

Kroosmonitoring

door middel van zeer hoge resolutie
satellietbeelden



Door:

Water Insight B.V.

Auteurs:

Semhar Ghibrehiwot
Steef Peters
Annelies Hommersom

In samenwerking met: BlueLeg Monitor
In opdracht van: Hoogheemraadschap van Delfland

Maart 2017

Doel

Binnen het beheersgebied van Hoogheemraadschap van Delfland is kroos een probleem, omdat hierover klachten binnenkomen door aanwonenden van het water. Het begin van een goede aanpak van kroos is het lokaliseren van het kroos. Op dit moment gebeurt dit vooral op verzoek, door middel van observatie en soms door luchtfotografie. Een satellietbeeld kan in een keer informatie opleveren van een groot gebied en zou daarom het lokaliseren van drijvende vegetatie kunnen vergemakkelijken.

Het doel van dit project was om onderzoek te doen naar mogelijkheden van (een routinematige) monitoring van kroos en eventuele andere drijvende vegetatie door middel van zeer hoge resolutie satellietbeelden.

De resultaten zijn positief. De resulterende shapefiles van “kroos”, “drijfalg”, en “drijfblad” worden geleverd aan het Hoogheemraadschap van Delfland.

Licentie

De in dit rapport geanalyseerde satellietbeelden en de daarop gebaseerde producten (shapefiles van kroos, drijfalg en drijfblad), kaarten en figuren vallen onder de licentieovereenkomst die is getekend met provider DigitalGlobe volgens de “Product Terms and Conditions” die te vinden zijn op www.digitalglobe.com.

Inhoud

Doel.....	2
Licentie.....	2
Inhoud.....	3
Leeswijzer.....	4
Woordenlijst.....	5
1. In situ data kroosdetectie	6
1.1. In situ data.....	6
1.2. Spectraal algoritme voor het detecteren van kroos en andere vegetatie	7
1.3. Conclusies en aanbevelingen vanuit de in situ analyse.....	10
2. Aankoop en voorbereiding van satellietbeelden.....	11
2.1. Aangekochte beelden	11
2.2. Georeferentie en projectie van het satellietbeeld	11
3. Analyse van de satellietgegevens voor het detecteren van drijvende vegetatie.....	14
3.1. Creëren waterkaart.....	14
3.2. Onderzoek glint/waterdamp.....	15
3.3. Analyse van het PAN beeld	15
3.4. Vergelijking van het ‘simpele’ multispectrale beeld met het PAN-sharpened beeld.....	16
3.5. Mogelijkheden van het gebruik van het met het PAN-sharpened beeld voor detectie van drijvende vegetatie zoals kroos.....	18
4. Het onderscheiden van typen vegetatie en algen met satellietbeelden	20
4.1. Observaties van typen vegetatie.....	20
4.2. Algoritme ontwikkeling en resultaten.....	20
4.3. Gebruikersvriendelijke kaart.....	22
5. Mogelijkheden voor vervolgdiensten.....	24
5.1. Vergelijking met luchtfotografie	24
5.2. Mogelijkheden tot automatisering	24
5.3. Mogelijke vervolgdiensten.....	24
6. Conclusies.....	25
Bijlage 1, samenvatting van de optische in situ metingen	26
Bijlage 2 Resultaten van het experiment waarbij 75 procent van de optische dataset is gebruikt als training data	28
Bijlage 3, Locatielijsten	30

Leeswijzer

De bespreking van materialen, methoden, resultaten en conclusies in dit rapport is opgezet volgens een aantal logische stappen. Omdat het een innovatieproject betrof, werd de focus van het project gedurende het project een aangepast aan de behaalde resultaten. Er is gekozen om alle stappen en resultaten te bespreken.

Hoofdstuk 1 bespreekt de materialen (1.1), methodeontwikkeling (1.2) en conclusies (1.3) van de in situ data analyse.

De volgende hoofdstukken gaan over de satellietdata: materialen, methoden en resultaten.

Hoofdstuk 2 gaat over de aangekochte satellietbeelden, en de kwaliteit van de georeferentie van deze materialen.

Hoofdstuk 3 gaat over het ontwikkelen van de methode voor het detecteren van drijvende vegetatie met behulp van satellietbeelden en het selecteren van het meest geschikte soort satellietbeeld hiervoor. In dit hoofdstuk volgen de stappen voor methodeontwikkeling zich logisch op: in de paragrafen 3.1 tot 3.5 is steeds de uitkomst van de voorgaande stap de input voor de volgende. Elke paragraaf eindigt dus met een tussenresultaat.

In het originele projectplan was gepland om de methode die werd ontwikkeld op de in situ data te gebruiken op de uitkomsten van paragraaf 3.5, om de drijvende vegetatie verder uit te splitsen in soorten kroos. Echter, nadat bleek dat uit het Hoofdstuk 1 geen methode kwam die direct kon worden toegepast op de satellietbeelden, is de focus van de studie verlegd naar het onderscheiden van verschillende typen vegetatie aan de oppervlakte (kroos, drijfalgen en drijfblad). De uitkomsten van paragraaf 3.5 dienen hierbij nog steeds als input.

Hoofdstuk 4 bespreekt deze nieuwe aanpak: de in situ observaties (4.1) die gebruikt werden voor de methodeontwikkeling (4.2) en de resultaten (4.3) van het uitsplitsen van typen drijvende vegetatie.

Hoofdstuk 5 bespreekt de mogelijkheden tot vervolgdiensten, gebaseerd op de resultaten van Hoofdstuk 4.

Hoofdstuk 6 bevat de algemene conclusies.

Woordenlijst

PAN-chromatisch / PAN beeld	Vergelijkbaar met een zwart-wit foto. Met een PAN opname wordt de intensiteit van alle kleuren licht in het zichtbare spectrum tezamen opgenomen. Bij de WorldView satelliet is de resolutie van het PAN beeld ongeveer 0.5 meter per pixel.
PAN-sharpened	PAN-sharpening is een techniek waarbij het PAN beeld wordt gebruikt om de resolutie van het multispectrale beeld als het ware te verhogen. De intensiteit van het gemeten licht binnen een (grotere) pixel van het multispectrale beeld wordt herverdeeld op basis van de waarnemingen in de (kleinere) pixels van het PAN beeld.
Multispectraal	Multispectraal betekent dat er onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende kleuren licht. Bijvoorbeeld een digitale camera registreert Rood Groen Blauw (RGB). Bij de WorldView satelliet worden in het multispectrale beeld acht verschillende kleuren licht onderscheiden. De resolutie is ongeveer 2 meter per pixel.
WISP-3	Water Insight Spectrometer met 3 kanalen. Dit is een optisch meetinstrument om waterkwaliteit te bepalen. Het meet de intensiteit van het teruggekaatste licht over alle golflengtes van het zichtbare licht spectrum: het reflectiespectrum.
WorldView	WorldView is een satelliet van het bedrijf Digital Globe.

1. In situ data kroosdetectie

1.1. In situ data

Het doel van het verzamelen van de in situ data was om de spectrale handtekening van drie typen kroos vast te leggen. In het najaar van 2016 zijn door een expert van Hoogheemraadschap van Delfland kroos samenstellingsgetallen ingeschat op basis van visuele waarneming. Tegelijkertijd zijn metingen uitgevoerd door BlueLeg Monitor met een optisch instrument (WISP-3).

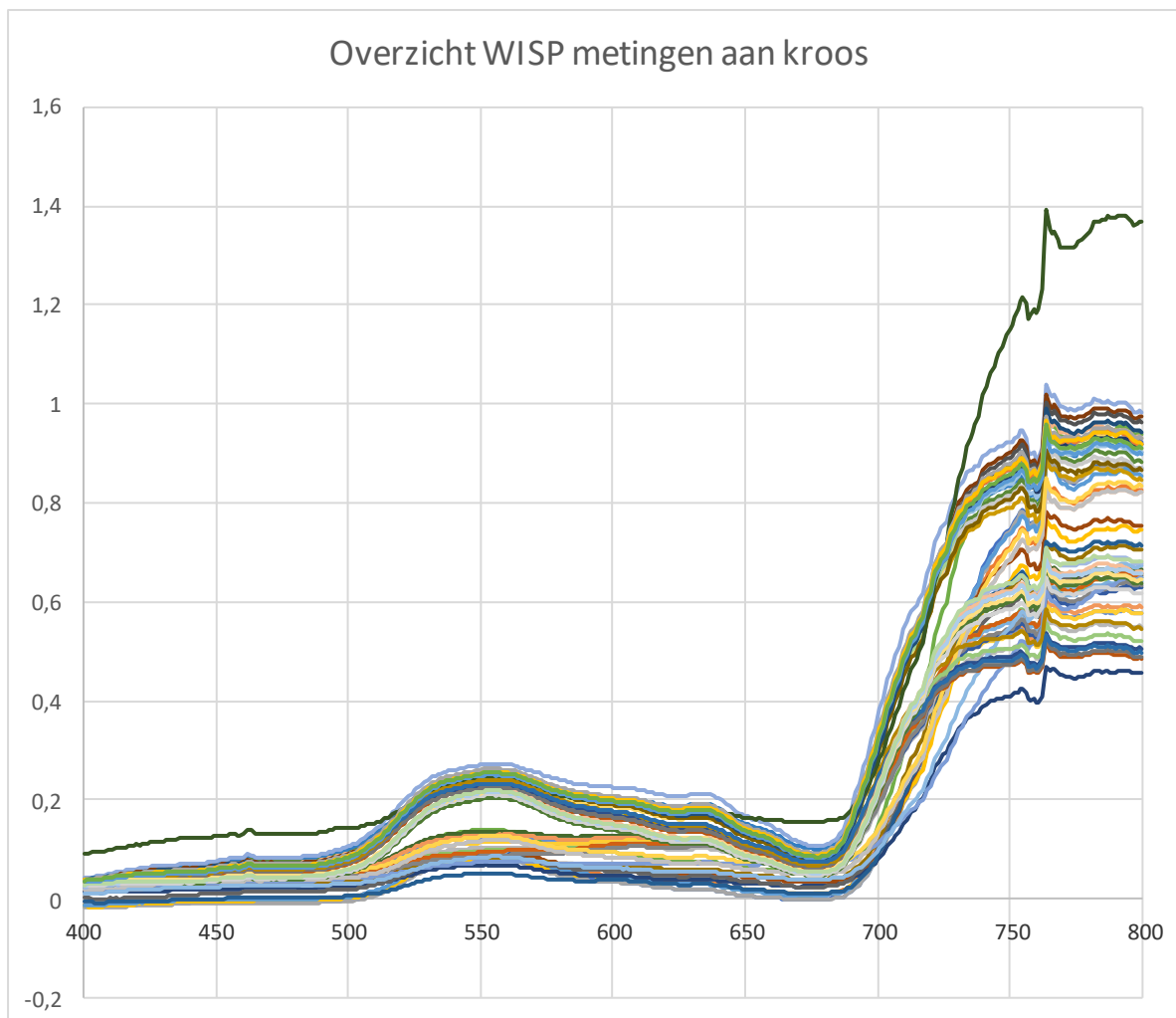
De waargenomen samenstellingen zijn samengevat in Tabel 1.

Locatie nummer	Locatienaam	Bult-kroos (%)	Colombiaanse Woffia (%)	Dwerg-kroos (%)	Klein Kroos (%)	Groot Kroosvaren (%)	Overig (%)
1	Isabellaland	95	4	0	0	0	1
2	Smaragdhorst	45	0	25	25	0	5
3	Parelmoerhorst	44	1	55	0	0	0
4	Parelmoerhorst Gele lis	0	0	0	0	0	0
5	Groot Hertoginnenlaan	25	1	60	0	14	0
6	Chrysantplein	49	0	50	0	0	0
7	Pomonalaan Kroosvaren	1	0	0	0	99	0
8	Pomonalaan gemengd kroos	0	0	20	25	50	5
9	Oude Buizerdlaan waterlelie	0	0	0	0	0	0
10	Oude Buizerdlaan	0	0	0	0	0	0

Tabel 1, Samenvatting van de samenstellingen (%) van de in situ observaties

Per locatie zijn er gemiddeld 6 overlappende WISP metingen gedaan binnen korte tijdsperioden. De lijst met metingen staat in Bijlage 1.

De gemeten spectra zijn samen geplot in Figuur 1, ter illustratie. De eenheid op de verticale as is irradiantie reflectantie; de waarden moeten als relatief beschouwd worden daar de berekeningsmethode aanneemt dat het licht van onder water komt hetgeen hier niet het geval is. Op de horizontale as staat de golflengte van het gemeten licht in nanometers.



Figuur 1, spectrale metingen van kroos

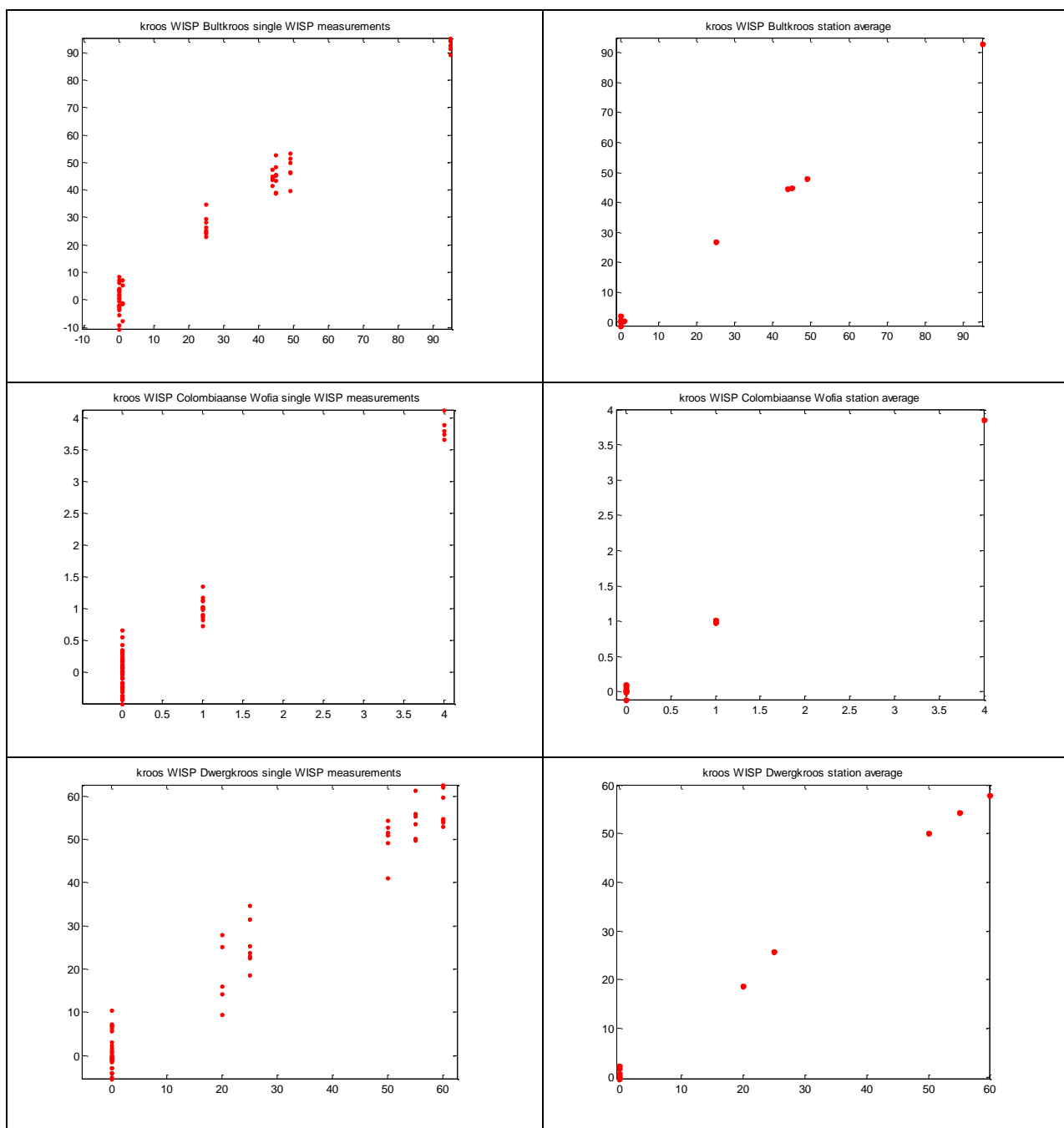
Interessant om op te merken is:

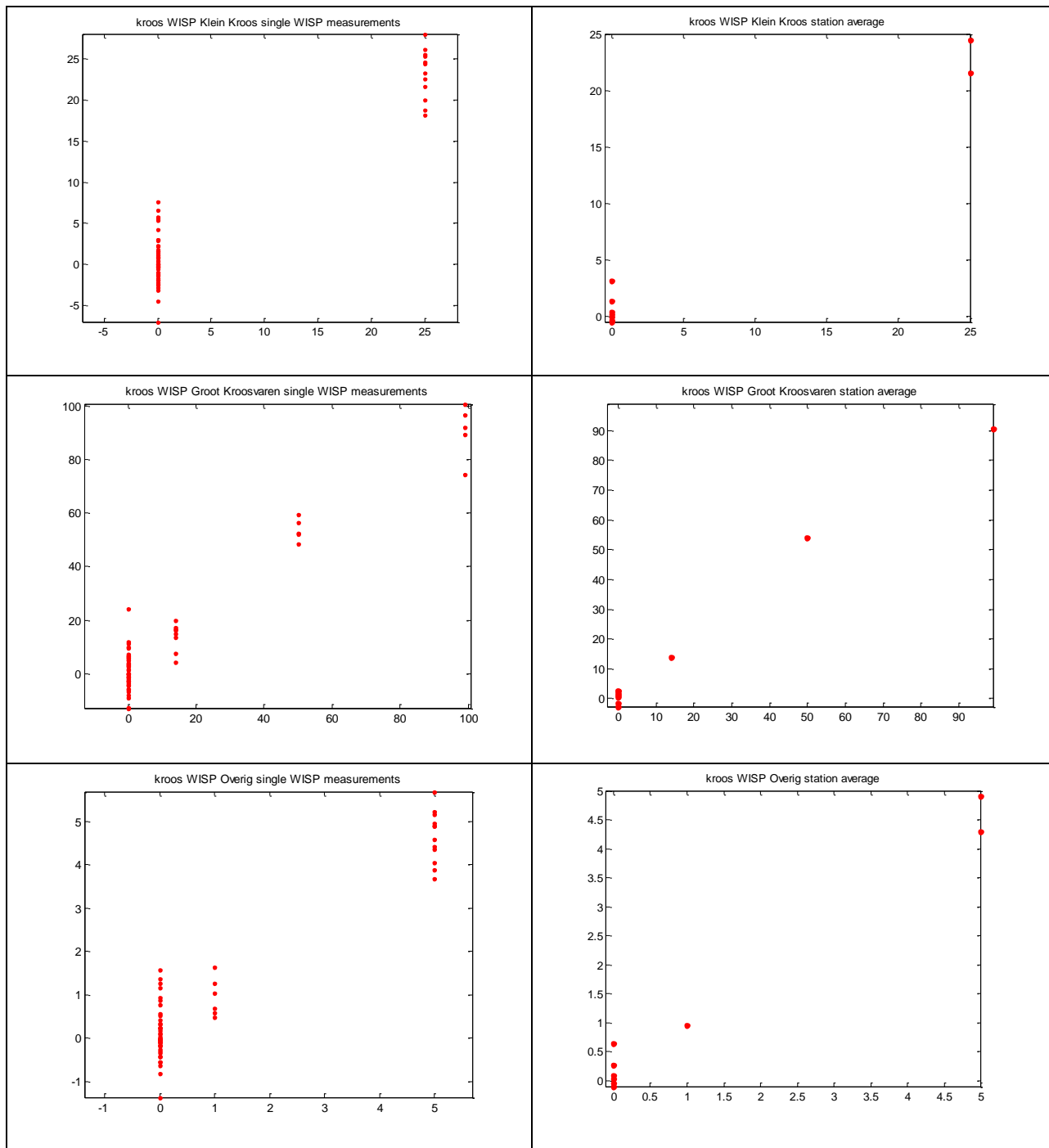
- 1) Kroos absorbeert blauw licht (onder 500 nm).
- 2) Kroos reflecteert groen licht tussen 500 en 600 nm.
- 3) Er is absorptie van licht boven 600 nm met een klein absorptiedal boven 650 nm dat waarschijnlijk gerelateerd is aan Chlorofyl-a
- 4) Door het samenspel van absorptie en reflectie ziet kroos er groen uit.
- 5) Boven 680 nm neemt de reflectie van het licht sterk toe. Dit zien we bij bijna alle landplanten die in meerdere of mindere mate alleen Nabij Infrarood licht sterk weerkaatsen omdat dit niet gebruikt wordt voor fotosynthese.
- 6) Rond 550 nm is een tweesplitsing in verloop van de reflectiecurven.
- 7) Vooral in het Nabij Infrarood zijn er duidelijke verschillen per meting, maar neemt ook de onzekerheid per meting iets toe (ruis in de spectra)

1.2. Spectraal algoritme voor het detecteren van kroos en andere vegetatie

De analyse van de veldmetingen is gebeurd met een nieuw empirisch algoritme dat is ontwikkeld door Water Insight. Hierbij wordt het spectrum omgerekend naar een beperkte set van spectrale indicatoren die aangeven waar en in welke mate een spectrum verandert. Deze indicatoren worden vervolgens

gecorrigeerd aan de veldmetingen. Indien alle veldmetingen als training data gebruikt worden is het resultaat geschikt om aan te tonen dat er een correlatie bestaat tussen de twee gegevens soorten. Om het voorspellend vermogen aan te tonen wordt gewerkt met deeldatasets voor training. De analyses zijn in eerste instantie uitgevoerd op enkele metingen, maar het blijkt dat er per locatie behoorlijk veel variatie is tussen de WISP metingen, dus er is ook gekeken naar de gemiddelde resultaten per locatie gebaseerd op alle correcte WISP metingen van die locatie. De resultaten per meting en per locatie voor training op de gehele dataset zijn geplot in Figuur 2. De assen geven de samenstellingsgetallen in procenten: op de x-as de observatie, op de y-as de samenstelling afgeleid uit de WISP metingen. Voor de grafieken aan de linkerkant de resultaten per meting, aan de rechterkant voor gemiddelden per locatie.





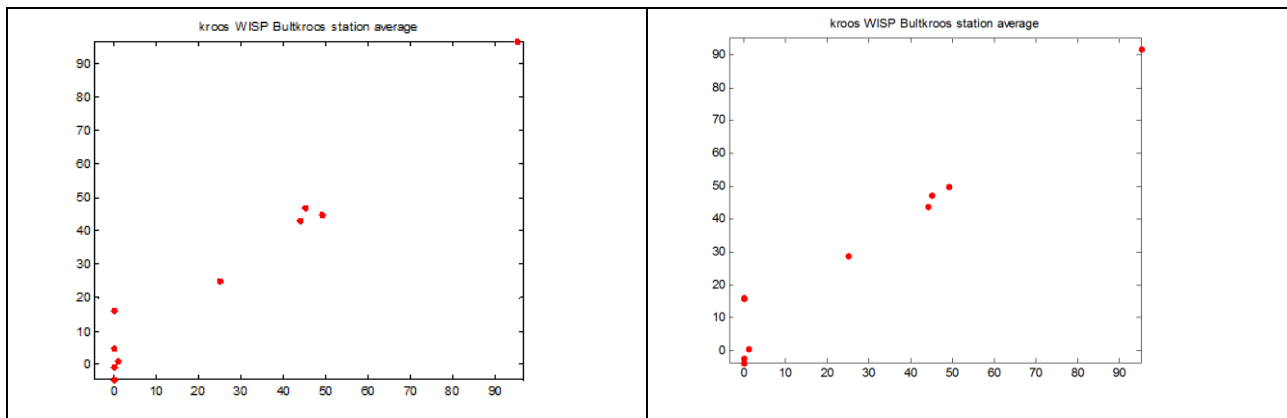
Figuur 2, Plots per meting en per locatie voor training op gehele dataset. Links: enkele metingen. Rechts: gemiddelden. De assen geven de samenstellingsgetallen (%) (x-as: observatie, y-as: afgeleid uit WISP)

Hoewel er een behoorlijke spreiding in de resultaten voor enkele metingen zichtbaar is, zijn er voor de locatiegemiddelde waarden duidelijke correlaties zichtbaar, op basis van training met de gehele dataset.

Indien een subset van metingen gebruikt wordt verslechtert het beeld maar nog steeds zijn de resultaten als locatiegemiddelde interessant. Omdat de dataset redelijk beperkt is en op basis van kwalitatieve visuele metingen is de verwachting dat de ruis in beide datasets vrij groot is en dat er een niet al te kleine trainingdataset kan worden gebruikt. Daarom zijn de resultaten van een experiment met 75 procent van de dataset gebruikt als training data. De resultaten hiervan staan in bijlage 2.

Er is ook een experiment uitgevoerd om de WISP metingen te vertalen naar de beperkte set spectrale

banden die een satelliet als WorldView zou zien (Figuur 3). De conclusie van deze plots is dat de WorldView bandsets (afgeleid van WISP metingen) met de gebruikte methodologie leiden tot vergelijkbare schattingen.



Figuur 3 Scatterplots voor locaties met Bultkroos. Links: op basis van volledige WISP metingen. Rechts: op basis van WISP metingen omgerekend naar WorldView satelliet bandwaarden. Beiden zijn gebaseerd op gemiddelden per locatie. De assen geven de samenstellingsgetallen (%) (x-as: observatie, y-as: afgeleid uit WISP)

1.3. Conclusies en aanbevelingen vanuit de in situ analyse

De conclusies op basis van de analyse waarbij respectievelijk 100% en 75% input data gebruikt werd als training data zijn als volgt:

- De informatie wat betreft soortensamenstelling en percentages lijkt aanwezig te zijn in het spectrum.
- De resultaten worden relevanter als er een aantal WISP metingen kort na elkaar gedaan worden en de resultaten per locatie gemiddeld, waarschijnlijk door de invloed van zonneschittering en andere verschillen in belichting.
- In deze analyse is niet meegenomen of de verschillende soorten mengen of vlakken vormen, en hoe deze menging tot expressie komt in de serie WISP metingen. Vooral bij de locaties waar er meer vlakvorming is (e.g. Pomonalaan) kan dat variatie in de WISP metingen veroorzaken.
- Een verdere stap zou kunnen zijn om een methode te ontwikkelen waarbij aangegeven wordt of een bepaalde soort waarschijnlijk voorkomt op een locatie met een bedekkingsgraad boven of onder een bepaalde drempel
- Een uitbreiding van de dataset zou wenselijk zijn om stabielere relaties te ontwikkelen, afhankelijk van de mate van detail van de informatiebehoefte

Uit Figuur 3 blijkt dat de WorldView bandsets (afgeleid van WISP metingen) met de gebruikte methodologie leiden tot vergelijkbare schattingen van samenstelling. Echter het is niet direct mogelijk om deze conclusie door te trekken naar de vraag of een soort zoals Bultkroos ook detecteerbaar is met de satelliet omdat een WISP van dichtbij een heel nauwkeurige meting van het spectrum geeft, terwijl een WorldView satelliet boven de atmosfeer veel meer moeite zal hebben om een vergelijkbaar nauwkeurig spectrum te meten boven een oppervlak van slecht 50*50cm.

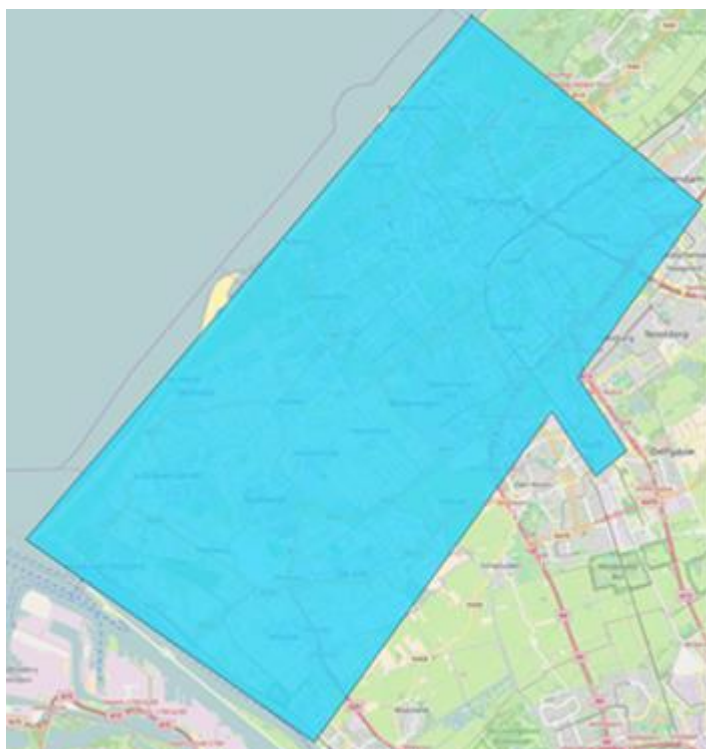
De signaal ruisverhouding van satellieten ligt lager dan bij in-situ instrumenten. Bovendien gaat meestal meer dan 90% van het signaal verloren in de atmosfeer de waarneembare verschillen in het spectrum ook kleiner worden.

Hierdoor kunnen we het algoritme ontwikkeld voor WISP metingen niet zonder meer toepassen op satellietmetingen en kunnen we nu ook niet inschatten hoe nauwkeurig de bepaling dan nog zou zijn. Of het interessant is om hier aandacht aan te besteden hangt af van de informatiebehoefte.

2. Aankoop en voorbereiding van satellietbeelden

2.1. Aangekochte beelden

Er is een PAN-chromatisch en een multispectraal beeld aangekocht. De resolutie van het PAN beeld is hoger (ongeveer 0.5 m per pixel), maar er kan geen onderscheid worden gemaakt in verschillende kleuren licht: het is te vergelijken met een zwart-wit foto. Het multi-spectrale beeld heeft een resolutie van ongeveer 2 m per pixel, daarbij zijn wel acht verschillende kleuren licht te onderscheiden. Er is ook een PAN-sharpened multispectraal beeld gekocht: dit is afgeleid uit een combinatie van PAN (met de hoogste resolutie) en multispectraal (vanwege de spectrale banden).

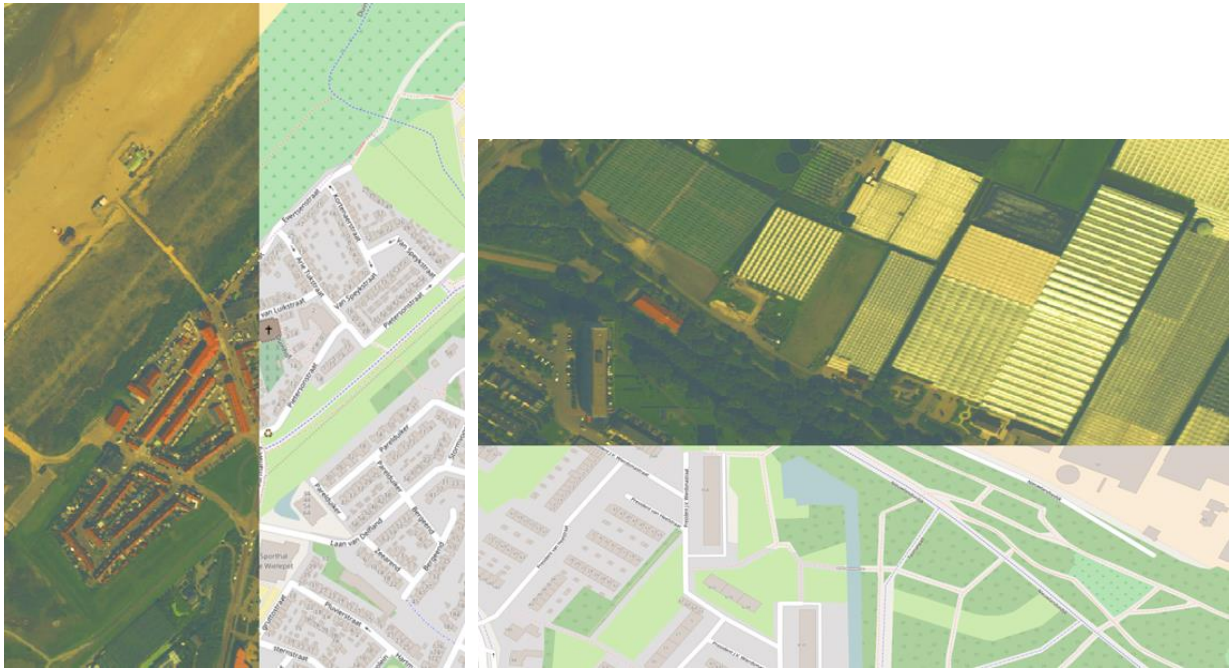


Figuur 4, shapefile van het gebied waarvoor beelden zijn aangekocht. Achtergrondkaart: © OpenStreetmap contributors

Er is gekozen voor een beeld van 27 augustus 2014, omdat bijna het gehele gewenste gebied beschikbaar was (Figuur 4), en er verwacht wordt dat op deze datum kroos aanwezig zou zijn. Het gebied is gekozen uit kostenoverwegingen: de beelden worden aangekocht met per vierkante kilometer (met een minimum grootte van 25 m²), en voor een experimenteel project was het niet noodzakelijk data aan te kopen van het gehele beheersgebied. Alle drie typen beelden (PAN, multispectraal en PAN-sharpened) bestaan uit 13 kleinere tiff files, omdat een beeld dat het gehele gebied zou beslaan erg groot zou zijn en het laden in een programma zoals ArcGIS zou bemoeilijken.

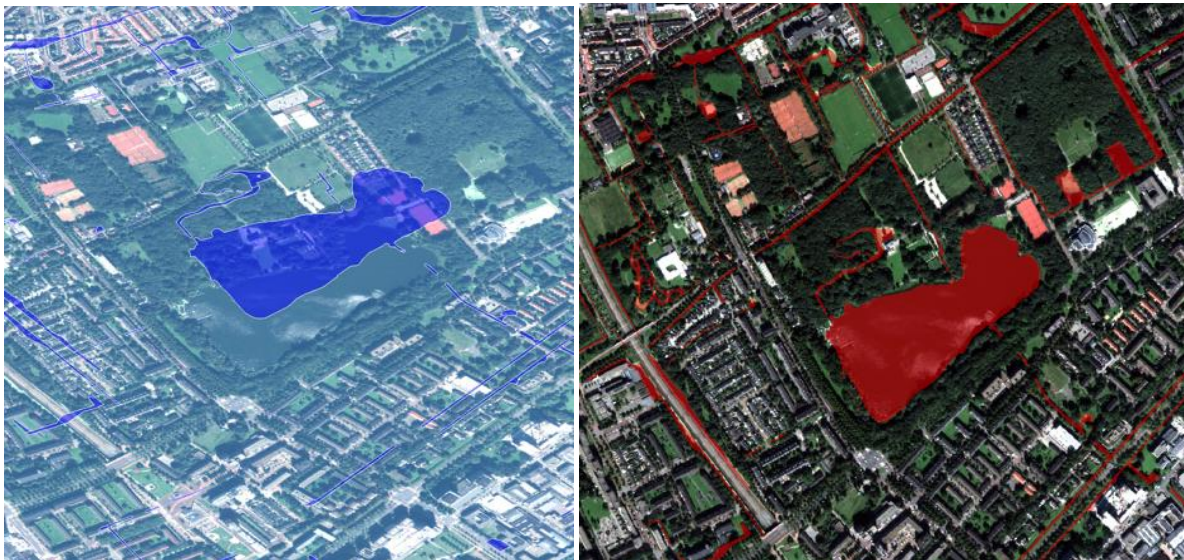
2.2. Georeferentie en projectie van het satellietbeeld

De georeferencing van de WorldView 2 (WV2) beelden blijkt heel nauwkeurig te zijn (Figuur 5).



Figuur 5, Illustratie van het satellietbeeld over open streetmap. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc., achtergrondkaart: © OpenStreetmap contributors

Echter, de shapefiles van het waterschap, die in de vervolgstappen gebruikt zouden worden om een waterkaart te maken hebben de Nederlandse projectie (RD new) en het satellietbeeld een internationale standaard projectie (WGS84). Het satellietbeeld is daarom opnieuw geprojecteerd naar EPSG:28992 – Amersfoort RD new. Het resultaat hiervan is goed (Figuur 6).



Figuur 6, overlay van het satellietbeeld en de shapefiles voor en na herprojectie. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc.

De shapefiles definiëren de wateroppervlakken ook heel precies (Figuur 7).



Figuur 7, Illustratie van het satellietbeeld met de shapefiles van de watervlakken. Links: detail. Rechts: een van de tiff files (delen van het satellietbeeld) met een overlay van watervlakken en op de achtergrond open streetmap. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc., achtergrondkaart: © OpenStreetmap contributors

3. Analyse van de satellietgegevens voor het detecteren van drijvende vegetatie

Het doel van deze analyse was om door handmatig onderzoek van het WorldView 2 beeld de mogelijkheden van het detecteren van drijvende vegetatie zoals kroos op zo hoog mogelijke resolutie duidelijk te krijgen.

3.1. Creëren waterkaart

De eerste stap in de analyse was het genereren van een waterkaart. Hierdoor wordt duidelijk welke vlakken water zijn (bijvoorbeeld met kroos er op) en welke vlakken land (bijvoorbeeld met gras). Bovendien worden de files gemakkelijker om mee te werken: de totale grootte van de drie aangekochte beelden samen is ruim 42 GB. De shapefiles van de watervlakken die zijn aangeleverd door Hoogheemraadschap van Delfland (boezemwatervlakken.shp en polderwatervlakken.shp) zijn gebruikt om de waterpixels uit het satellietbeeld te extraheren en op deze manier een waterkaart te creëren. Het blijkt dat doordat de watervlakken doorlopen onder een brug, dat e.g. bruggen ook onderdeel zijn van de waterkaart (Figuren 8 en 9).



Figuur 8, Uitsnede van het originele satellietbeeld. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc.

Figuur 9, Uitsnede van hetzelfde gebied als in Figuur 8, maar nu alleen de pixels die binnen de watervlakken vallen. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc.



3.2. Onderzoek glint/waterdamp

Glint, ofwel directe reflectie van zonlicht, waarbij het wateroppervlak werkt als een spiegel, verhindert het afleiden van andere informatie van het wateroppervlak of vanuit de waterkolom. Bij de aankoop van het satellietbeeld is rekening gehouden met de zonnehoek en kijkhoek van de satelliet om zo veel mogelijk glint effecten te voorkomen. Waterdamp / mist heeft een vergelijkbaar effect: het verhindert de satelliet om de juiste kleur van het oppervlak waar te nemen en levert daarom onbruikbare pixels op.

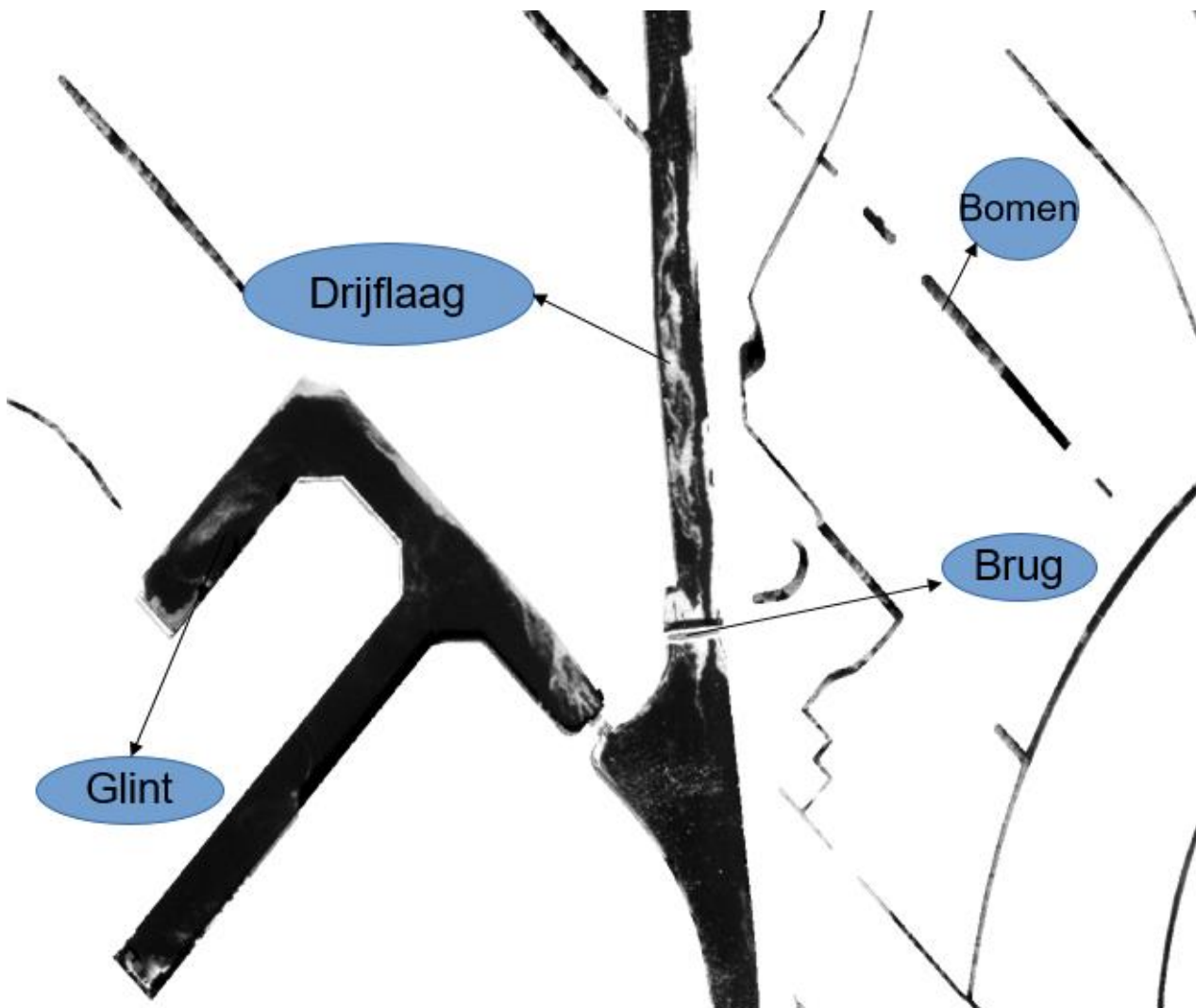
Het aangekochte beeld is onderzocht op het voorkomen van glint en waterdamp, om met deze locaties in de verdere processing stappen rekening te houden. Glint is op enkele plaatsen waargenomen (zie bijvoorbeeld het meertje in Figuur 10). Waterdamp is niet gevonden.



Figuur 10, voorbeeld van een meertje met glint. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc.

3.3. Analyse van het PAN beeld

Voor dit experiment was de vraag of alleen een PAN beeld voldoende zou zijn om kroos te detecteren. Dit om dat de resolutie het hoogst is en de kosten het laagst. Voor dit doel is er een waterkaart gemaakt van het PAN beeld. Handmatig werd gekeken welke items zichtbaar waren en welke niet. Figuur 11 laat zien dat binnen de waterkaart onderscheid gemaakt kan worden tussen open water (zwart) en andere items (wit).



Figuur 11, Waterkaart van het PAN beeld met zichtbare items. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc.

Echter, drijvende vegetatie zoals kroos is niet te onderscheiden van objecten zoals een brug en bomen langs de waterkant die overhangen, of van spiegeling van zonlicht (glint). Drijvende vegetatie, glint, en bomen komen allemaal in gradaties bedekking voor, zodat een drempelwaarde toepassen op de hoeveelheid gereflecteerd licht niet werkt. De items konden alleen worden onderscheiden door het multispectrale beeld er bij te pakken en deze te interpreteren. Onze conclusie is daarom dat alleen het PAN beeld niet geschikt is om bijvoorbeeld kroos waar te nemen.

3.4. Vergelijking van het 'simpele' multispectrale beeld met het PAN-sharpened beeld

Voor het vervolg, het onderzoeken van de mogelijkheden om kroos te detecteren met behulp van multispectrale hoge resolutie data, was eerst van belang met welke van de twee multispectrale beelden gewerkt zou gaan worden. Daarom zijn het 'simpele' multispectrale beeld en het PAN-sharpened beeld vergeleken.



Figuur 12, Vergelijking tussen het 'simpele' multispectrale beeld en het PAN-sharpened beeld. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc.

Zoals verwacht, is het PAN-sharpened beeld iets scherper, dit komt door de hogere resolutie (Figuur 12). Het ziet er daarom mooier uit. De contrasten zijn daarom ook wat groter, wat praktisch is bij de analyse. Er is weinig of geen prijsverschil tussen het PAN-sharpened en het gewone multispectrale beeld. Vanwege deze voordelen heeft het PAN-sharpened beeld daarom de voorkeur.

Het is echter ook van belang om te weten of de spectrale informatie niet verloren gaat door het proces van PAN-sharpening. Dit is onderzocht door data van een aantal pixels te extraheren, zowel van het gewone multispectrale beeld als van het PAN-sharpened beeld, en de spectrale informatie hiervan te vergelijken. Er is gekozen voor pixels van verschillende typen bedekking (Figuur 13): 1: water met algen er in, 2: drijvende vegetatie (mogelijk kroos), en 3: open water.

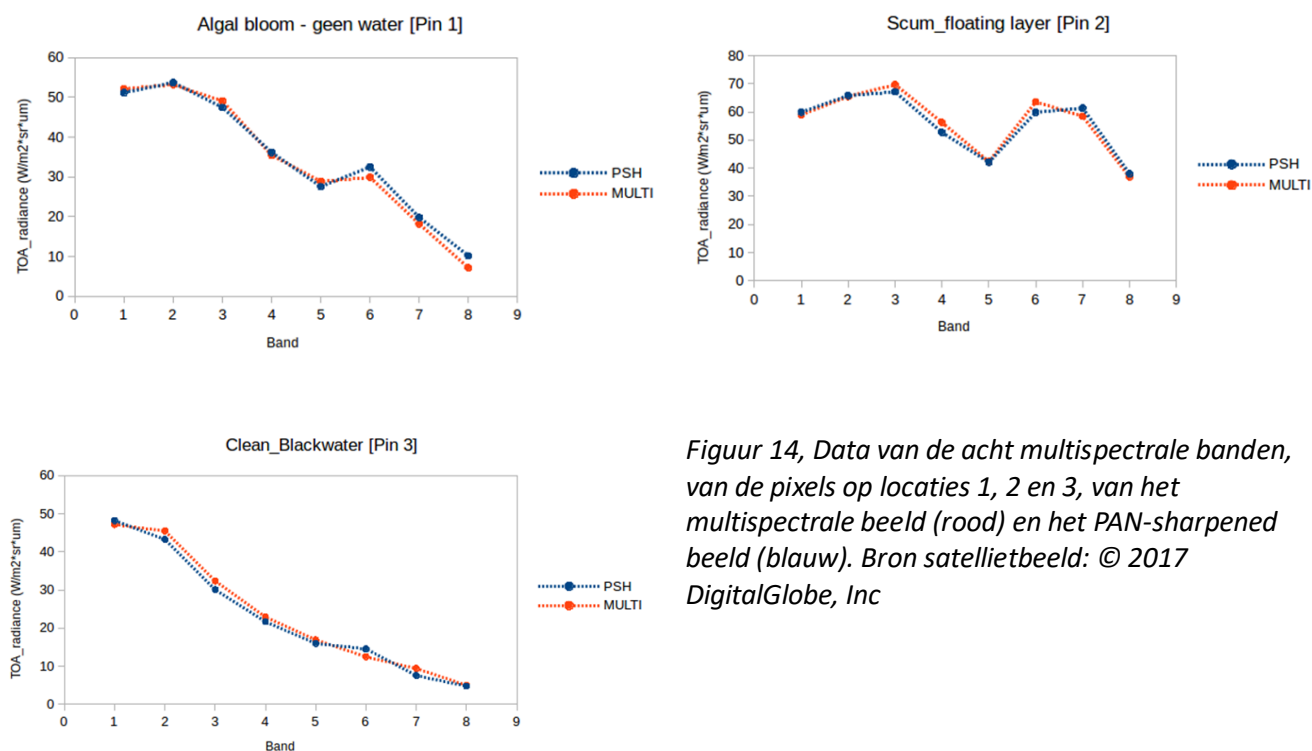


Figuur 13, Locaties van geëxtraheerde pixels.

Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc

Figuur 14 laat zien dat er nauwelijks veranderingen optreden in de spectrale informatie voor de gekozen pixels. De pixels op de randen tussen twee bedekkingen zullen logischerwijs wel een verschil laten zien, daar is niet naar gekeken omdat dat een gewenst effect is.

De conclusie is dat het PAN-sharpened beeld enige voordelen heeft, terwijl er geen spectrale informatie verloren is gegaan. De verdere bewerkingen en analyses zullen dus uitgevoerd worden op het PAN-sharpened beeld. Echter, dezelfde processing zou ook uitgevoerd kunnen worden op het multispectrale beeld, met vergelijkbare, alleen iets minder 'scherpe' resultaten.



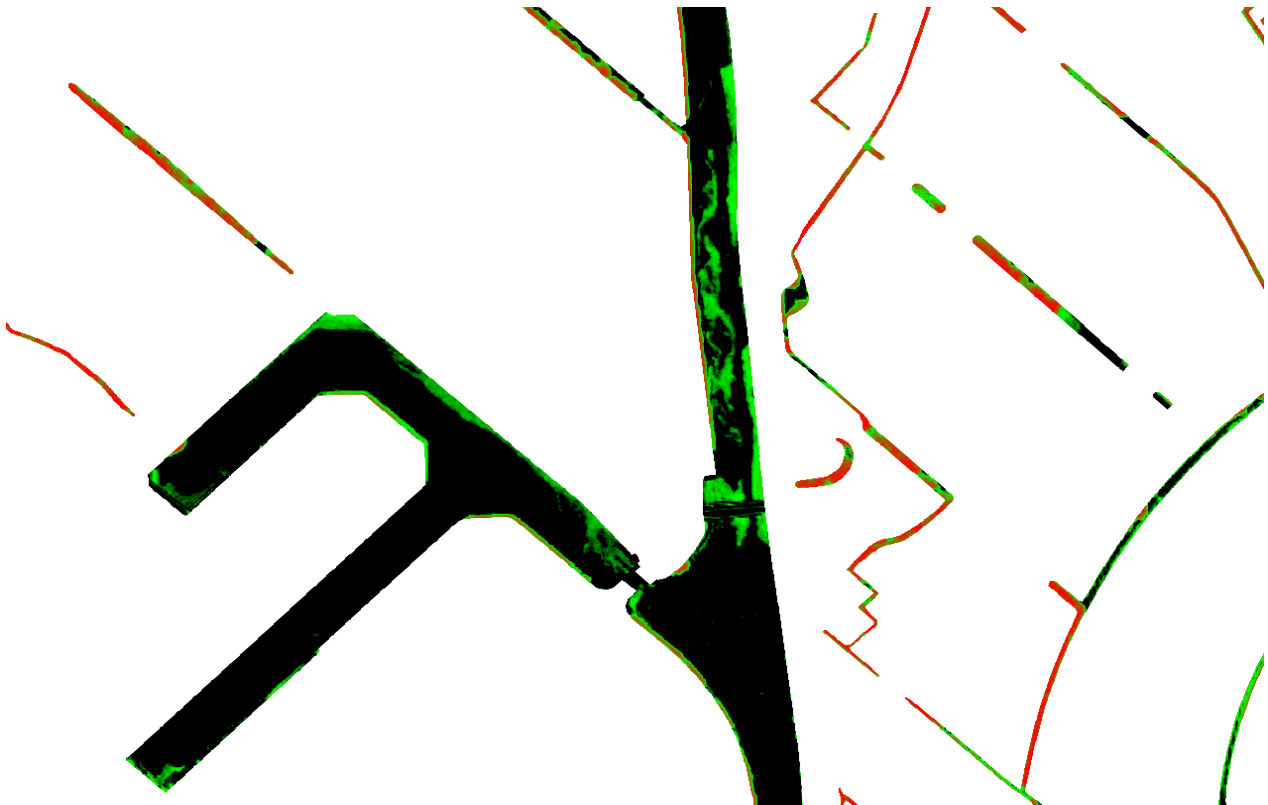
Figuur 14, Data van de acht multispectrale banden, van de pixels op locaties 1, 2 en 3, van het multispectrale beeld (rood) en het PAN-sharpened beeld (blauw). Bron satellietbeeld: © 2017 DigitalGlobe, Inc

3.5. Mogelijkheden van het gebruik van het met het PAN-sharpened beeld voor detectie van drijvende vegetatie zoals kroos.

Het doel van dit experiment was om de mogelijkheden te onderzoeken om kroos te detecteren met behulp van multispectrale hoge resolutie data, in dit geval het PAN-sharpened multispectrale WV2 beeld.

Aangezien kroos vegetatie is, is er een vegetatieindex berekend op het multispectrale beeld. Objecten zoals een brug over het water, en reflectie van de zon konden hiermee gemakkelijk verwijderd worden (Figuur 15). Door het toepassen van een drempelwaarde konden bomen en drijvende vegetatie zoals kroos worden onderscheiden.

Van dit resultaat is een kaart van het gehele gebied gemaakt.



Figuur 15. Resultaat van het toepassen van de vegetatieindex met drempelwaarden op het multispectrale beeld. Zwart is water, groen is drijvende vegetatie en rood zijn voornamelijk overhangende bomen. Bron satellietbeeld: © 2017 DigitalGlobe, Inc

4. Het onderscheiden van typen vegetatie en algen met satellietbeelden

4.1. Observaties van typen vegetatie

Gebaseerd op de resultaten zoals gepresenteerd in Figuur 15, is besloten om niet te gaan proberen het algoritme gebaseerd op de WISP metingen (Hoofdstuk 1) op de satellietbeelden toe te passen, omdat de uitkomst daarvan zeer ongewis zou zijn, maar in plaats daarvan te focussen op het onderscheiden van de hoofdklassen, met de meer gewenste en de meer ongewenste soorten.

Van deze klassen dienden voldoende observaties aanwezig te zijn om het algoritme te kunnen trainen.

Er is tijdens een overleg en per email informatie over locaties van vegetatie uitgewisseld om een algoritme te trainen. Een deel van deze data bevatte locaties met observaties direct van het satellietbeeld van 2014, een deel bevatte in situ observaties van het Hoogheemraadschap van 2015. De lijst met observaties staat in Bijlage 3.

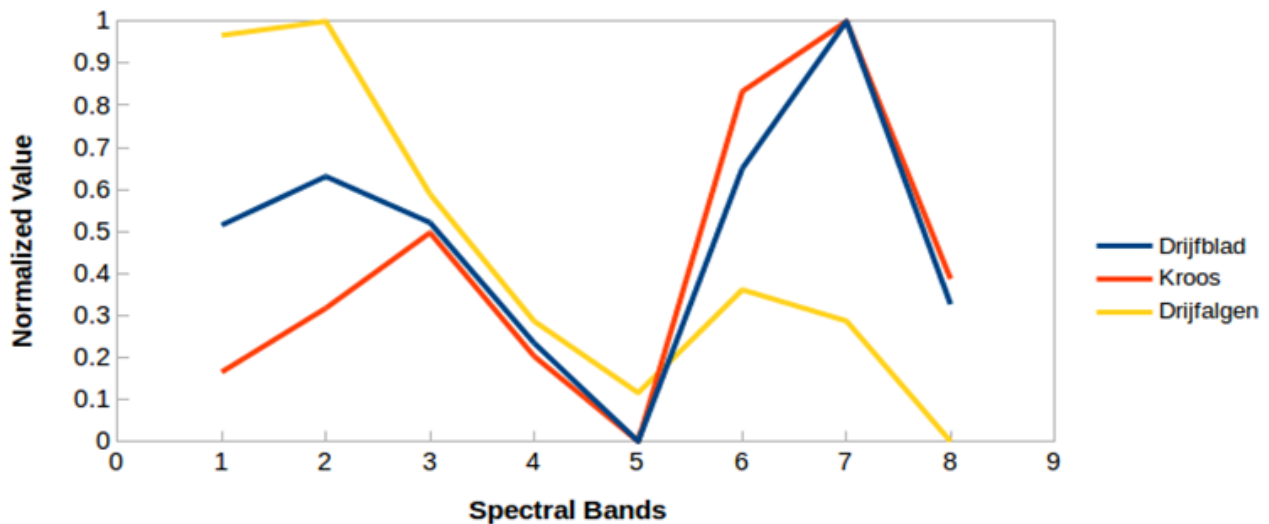
Hierop gebaseerd werden de volgende drie klassen gedefinieerd:

- De gewenste typen: drijfblad, zoals Witte waterlelie, Gentiaan, Gele Plomp en Kikkerbeet
- Ongewenste typen: Kroos
- Ongewenste typen: drijfalgen

Alleen Grote waternavel is een groot drijfblad dat wel bestreden wordt. Grote waternavel was in 2014 en 2015 echter nog (nauwelijks) aanwezig en kwam dus niet voor in de observaties.

4.2. Algoritme ontwikkeling en resultaten

Eerst zijn enige voorbewerkingsstappen uitgevoerd met het satellietbeeld. Daarna zijn van elk van de observaties uit Bijlage 3 pixels uit het satellietbeeld geëxtraheerd. Na normalisatie en middelen blijkt dat de reflectiespectra van Drijfblad, Kroos en drijfalgen een geheel verschillende spectrale vorm hebben (Figuur 16).



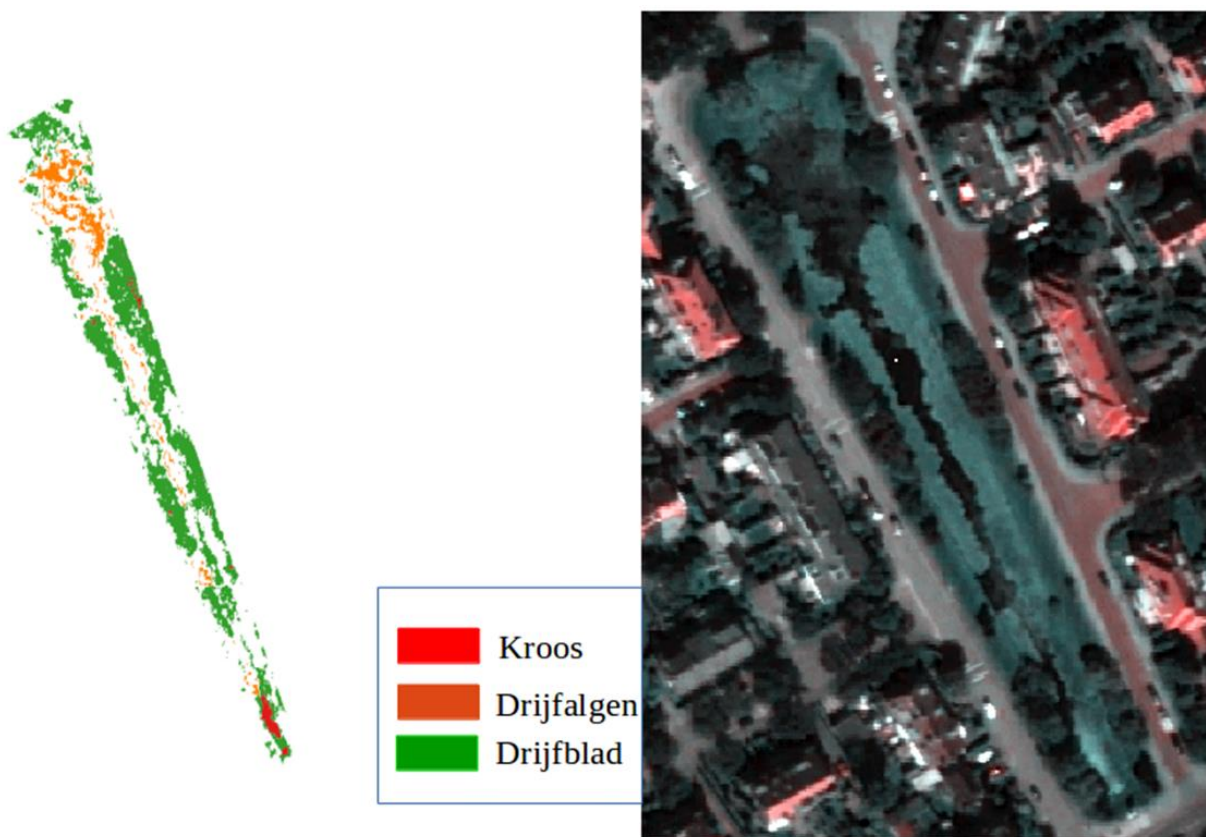
Figuur 16. Spectrale vorm van de drie typen vegetatie die onderscheiden kunnen worden in het WorldView2 satellietbeeld. Bron satellietbeeld: © 2017 DigitalGlobe, Inc.

Op de spectrale vormen van Figuur 16 zijn vervolgens nieuwe kennisregels en een algoritme ontwikkeld, die het mogelijk maakt na het berekenen van de vegetatieindex (sectie 3.5) onderscheid te maken tussen Drijfblad (de gewenste typen), Kroos en drijfalgen (beide ongewenste typen).

Daarna is dit algoritme op het gehele satellietbeeld toegepast. Voorbeelden van resultaten staan in figuren 17 en 18.



Figuur 17. Resultaat (links) en screenshot (rechts) van het water bij het zuidelijk deel van de Pomonalaan in Den Haag. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc



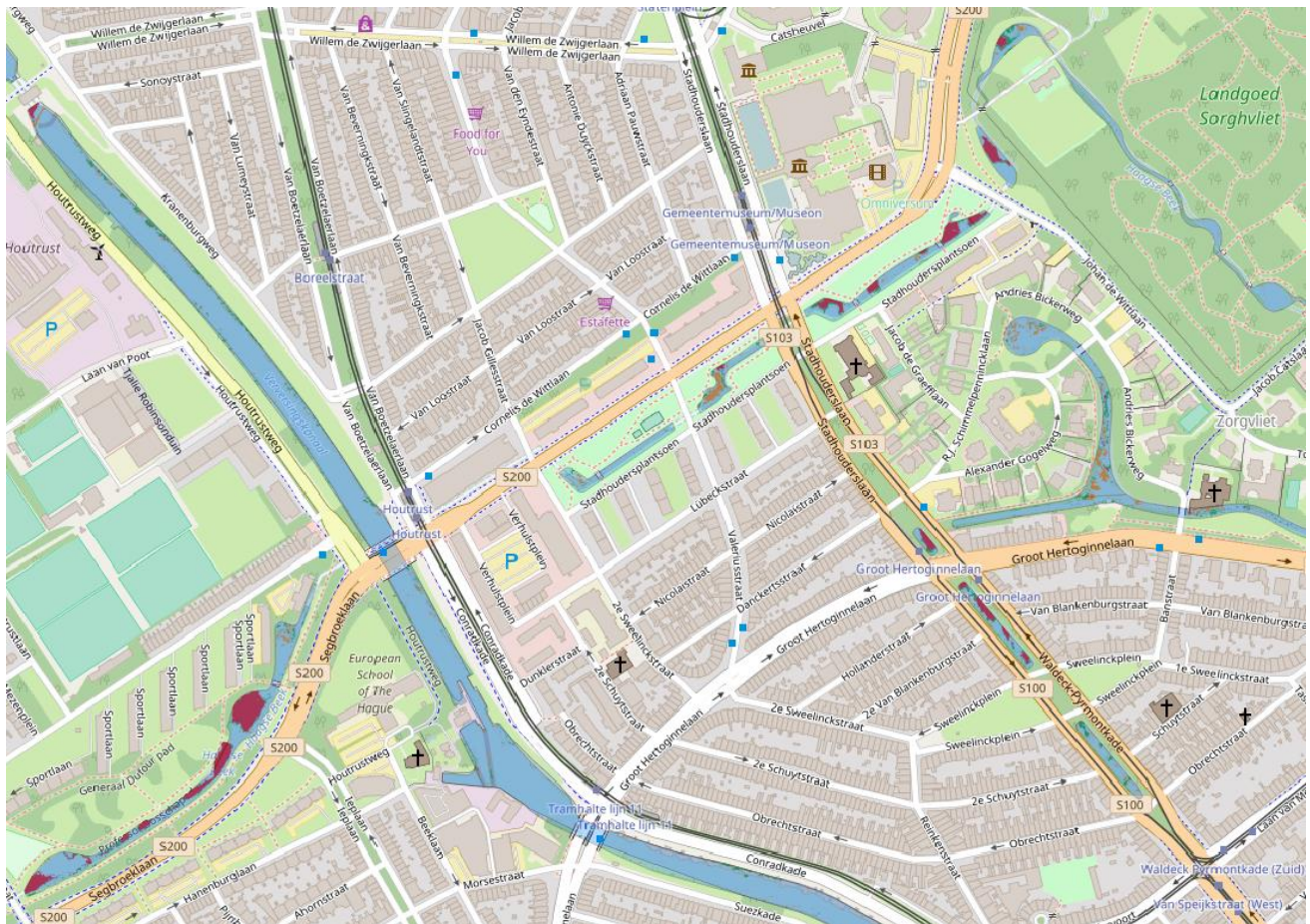
Figuur 18. Resultaat (links) en screenshot (rechts) van het water bij het noordelijk deel van de Pomonalaan in Den Haag. Satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc

Deze resultaten zijn geheel volgens de verwachting. Als voorbeeld: in het zuidelijk deel van de Pomonalaan komt aan de oostkant vooral kroos voor en aan de west kant drijfalgen en kroos (Figuur 17 en Bijlage 3), aan de noordkant vooral drijfblad (Figuur 18 en Bijlage 3).

4.3. Gebruikersvriendelijke kaart

De originele satellietbeelden zijn erg groot. Deze bevatten alle spectrale informatie voor alle pixels. Een eerste reductie werd gemaakt door alleen de waterpixels te extraheren. Vervolgens werden de typen vegetatie afgeleid.

Tijdens de bijeenkomst in December heeft Hoogheemraadschap van Delfland aangegeven dat het van belang was om de kaart snel te kunnen laden en overlays te kunnen maken met andere kaarten. Shapefiles met informatie in polygonen hadden daarom de voorkeur. Aangezien het originele beeld uit 13 stukken bestond, zijn deze stukken eerst aan elkaar gemaakt, en zijn er vervolgens shapefiles gecreëerd van de drie typen vegetatie die werden onderscheiden (Figuur 19).



Figuur 19, oppervlakken van kroos (rood), drijfalg (oranje) en drijfblad (groen) en de oppervlakken van boezemwatervlakken en polderwatervlakken (beide blauw). Bron satellietbeeld © 2017 DigitalGlobe, Inc., achtergrondkaart: © OpenStreetmap contributors

5. Mogelijkheden voor vervolgdiensten

5.1. Vergelijking met luchtfotografie

Hoogheemraadschap van Delfland heeft voor dit project luchtfotografie van dezelfde periode beschikbaar gesteld. De true-colour beelden die hiervan te maken zijn geven een zeer gedetailleerd beeld van het beheersgebied, en maken het voor experts mogelijk om handmatig typen vegetatie te onderscheiden, bijvoorbeeld door het herkennen van drijfblad aan de lobbige randen.

Echter, er zijn maar drie spectrale banden beschikbaar: rood, groen en blauw. Een vierde aanwezige band (mogelijk bedoeld om Near-Infrarood op te slaan) bevat alleen 0-waarden. De drie aanwezige spectrale banden kunnen bij elkaar opgeteld worden en geven dan informatie die vergelijkbaar is met het PAN satellietbeeld. De drie banden zijn echter niet voldoende voor het berekenen van de vegetatieindex, waar Near-Infrarood voor nodig is. Zou Near-Infrarood toegevoegd worden aan de opnamen vanuit de lucht, dan zouden resultaten zoals gepresenteerd in Figuur 15 gecreëerd kunnen worden. Voor het onderscheiden van de typen vegetatie (zoals de resultaten gepresenteerd in Figuur 19) zijn echter nog meer spectrale banden gebruikt, die wel in WorldView-2 satellietdata maar niet in luchtfotografie data aanwezig zijn, tenzij hiervoor speciale spectrale camera's gebruikt zouden worden.

5.2. Mogelijkheden tot automatisering

Doel binnen dit project was ook om te kijken naar de mogelijkheden van een toekomstige service. Naast de aankoopkosten van het satellietbeeld, dat onderdeel zal zijn van de service, is gekeken of automatisering mogelijk is. Binnen het huidige project is het processen van het satellietbeeld volledig handmatig uitgevoerd:

- herprojectie
- waterkaart creëren
- voorbereidende processing stappen
- berekenen vegetatieindex en herkennen drijvende vegetatie
- toepassen algoritme voor het herkennen van vegetatietypen
- aan elkaar 'plakken' van de sub-sets
- het creëren van shapefiles

In principe kunnen alle stappen geautomatiseerd worden, waardoor de kosten van een service omlaag gaan. Het ligt echter ook aan de gewenste frequentie en aantallen van producten of dit opweegt tegen de kosten van het opzetten van deze automatisering.

5.3. Mogelijke vervolgdiensten

Doordat een standaard methode wordt gebruikt om de satellietbeelden te processen kunnen de kaarten van kroos en drijfblad gemakkelijk en objectief worden vergeleken. Verschillende soorten vervolgdiensten zijn mogelijk:

- Kaarten/shapefiles met daarbij de berekende (percentages) bedekking van kroos, drijfalg en drijfblad, over het hele gebied, of opgesplitst in deelgebieden
- Levering van kaarten/shapefiles van hetzelfde gebied op verschillende momenten in het seizoen om bijvoorbeeld verplaatsing van kroos door stroming in het water of de wind te volgen
- Snelle levering (mogelijk vanaf ongeveer 2 weken na het nemen van de satellietfoto) om beheermaatregelen te kunnen nemen gebaseerd op de resultaten
- Jaarlijkse producten, om toe- of afnamen en/of de gevolgen van maatregelen te volgen

Verder kunnen de aangekochte satellietbeelden gebruik worden voor meerdere diensten, waardoor de

aankoopkosten gedeeld kunnen worden. Een mogelijkheid hiervoor is het afleiden van verschillende producten voor dezelfde gebruiker (het waterschap in dit geval), zoals het beeld in deze studie ook gebruikt kan worden voor bijvoorbeeld het analyseren van landsgebruik (bos, water, bebouwing, akkers, grasland). Een andere mogelijkheid is het afleiden van producten voor gebruikers die in hetzelfde stuk aardoppervlak geïnteresseerd zijn, zoals de provincie of gemeenten in het gebied.

6. Conclusies

In eerste instantie is gekeken naar de maximale mogelijkheden van optische data, door in situ spectrale metingen te analyseren en een algoritme op te zetten om typen vegetatie hieruit af te leiden. Hoewel dit algoritme erg goede resultaten liet zien voor het onderscheiden van typen kroos en samenstellingsgetallen, kon het niet worden ingezet voor de satellietdata.

Er zijn satellietbeelden besteld van de satelliet WorldView. Deze bleek van hoge kwaliteit, met een goede georeferentie. Na het uitvoeren van enkele voorbereidende stappen, waaronder herprojectie, kon met behulp van shapefiles een waterkaart worden gecreëerd. Hoewel het PAN satellietbeeld de hoogste resolutie heeft, is deze minder geschikt voor het traceren van kroos, omdat er geen onderscheid gemaakt kan worden tussen bijvoorbeeld kroos of bomen die over het water hangen. PAN-sharpened multispectrale beeld is hiervoor het meest geschikt. Ongewenste 'objecten' zoals bruggen en directe reflectie van zon op het wateroppervlak konden zo ook verwijderd worden. Het resultaat was een beeld met de categorieën: bomen, vegetatie op het water, en open water.

Een stap verder was het onderscheiden van typen drijvende vegetatie. Hiervoor is een lijst met observaties en aanwijzingen gebruikt. Drie typen vegetatie op het water bleken een zeer verschillende spectrale vorm te hebben en konden dus worden onderscheiden door middel van een algoritme:

- Drijfblad
- Kroos
- Drijfalgen

Er is eerst een kaart en vervolgens drie (vector) shapefiles gecreëerd voor deze drie typen vegetatie. De resultaten zien er uit volgens de verwachtingen aan de hand van de observaties. Het ziet er naar uit dat deze typen vegetatie goed onderscheiden kunnen worden door middel van zeer hoge resolutie satellietbeelden. Voor een toekomstige service wordt het aanbevolen om tijdens de opname van de satelliet spectrale metingen op het water uit te voeren.

Aangezien de processing methode nu vast ligt, kunnen beelden op een standaard manier bewerkt worden, wat kaarten gebaseerd op verschillende beelden vergelijkbaar maakt en bruikbaar voor bijvoorbeeld het analyseren van toe- of afname van bedekkingspercentage, of analyse van de richting waarin het kroos drijft of geblazen wordt door de wind. Automatisering is in principe ook mogelijk.

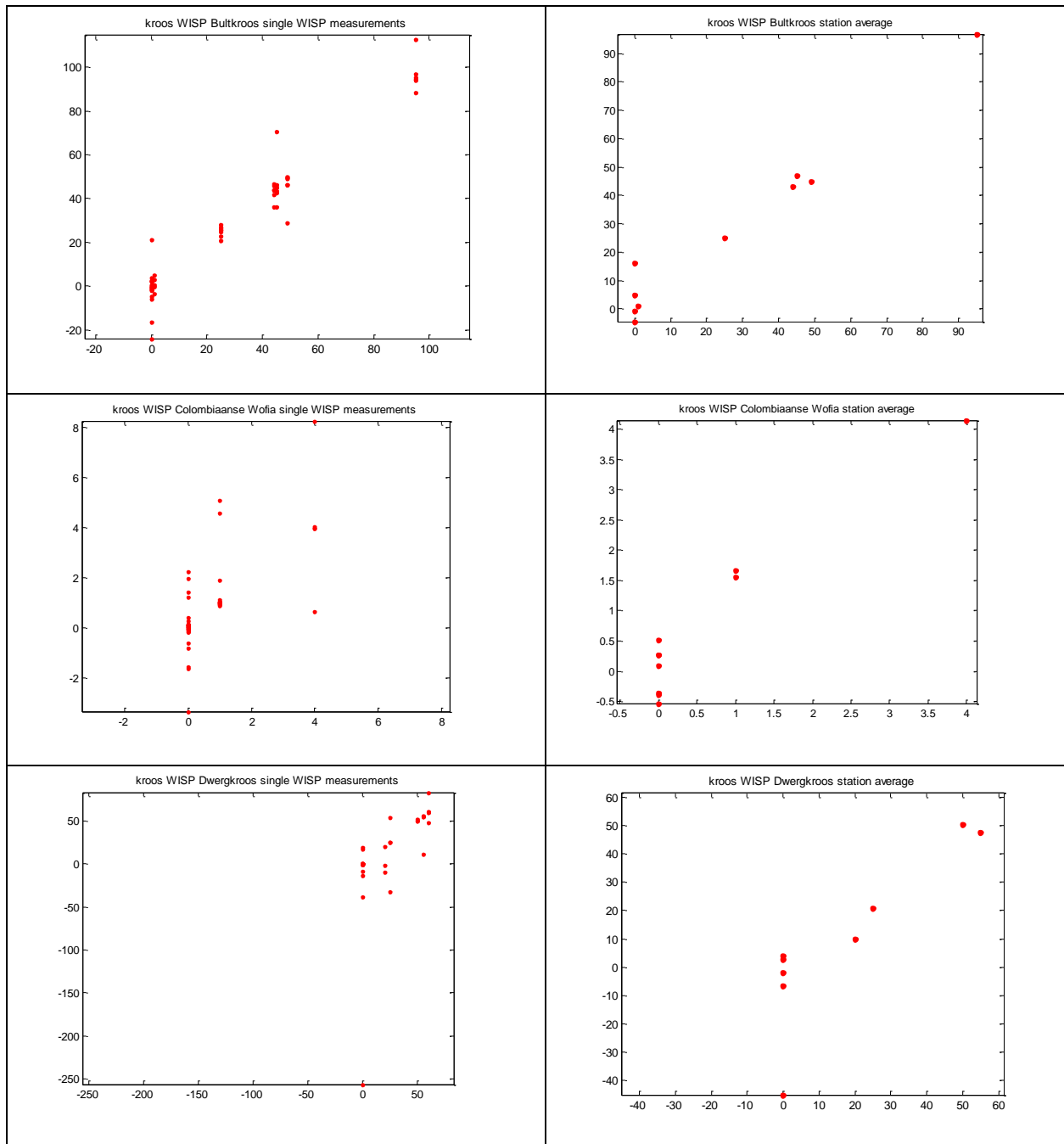
Vergelijkbare producten kunnen niet gegenereerd worden op basis van de luchtfotografie, omdat essentiële spectrale banden daarvoor missen; tenzij speciale spectrale camera's toegepast zouden worden.

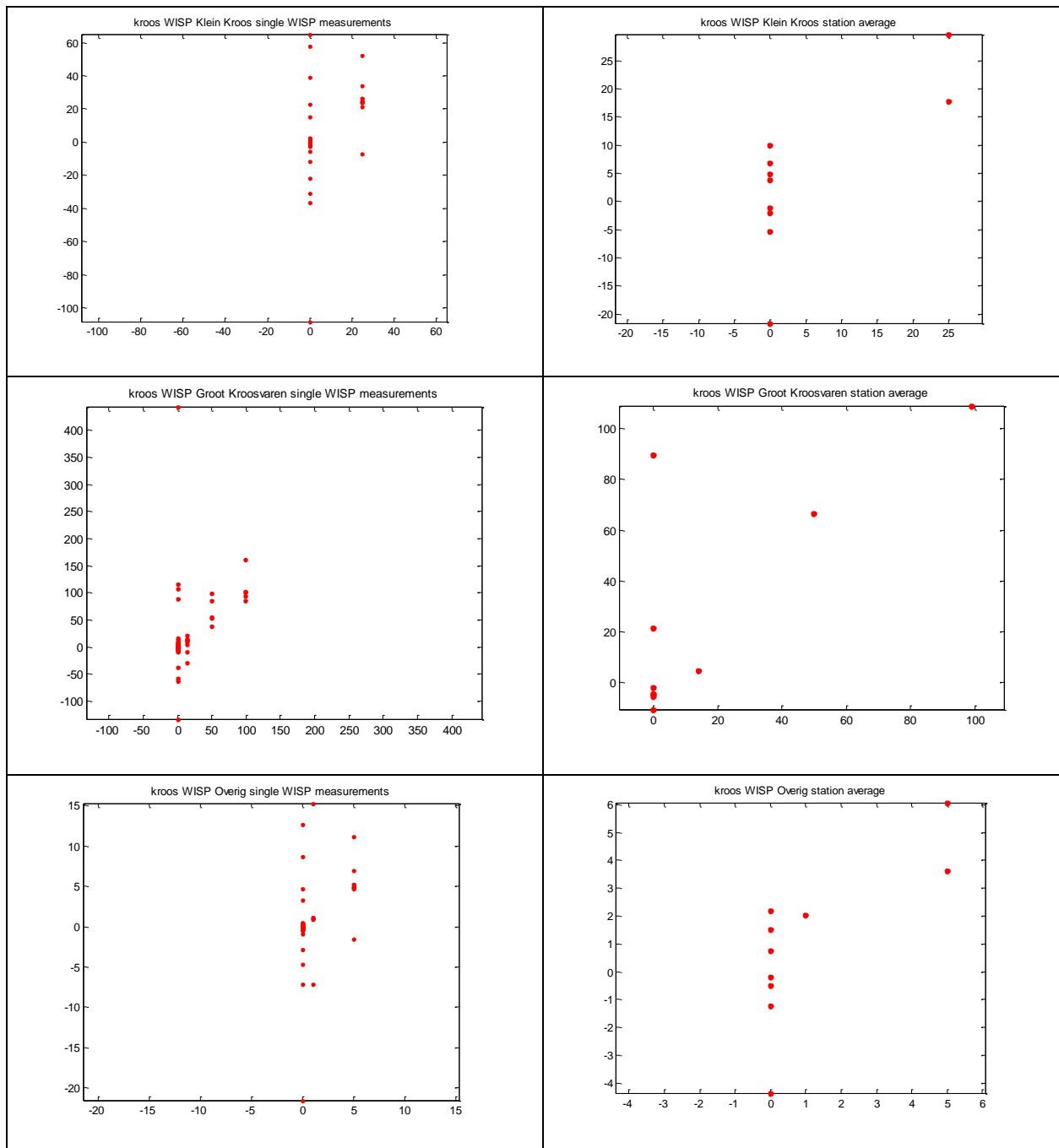
Bijlage 1, samenvatting van de optische in situ metingen

Region	Locatie	Date	Locatie nummer
HH Delfland	Oude buizerdlaan, Den Haag	28-9-2016 14:16	9
HH Delfland	Oude buizerdlaan, Den Haag	28-9-2016 14:16	9
HH Delfland	Oude buizerdlaan, Den Haag	28-9-2016 14:16	9
HH Delfland	Oude buizerdlaan, Den Haag	28-9-2016 14:16	9
HH Delfland	Oude buizerdlaan, Den Haag	28-9-2016 14:15	9
HH Delfland	Oude buizerdlaan waterlelie, Den Haag	28-9-2016 14:12	10
HH Delfland	Oude buizerdlaan waterlelie, Den Haag	28-9-2016 14:12	10
HH Delfland	Oude buizerdlaan waterlelie, Den Haag	28-9-2016 14:12	10
HH Delfland	Oude buizerdlaan waterlelie, Den Haag	28-9-2016 14:12	10
HH Delfland	Oude buizerdlaan waterlelie, Den Haag	28-9-2016 14:12	10
HH Delfland	Oude buizerdlaan waterlelie, Den Haag	28-9-2016 14:11	10
HH Delfland	Oude buizerdlaan waterlelie, Den Haag	28-9-2016 14:11	10
HH Delfland	Pomonalaan gemengd kroos, Den Haag	28-9-2016 13:51	8
HH Delfland	Pomonalaan gemengd kroos, Den Haag	28-9-2016 13:51	8
HH Delfland	Pomonalaan gemengd kroos, Den Haag	28-9-2016 13:51	8
HH Delfland	Pomonalaan gemengd kroos, Den Haag	28-9-2016 13:51	8
HH Delfland	Pomonalaan gemengd kroos, Den Haag	28-9-2016 13:51	8
HH Delfland	Pomonalaan kroosvaren, Den Haag	28-9-2016 13:45	7
HH Delfland	Pomonalaan kroosvaren, Den Haag	28-9-2016 13:44	7
HH Delfland	Pomonalaan kroosvaren, Den Haag	28-9-2016 13:44	7
HH Delfland	Pomonalaan kroosvaren, Den Haag	28-9-2016 13:44	7
HH Delfland	Pomonalaan kroosvaren, Den Haag	28-9-2016 13:44	7
HH Delfland	Chrysantplein, Den Haag	28-9-2016 13:32	6
HH Delfland	Chrysantplein, Den Haag	28-9-2016 13:32	6
HH Delfland	Chrysantplein, Den Haag	28-9-2016 13:32	6
HH Delfland	Chrysantplein, Den Haag	28-9-2016 13:31	6
HH Delfland	Chrysantplein, Den Haag	28-9-2016 13:31	6
HH Delfland	Chrysantplein, Den Haag	28-9-2016 13:31	6
HH Delfland	Groot Hertoginnenlaan, Den Haag	28-9-2016 13:08	5
HH Delfland	Groot Hertoginnenlaan, Den Haag	28-9-2016 13:08	5
HH Delfland	Groot Hertoginnenlaan, Den Haag	28-9-2016 13:08	5
HH Delfland	Groot Hertoginnenlaan, Den Haag	28-9-2016 13:08	5

HH Delfland	Groot Hertoginnenlaan, Den Haag	28-9-2016 13:07	5
HH Delfland	Groot Hertoginnenlaan, Den Haag	28-9-2016 13:07	5
HH Delfland	Groot Hertoginnenlaan, Den Haag	28-9-2016 13:07	5
HH Delfland	Groot Hertoginnenlaan, Den Haag	28-9-2016 13:07	5
HH Delfland	Parelmoerhorst Gele Lis, Den Haag	28-9-2016 12:38	4
HH Delfland	Parelmoerhorst Gele Lis, Den Haag	28-9-2016 12:38	4
HH Delfland	Parelmoerhorst Gele Lis, Den Haag	28-9-2016 12:38	4
HH Delfland	Parelmoerhorst Gele Lis, Den Haag	28-9-2016 12:38	4
HH Delfland	Parelmoerhorst Gele Lis, Den Haag	28-9-2016 12:38	4
HH Delfland	Parelmoerhorst Gele Lis, Den Haag	28-9-2016 12:38	4
HH Delfland	Parelmoerhorst, Den Haag	28-9-2016 12:28	3
HH Delfland	Parelmoerhorst, Den Haag	28-9-2016 12:28	3
HH Delfland	Parelmoerhorst, Den Haag	28-9-2016 12:28	3
HH Delfland	Parelmoerhorst, Den Haag	28-9-2016 12:28	3
HH Delfland	Parelmoerhorst, Den Haag	28-9-2016 12:28	3
HH Delfland	Parelmoerhorst, Den Haag	28-9-2016 12:28	3
HH Delfland	Parelmoerhorst, Den Haag	28-9-2016 12:28	3
HH Delfland	Smaragdhorst, Den Haag	28-9-2016 12:15	2
HH Delfland	Smaragdhorst, Den Haag	28-9-2016 12:15	2
HH Delfland	Smaragdhorst, Den Haag	28-9-2016 12:14	2
HH Delfland	Smaragdhorst, Den Haag	28-9-2016 12:14	2
HH Delfland	Smaragdhorst, Den Haag	28-9-2016 12:14	2
HH Delfland	Smaragdhorst, Den Haag	28-9-2016 12:13	2
HH Delfland	Smaragdhorst, Den Haag	28-9-2016 12:13	2
HH Delfland	Isabellaland, Den Haag	28-9-2016 11:53	1
HH Delfland	Isabellaland, Den Haag	28-9-2016 11:53	1
HH Delfland	Isabellaland, Den Haag	28-9-2016 11:52	1
HH Delfland	Isabellaland, Den Haag	28-9-2016 11:52	1
HH Delfland	Isabellaland, Den Haag	28-9-2016 11:52	1
HH Delfland	Isabellaland, Den Haag	28-9-2016 11:52	1

Bijlage 2 Resultaten van het experiment waarbij 75 procent van de optische dataset is gebruikt als training data





Plots per meting en per locatie voor training op gehele dataset. Links: enkele metingen. Rechts: gemiddelden. De assen geven de percentages bedekking (x-as: observatie, y-as: afgeleid uit WISP)

Bijlage 3, Locatielijsten

Locatie	lat /lon	Wat	Notes
Buizerdlaan, Den Haag	52.075851, 4.244907	Complete gebied	Kartelrand, open in het midden
Haagse beek, Henri Dunantpad Den Haag	rond 52.081668, 4.267400	complete lengte van de Haagse beek is bedekt met kroos	
Den Haag: Chrysantplein, Pomonalaan Pomonaplein	Chrysantplein: 52.072338, 4.257522 Pomonalaan: 52.071111, 4.258686 Pomonaplein east: 52.069899, 4.260101 Pomonaplein west: 52.069701, 4.259495	Chrystantplein: kroos Pomonalaan: drijfblad Pomonaplein oost: kroos Pomonaplein west: kroos + drijfalg	
Houtrustweg, Den Haag	52.089880, 4.267197 > op dit punt kroos	Kroos in de noordelijke punt. Iets verder naar het zuiden: kantenranden zijn drijfblad. Nog iets verder naar het zuiden (meer als 'klonten'): riet	Kroos bedekt het gehele oppervlak Drijfblad groeit aan de oevers, meestal open in het midden. De randen zijn gekarteld.
Achterom, Delft	52.006346, 4.360632 > glint 52.006462, 4.361387 > gele plomp 52.006898, 4.362059 > mix 52.007421, 4.362068 > kroos	Overgang van gele plomp drijfblad naar kroos	
Verwersdijk, Delft	rond 52.015137, 4.356769	Noordelijke deel: drijfblad Zuidelijke deel: kroos	Kroos bedekt het gehele oppervlak Drijfblad groeit aan de oevers, meestal open in het midden. De randen zijn gekarteld



Gele Plomp (nuphar lutea) nabij Wenpad 2 in Poeldijk. Infraroodbeeld, Beeldmateriaal.nl, 2015



Achter Boomaweg 25A in Den Haag een mix van witte waterlelie (nymphaea alba) en gele plomp (nuphar lutea). Infraroodbeeld, Beeldmateriaal.nl, 2015



Watergentiaan (*nymphoides peltata*) aan de Martinus Nijhoffweg in Den Haag. Infraroodbeeld, Beeldmateriaal.nl, 2015



Watergentiaan (*nymphoides peltata*) en exotische/gekweekte waterlelies (*nymphaea marliacea*) bij de Menno ter Braakstraat in Den Haag (voor de waterlelies, zie ook google streetview, daarop zijn ze goed te zien) . Infraroodbeeld, Beeldmateriaal.nl, 2015