificatie
Struweel en bosjes incl. solitaire bomen	Alle bomen en boomopslag en hoge en lage struwelen gezamenlijk.	++	Lufo, LiDAR, ZHRS	Lufo-visueel
Struweel en open plekken	Open plekken in het bos of alleen met struweel begroeide plekken, waarbij deze plekken een minimale diameter moeten hebben van 20 m.	++	Lufo, LiDAR, ZHRS	Lufo-visueel
Veenmos	Het % bedekking met veenmos binnen het beheertype (dit zal als aspect aan vegetatievlakken moeten worden gekoppeld bij vegetatiekartering).	+-	HPS	Classificatie HPS- beelden
Vegetaties van kleine zeggen	Mesotrafente vegetaties van snavelzegge of andere kleine zeggen; meestal in combinatie met veenpluis, zonder dominantie van veenmossen.	--	Lufo	Lufo-visueel met expertkennis
Vegetaties van ondergedoken of drijvende waterplanten	Vegetaties van ondergedoken of drijvende waterplanten.	+-	Lufo, ZHRS, (HPS)	Lufo-visueel, (un)supervised classificatie
Vegetaties van snavelzegge en/of veenpluis	Vegetatie gedomineerd door oligo- of mesotrafente helofyten als snavelzegge en/ of veenpluis. Vegetaties van eutrafente soorten als riet, rietgras, lisdodde, grote zeggen en pitrus tellen hierin uitdrukkelijk niet mee.	--	Lufo	Lufo-visueel met expert kennis
Water	Water waarvan minder dan 5% van de oppervlakte wordt ingenomen door een vegetatie van boven het water uitstekende moeras- en waterplanten.	+-	ZHRS, Lufo (HRS)	Water zeer goed detecteerbaar met (un)supervised classificatie, fractie alleen i.c.m. contextuele informatie.
Waterriet (riet met voeten in water)	IJle, niet jaarlijks gemaaide rietvegetatie op permanent onder water staande bodem.	--	ZHRS	Niet detecteerbaar of riet permanent in water staat (bij dichte begroeiing). Bij meer open begroeiing zou groenmonitor.nl bruikbaar zijn (VI tijdserie).

Legenda: -- niet, +- redelijk, + goed, ++ zeer goed

ZHRS: Zeer hoge resolutie satelliet beelden (o.a. WorldView, SPOT, zie Tabel 5)

HRS: Hoge resolutie satelliet beelden (o.a. Landsat, zie Tabel 5)

VI: Vegetatie index

Hyperspectraal (HPS)

Lufo: Luchtfoto

## Bijlage 2 Mogelijkheden inzet Remote Sensing om vegetatie- en structuurkenmerken van habitattypen te identificeren

Om inzichtelijk te maken of bepaalde terrein- of typekenmerken met behulp van Remote Sensing karteerbaar of vast te stellen zijn, is het nodig inzichtelijk te maken wat de te karteren parameters zijn en hoe deze gedefinieerd zijn. Hierbij gebruiken we de Werkwijze Monitoring en Beoordeling Natuurnetwerk en Natura 2000/PAS (Van Beek, 2014) als leidraad.

Onderstaande Tabel 7 is gebaseerd op Bijlage 11 van de Werkwijze "Veldwaarnemingen – Overige Kenmerken van een goede structuur en functie – Habitattypen" (Van Beek, 2014), met aanvullingen in welke mate Remote Sensing-data en -technieken een rol kunnen spelen bij het identificeren van vegetatiestructuurkenmerken van Natura 2000-habitattypen. Bij veel van deze vegetatie- en structuurkenmerken van habitattypen kan Remote Sensing een rol spelen. In de monitoringshandleiding (Van Beek, 2014) wordt ook al aangegeven dat een groot gedeelte van de kenmerken kan worden afgeleid uit bestaand kaartmateriaal, zoals luchtfoto's, AHN, bodemkaart en vegetatiekaarten.

**Tabel 7** Inzet Remote Sensing om vegetatie- en structuurkenmerken van habitattypen te identificeren.

Habitat-typenr.	Habitatype naam	Omschrijving structuurkenmerk	Score RS	RS-Data	RS-Techniek
H1310_A	Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal)	Bedekking van meerjarige soorten < 10%	+ -	Lufo, ZHRS	Lufo-visueel, (un)supervised (ZHRS) binnen een vastgesteld zoekgebied (ook gebruikmakend van oud kaartmateriaal). Gebruik semantische regels.
H2110	Embryonale duinen	Biestarwegras... - vegetatietype	+	LiDAR in combinatie met Lufo/ZHRS	Vaststellen begroeid versus onbegroeid binnen vastgesteld zoekgebied m.b.v. VI. Segmentatie plus decision tree- classificatie. Gebruik semantische regels.
H2130	Grijze duinen	Geen of weinig opslag van struiken (< 25%; niet vegetatievormend)	+	LiDAR in combinatie met Lufo/ZHRS	Vaststellen begroeid versus onbegroeid binnen vastgesteld gebied m.b.v. VI. Segmentatie plus decision tree-classificatie en/of gebruik semantische classificatie regels.  Struiken zijn via ZHRS i.c.m. LiDAR of Lufo.
H2140	Duinheiden met kraaihei	Bedekking van grassen < 25%	+ -	Lufo/ZHRS	Lufo-visueel eventueel o.b.v. HPS. Vergrassing o.b.v. ZHRS-VI binnen een vastgesteld zoekgebied. Gebruik semantische regels.
H2140	Duinheiden met kraaihei	Bedekking van struiken en bomen < 10%	+	Lufo, LiDAR, ZHRS	Lufo-visueel, verruiging o.b.v. LiDAR i.c.m. ZHRS (decision tree-classificatie) binnen een vastgesteld zoekgebied. Gebruik semantische regels.
H2150	Duinheiden met struikhei	Dominantie van Struikhei	+	Lufo	Lufo-visueel, eventueel o.b.v. HPS onderscheid struikhei versus kraaihei binnen een vastgesteld zoekgebied. Gebruik semantische regels.
H2150	Duinheiden met struikhei	Hoge bedekking van korstmossen (> 20%), wat een relatief open vegetatiestructuur vergt	+ -	Lufo	Lufo-visueel, open plekken detecteerbaar o.b.v. VI binnen een vastgesteld zoekgebied. Gebruik semantische regels.

Habitat-typenr.	Habitattype naam	Omschrijving structuurkenmerk	Score RS	RS-Data	RS-Techniek
H2160	Duindoornstruwelen	Gering aandeel van exoten (zoals Amerikaanse vogelkers)	+	Lufo, LiDAR icm ZHRS, HPS	Lufo-visueel, vegetatie hoogte (LiDAR) i.c.m. ZHRS binnen een vastgesteld zoekgebied. Gebruik semantische regels.
H2190	Vochtige duinvalleien	Opslag van struiken en bomen is beperkt: < 10%	+	Lufo, ZHRS (WorldView), LiDAR	Lufo-visueel o.b.v. Normalized Difference Water Index (NDWI) o.b.v. WorldView-2 binnen een vastgesteld zoekgebied. Boomopslag detecteerbaar m.b.v. Lufo-visueel of LiDAR. Gebruik semantische regels.
H2310	Stuifzandheiden met struikhei	Hoge bedekking van mossen en korstmossen (> 30%)	+ -	Lufo	Lufo-visueel i.c.m. bodemkaart binnen een vastgesteld zoekgebied. Gebruik semantische regels.
H2320	Binnenlandse kraaiheibegroeiingen	Dominantie van kraaihei	+	Lufo, HPS	Lufo-visueel, mogelijk HPS binnen een vastgesteld zoekgebied. Gebruik semantische regels.
H2320	Binnenlandse kraaiheibegroeiingen	Hoge bedekking van mossen en levermossen (> 30%)	-		
H2320	Binnenlandse kraaiheibegroeiingen	Lage bedekking van grassen (< 10%), struweel (< 10%) en bos (< 10%)	+ -	Lufo, LiDAR, ZHRS	Vergrassing en verrijging o.b.v. Lufo-visueel of LiDAR i.c.m. ZHRS-VI binnen een vastgesteld zoekgebied. Gebruik semantische regels.
H2330	Zandverstuivingen	Hoge bedekking van korstmossen (> 10%)	++	Lufo, ZHRS	Lufo-visueel, (un)supervised classificatie (ZHRS) binnen een vastgesteld zoekgebied. Detectie korstmossen lastig, wel kaal zand. Gebruik semantische regels.
H3110	Zeer zwakgebufferde vennen	Geen of weinig dominantie van veenmossen en/of slaapmossen (< 20%)	-	Lufo, ZHRS	Detectie vennen, waterkwaliteit erg lastig eventueel o.b.v. HPS (zeer specifieke banden waterkwaliteit). Gebruik semantische regels.
H3130	Zwakgebufferde vennen	Geen of weinig dominantie van veenmossen (< 20%)	-		
H3160	Zure vennen	Combinatie van open water en verlandingsvegetatie	-	Lufo	Detectie vennen is mogelijk, waterkwaliteit erg lastig eventueel o.b.v. HPS (zeer specifieke banden waterkwaliteit) i.c.m. VI betreffende verlandingsvegetatie. Gebruik semantische regels.
H3160	Zure vennen	Kruidlaag, indien aanwezig, gedomineerd door schijngrassen	-		Detectie vennen algemeen mogelijk, maar niet schijngrassen.
H3160	Zure vennen	Moslaag, indien aanwezig, gedomineerd door veenmossen	-		Detectie vennen algemeen mogelijk, maar niet veenmossen.
H4010_A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	Bedekking struiken en bomen is beperkt < 10%	+ -	Lufo, ZHRS, LiDAR	detectie struiken en bomen binnen vastgesteld zoekgebied o.b.v.: Lufo-visueel, (un)supervised classificatie (ZHRS), decision tree-classificatie (LiDAR).
H4010_A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	Bedekking van grassen < 25%	+ -	Lufo, ZHRS	Detectie grassen: Lufo-visueel, (un)supervised classificatie (ZHRS). Binnen vastgesteld zoekgebied.
H4010_A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	Hoge bedekking van veenmossen (lokaal subtype A)	-		
H4010_B	Vochtige heiden (laagveengebied)	Bedekking struiken en bomen is beperkt < 10%	+ -	Lufo, ZHRS, LiDAR	Detectie struiken en bomen binnen vastgesteld zoekgebied o.b.v.: Lufo-visueel, (un)supervised classificatie (ZHRS), decision-tree classificatie (LiDAR).
H4010_B	Vochtige heiden (laagveengebied)	Bedekking van grassen < 25%	+ -	Lufo, ZHRS	Detectie grassen: Lufo-visueel, (un)supervised classificatie (ZHRS). Binnen vastgesteld zoekgebied.
H4010_B	Vochtige heiden (laagveengebied)	Hoge bedekking van veenmossen	-		

Habitat-typenr.	Habitattype naam	Omschrijving structuurkenmerk	Score RS	RS-Data	RS-Techniek
H4030	Droge heiden	Lage bedekking van grassen (<25%) en struweel (<10%)	+	Lufo, ZHRS, LiDAR	Detectie droge heide lufo-visueel, (un)supervised-ZHRS. Bedekking grassen en struwelen (un)supervised-ZHRS eventueel i.c.m. LiDAR. Decision tree VI-ZHRS eventueel i.c.m. LiDAR.
H6210	Kalkgraslanden	Gevarieerde structuur van de kruidlaag met goed ontwikkelde moslaag (> 10%)	-		
H6410	Blauwgraslanden	Opslag van struwelen en bomen < 5%	+	Lufo, ZHRS, LiDAR	Lufo-visueel, detectie verruiging binnen vastgesteld zoekgebied o.b.v. (un)supervised-ZHRS eventueel i.c.m. LiDAR.
H6430 AB	Ruigten en zomen (moerasspirea/harig wilgenroosje)	Dominantie van ruigtekruiden	+ -	Lufo, ZHRS, LiDAR	Lufo-visueel, mogelijk ook o.b.v. ZHRS eventueel i.c.m. LiDAR binnen vastgesteld zoekgebied.
H6430_C	Ruigten en zomen (droge bosranden)	Dominantie van ruigtekruiden	+ -	Lufo, ZHRS, LiDAR	Lufo-visueel, mogelijk ook o.b.v. ZHRS eventueel i.c.m. LiDAR binnen vastgesteld zoekgebied.
H6510_A	Glanshaver- en vossenstaartheoïlanden (glanshaver)	Bloemrijk	-		
H6510_B	Glanshaver- en vossenstaartheoïlanden (grote vossenstaart)	Bloemrijk	-		
H7110	Actieve hoogvenen	Veenvorming door een door veenmossen gedomineerde vegetatie	+ -	Lufo	Lufo-visueel, veenmossen eventueel HPS.
H7110	Actieve hoogvenen	Dominantie van veenmossen	+ -	Lufo	Lufo-visueel, veenmossen eventueel HPS.
H7110	Actieve hoogvenen	Aanwezigheid van dwergstruiken op bulten	+ -	Lufo	Lufo-visueel, detectie dwergstruiken op bulten o.b.v. LiDAR/ZHRS
H7120	Herstellende hoogvenen	Veenvorming door een door veenmossen gedomineerde vegetatie	-		
H7140_A	Overgangs- en trilvenen (trilvenen)	Gelaagde vegetatiestructuur met een goed ontwikkelde moslaag (> 30%)	-		
H7140_B	Overgangs- en trilvenen (veenmosrietlanden)	Gelaagde vegetatiestructuur met een goed ontwikkelde moslaag (> 30%)	-		
H7150	Pionier-vegetaties met snavelbiezen	Moslaag wordt gedomineerd door veenmossen	-		
H7230	Kalkmoerassen	Goed ontwikkelde moslaag met dominantie van slaapmossen (> 30%)	-		
H7230	Kalkmoerassen	Dominantie van schijngrassen (met name Carex en Eleocharis)	-		
H7230	Kalkmoerassen	Geen dominantie van grassen als pijpenstrootje, borstelgras, hennegras, moerasstruisgras of gestreepte witbol	-		Detectie dominante grassen o.b.v. (un)supervised cClassificatie ZHRS.
H9110	Veldbies-beukenbossen	Aanwezigheid van oude levende of dode dikke bomen en/of oude hakhoutstoven	+ -	Lufo, LiDAR	Lufo-visueel bij levende dikke bomen. Alleen indicatief o.b.v. boomhoogte en kroonbreedte (LiDAR).
H9110	Veldbies-beukenbossen	Op landschapsschaal: aanwezigheid van soortenrijke open plekken en bosranden met plantensoorten uit de klasse Melampyro-Holcetea mollis of bijzondere braamsorten (Rubus)	+ -	Lufo, ZHRS, LiDAR	Lufo-visueel, open plekken o.b.v. decision tree LiDAR of (un)supervised ZHRS. Mate van soortenrijkdom niet detecteerbaar.

Habitat-typenr.	Habitattype naam	Omschrijving structuurkenmerk	Score RS	RS-Data	RS-Techniek
H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	Op landschapsschaal: aanwezigheid van soortenrijke open plekken en bosranden met plantensoorten uit de klasse Melampyro-Holcetea mollis of bijzondere braamsoorten (Rubus)	+ -	Lufo, ZHRS, LiDAR	Lufo-visueel, open plekken o.b.v. decision tree LiDAR of (un)supervised ZHRS. Mate van soortenrijkdom niet detecteerbaar.
H9120	Beuken-eikenbossen met hulst	Aanwezigheid van oude levende of dode dikke bomen en/of oude hakhoutstoven	+ -	Lufo, LiDAR	Lufo-visueel bij levende dikke bomen. Alleen indicatief o.b.v. boomhoogte en kroonbreedte (LiDAR).
H9160	Eiken-haagbeukenbossen	Aanwezigheid van oude levende of dode dikke bomen en/of oude hakhoutstoven	+ -	Lufo, LiDAR	Lufo-visueel bij levende dikke bomen. Alleen indicatief o.b.v. boomhoogte en kroonbreedte (LiDAR).
H9160	Eiken-haagbeukenbossen	Lage bedekking van klimop (< 10%)	-		Wellicht indicatief o.b.v. Lufo, maar nog niet onderzocht.
H9190	Oude eikenbossen	Goed ontwikkelde moslaag en/of korstmoslaag	-		Wellicht indicatief o.b.v. Lufo, maar nog niet onderzocht.
H91D0	Hoogveenbossen	Aanwezigheid van oude levende of dode dikke bomen en/of oude hakhoutstoven	+ -	LiDAR, Lufo	Alleen indicatief o.b.v. boomhoogte en kroonbreedte (LiDAR).
H91E0	Vochtige alluviale bossen	Dominantie van wilgen, zwarte populier, gewone es, iep of zwarte els	-	Lufo	Lufo-visueel met expertkennis. Gebruik semantische regels.
H91E0	Vochtige alluviale bossen	Bedekking van exoten < 5%	-		Detectie alluviale bossen met gebruik semantische regels.
H91E0	Vochtige alluviale bossen	Aanwezigheid van oude levende of dode dikke bomen en/of oude hakhoutstoven	+ -	LiDAR, Lufo	Alleen indicatief o.b.v. boomhoogte en kroonbreedte (LiDAR). Gebruik semantische regels.
H91F0	Droge hardhoutooibossen	Aanwezigheid van oude levende of dode dikke bomen en/of oude hakhoutstoven	+ -	LiDAR, Lufo	Alleen indicatief o.b.v. boomhoogte en kroonbreedte (LiDAR).

Legenda: -- niet, +- redelijk, + goed, ++ zeer goed

---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 2838  
ISSN 1566-7197

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.







To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Rapport 2838  
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

