

Rapportage Lumbricus Peilen en vegetatie 2019

proeftuin zuid



Rapportage Lumbricus Peilen en vegetatie 2019
proeftuin zuid

Auteur(s)

Ellis Penning

Koen Berends

Sandra Gaytan Aguilar

Rapportage Lumbricus Peilen en vegetatie 2019

proeftuin zuid

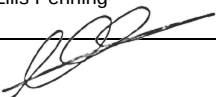
Opdrachtgever	Waterschap Aa en Maas
Contactpersoon	Frank van der Bolt
Referenties	-
Trefwoorden	Vegetatiebeheer, Peilbeheer, Ecohydraulics, Remote Sensing, Aquatische Vegetatie

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	31-03-2021
Projectnummer	1220765-000
Document ID	1220765-000-BGS-0021
Pagina's	41
Status	definitief

Auteur(s)

	Ellis Penning Koen Berends Sandra Gaytan Aguilar	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	Ellis Penning 	Jasper Dijkstra 	Otto de Keizer 	

Samenvatting

Het project 'Peilen en vegetatie' binnen het onderzoeksprogramma Lumbricus richt zich op het geven van meer inzicht in de relatie tussen vegetatieontwikkeling en de afvoercapaciteit van stromende wateren. Door analyse van vlakdekkende beelden, gekoppeld aan hydraulische gegevens, wordt onderzocht of dit type informatie bijdraagt aan een vegetatiebeheer dat zowel voor waterveiligheid als voor ecologie optimaal wordt ingericht.

In dit rapport vindt u de resultaten van de werkzaamheden uit 2019, die binnen het meerjarige programma zijn uitgevoerd. Er is een analyse gedaan van de praktische inpasbaarheid van hoge resolutie satellietbeelden (TripleSat) en deze zijn vergeleken met de data die uit drone- en vliegtuigbeelden beschikbaar was voor het Kanaal van Deurne in 2018. De resultaten laten zien dat de TripleSat beelden op hoofdlijnen een eerste indruk kunnen geven van de aanwezige vegetatie, maar overhangende bomen kunnen niet goed onderscheiden worden van de aquatische vegetatie die van belang is voor de hydraulica. Ook zijn de gegevens grover dan van vliegtuig en dronebeelden, en kan schaduwwerking en oeverbegroeiing slecht worden onderscheiden. Omdat dit onderscheid wel nodig is, is het maken van een koppeling van satellietbeeld-analyse met hydraulische analyse nog niet eenvoudig. Bij de drone- en vliegtuigbeelden is dit onderscheid beter te maken, maar moet de dataverwerking nog verder geautomatiseerd worden om de doorlooptijd tussen opname en beschikbare eind-informatie te verkleinen.

Tevens is in 2019 een stroombaanmaaienproef uitgevoerd in het aanpalende OBN-project 'aangepast beheer'. De resultaten hiervan zijn deels binnen Lumbricus uitgewerkt en hier ook gerapporteerd. Het blijkt dat het nodig is rekening te houden met de wisselende ruwheden van de vegetatie die afhankelijk is van veranderende afvoeren voor goede hydraulische analyse. Ook de hoeveelheid slib in het systeem moet goed meegenomen worden in het bepalen van de juiste doorsnede en daaraan gekoppelde ruwheid van het systeem en de invloed daarvan op het waterpeil in het systeem. Deze verdieping in de analyse geeft een beter begrip van het functioneren van het beschouwde watersysteem, zodat hierdoor het beheer kan worden aangescherpt.

De aanvullende informatie uit vlakdekkende beelden kan worden ingezet voor visuele inspectie van mogelijke probleempunten, maar een kwantitatieve koppeling met deze hydraulische analyse behoeft nog verdere ontwikkeling.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	6
1.1	Projectomschrijving	6
1.2	Aanleiding en doel	6
1.3	Onderzoeksvragen	7
1.4	Motivering van het project binnen Lumbricus	7
1.5	Leeswijzer	8
2	Praktische aspecten van vlakdekkende inwintechnieken	9
2.1	Drones	9
2.1.1	Praktische ervaringen met het inwinnen van drone-beelden voor de Eefse Beek	9
2.2	Vliegtuigen	13
2.2.1	Praktische ervaringen met het inwinnen van vliegtuig-beelden	14
2.3	Satelliet	14
2.3.1	Praktische ervaringen met het inwinnen van satellietdata	15
2.4	Samenvattende conclusies praktische aspecten van vlakdekkende inwintechnieken	16
3	Inhoudelijke analyse satellietbeelden en koppeling met hydraulische kennis	20
3.1	Beschikbaarheid en gebruikte type satellietbeelden	20
3.2	Werkwijze beeldverwerking	22
3.2.1	Voorverwerking	23
3.2.2	Beeldanalyse	23
4	Resultaten beeldverwerking	24
4.1	Algemene ervaringen met het verwerken van satellietbeelden voor vegetatiebeheer	24
4.1.1	Kanaal Van Deurne	24
4.1.2	Beschikbaarheid van beelden	26
4.1.3	Pansharpening	27
4.2	Koppeling met hydraulische kennis	31
4.2.1	Analyse veldproef stroombaanmaaien	31
4.2.2	Wat is er geleerd van de stroombaanmaaien proef in termen van hydraulische analyse?	31
4.2.3	Kennisleemtes en noodzaak tot verdere ontwikkelingen daarin	33
5	Discussie	35
5.1	Beantwoording onderzoeksvragen	35
5.2	Aanbevelingen voor 2020	37
5.2.1	Koppeling met inbedding	37
5.2.2	Aanvullende proefnames	37
5.2.3	Verdere hydraulische analyses voor meerdere systemen	37
5.2.4	Tijdserie-analyse voor hotspots	37
6	Referenties	38
	Bijlage A - Analyse stroombaanmaaienproef Eefse Beek	39
	Bijlage B - Inbedding vlakdekkende beeldverwerking voor maaibeheer Aa en Maas	40

1 Introductie

1.1 Projectomschrijving

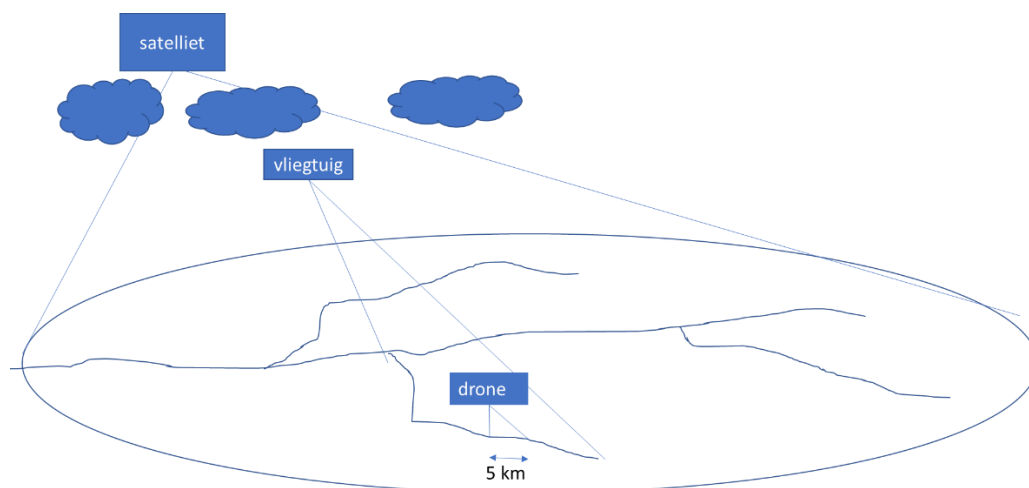
Het project 'Peilen en vegetatie' richt zich op het geven van meer inzicht in de relatie tussen vegetatieontwikkeling en de afvoercapaciteit van stromende wateren. Door analyse van vlakdekkende beelden, gekoppeld aan hydraulische gegevens, wordt onderzocht of dit type informatie bijdraagt aan een vegetatiebeheer dat zowel voor waterveiligheid als voor ecologie optimaal wordt ingericht. Ook wordt ingezet op de koppeling van deze kennis met informatie over vegetatieontwikkeling in de tijd.

1.2 Aanleiding en doel

In 2016 en 2017 zijn de eerste proeven en analyses gedaan om vlakdekkende informatie over vegetatiebedekkingen te koppelen aan peilfluctuaties (Van den Eertwegh & Penning 2017, Penning et al, 2018a, 2018b). Ook is een start gemaakt met analyse van ruwheidsveranderingen door de tijd (Penning et al 2018c). In 2018 is vooral ingegaan op de opschaalbaarheid van deze informatie in ruimte door zowel het uitvoeren van vlakdekkende beeldanalyses die waren ingewonnen met een vliegtuig voor de Leijgraaf. In 2018 is tevens ingegaan op de opschaalbaarheid van deze informatie in tijd door een uitgebreidere hydraulische analyse van de Leijgraaf voor langlopende tijdseries.

Het doel van het Peilen en Vegetatie-onderzoek in proeftuin Zuid in 2019 is om te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn om satellietbeelden te gebruiken voor het inwinnen van een groter gebied in één keer en hoe deze data te koppelen is aan waterpeilbeheer. De voordelen van het gebruik van een satellietbeeld is dat met een enkel beeld een heel beheergebied voor een waterschap kan worden beschouwd. Daarnaast hebben satellieten een hoge frequentie van overpass, waardoor het mogelijk is meerdere beelden per seizoen te hebben zolang wolkenbedekking deze beelden niet hindert (Figuur 1-1).

Er zijn verschillende satellieten beschikbaar met verschillende resoluties en spectrale banden. Sommige satellietbeelden zijn gratis beschikbaar (bijv. de EU-satellieten uit het Copernicus programma, zoals de Sentinel2a en b) en andere zijn commerciële satellieten (bijvoorbeeld de Worldview satellieten van Digital Globe) waarvoor beelden moeten worden aangeschaft.



Figuur 1-1 Schematische weergave opschalen in ruimte van drone (2016-2017), naar vliegtuig (2018), naar satellietbeeld (2019) binnen Peilen en Vegetatie.

1.3 Onderzoeksvragen

Onderzoeksvragen die in 2019 (dit rapport) beantwoord worden met betrekking tot de bruikbaarheid van satellietbeelden zijn:

- Hoe succesvol kan met satellietbeelden een vlakdekkende inwinning van data worden gedaan voor kleine stromende wateren? (bijvoorbeeld is de resolutie nog voldoende voor een goede vergelijking, is de classificatie nog voldoende goed, en hoe vaak zijn deze beelden beschikbaar en hoe snel komen ze beschikbaar na inwinning door de satelliet?)
- Hoe verhouden de openbare en commerciële satellietbeelden zich met elkaar in termen van kosten, verwerkingstechnieken en beschikbaarheid?
- Hoe goed kan de informatie worden gekoppeld aan hydraulische gegevens van enkele pilot-watgangen?
- Welke van de gebruikte platformen (drone, vliegtuig, satelliet) is in de praktijk het makkelijkst inzetbaar voor het primaire proces?

Ook is beschouwd hoe deze informatie beter kan worden gekoppeld aan de huidige werkwijze binnen het waterschap Aa en Maas met betrekking tot het daadwerkelijke dagelijkse beheer en huidige beschikbare tools zoals het maaiBOS. Hoe kan vlakdekkende informatie worden gekoppeld aan bijv. het maaiBOS, en hoe kan het worden ingezet op locaties waar geen maaiBOS beschikbaar is? Voor het beantwoorden van deze vragen met betrekking tot de inbedding van deze gegevens is gebruik gemaakt van een analyse van de huidige werkwijze van het maaibeheer binnen het waterschap en gesprekken die hiervoor binnen een aparte aanvullende opdracht voor Waterschap Aa en Maas zijn uitgevoerd.

In 2019 is naast het Lumbricus – Peilen en Vegetatie-project ook een veldproef uitgevoerd om validatiedata te genereren rondom het stroombaanmaaien binnen het OBN project 'aangepast beheer' in samenwerking met waterschap Rijn en IJssel. Deze proef is uitgevoerd in de Eefse beek en een deel van de analyses draagt bij aan het overkoepelende begrip rondom peilen en vegetatie. Daarom zijn de resultaten van deze proef binnen het Lumbricus project opgenomen als aanvullende kennisontwikkeling.

1.4 Motivering van het project binnen Lumbricus

Binnen de pijler 'Peilen en Vegetatie' van het kennisprogramma Lumbricus, onderdeel Boeiende Beekdalen, worden zowel de seizoensmatige als meerjarige verandering van vegetatie gekoppeld aan het effect hiervan op de afvoercharacteristieken van het watersysteem. Hierbij ligt de focus voor de kleinere beeksystemen, zoals proeftuin Zuid – de lage Raam, op seizoensmatige veranderingen, en in de grotere beeksystemen, zoals proeftuin Oost (Vecht) op meerjarige veranderingen (Tabel 1-1).

Tabel 1-1 Algemene indeling van deelaspecten Peilen en Vegetatie, waarbij in zwart de onderwerpen met hoogste prioriteit, en in grijs de onderwerpen met lagere prioriteit.

	Kleinere beeksystemen (proeftuin Lage Raam)	Grotere beeksystemen (proeftuin Vecht)
Seizoensmatige veranderingen	Seizoensmatige relaties tussen vegetatie in de beek en peil- en maaibeheer. Kenmerken per dominante groeivorm gekoppeld aan afvoercapaciteit en risico gestuurd maaibeheer. Gekoppeld aan discussie met groenbeheerder.	Seizoensmatige relatie tussen vegetatie in nevengeulen en op uiterwaardsystemen (koppeling met rivercare).
Meerjarige veranderingen	Effect van ontwikkeling van sedimentatie- en erosiepatronen door wortelpakketten en effectieve maaitechnieken (incl. verwijderen wortelpakket) voor beheer op biodiversiteit in relatie tot morfologie.	Langjarige vegetatieontwikkeling op oevers en in het droge winterbed. Relatie met morfologische veranderingen in het beekstelsysteem (koppeling met ontwikkelpaden). Gekoppeld aan discussie met perceeleigenaren.
Guidelines voor effectief vegetatiebeheer in stromende wateren	Guidelines voor vegetatie IN kleinere beeksystemen incl. kwantificerende tool.	Guidelines voor vegetatie in het droge winterbed in grotere beeksystemen incl. kwantificerende tool.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de verschillende vlakdekkende technieken die beschikbaar zijn om vegetatie in kaart te brengen en gaan we in op nieuwe praktische ervaringen bij het inwinnen van deze data. Hoofdstuk 3 bespreekt in detail de werkwijze van de analyse van de satellietbeelden voor vegetatiebeheer en hoofdstuk 4 geeft hiervan de resultaten. In hoofdstuk 4 wordt ook aandacht gegeven aan de koppeling met hydraulische analyses, gebaseerd op de ervaringen uit de stroombaanmaaienproef bij de Eefse Beek en de koppeling met het dagelijkse beheer, gebaseerd op de aanvullende opdracht met betrekking tot de inbedding van deze technieken in het primaire proces. In hoofdstuk 5 komen we in de discussie terug op de onderzoeksvragen en de aanbevelingen voor 2020 en verder.

2 Praktische aspecten van vlakdekkende inwintechnieken

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de beschikbare inwintechnieken, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de sensoren en de platforms, hun kosten en praktische aspecten van het inzetten van deze technieken. Ook komen de verwachte ontwikkelingen voor de komende jaren aan bod.

2.1 Drones

Drones kunnen snel korte stukken invliegen (enkele km's per dag) en verschillende typen instrumenten dragen, afhankelijk van de benodigde in te winnen informatie. Drones kunnen relatief weers-onafhankelijk worden ingezet, mits het niet te hard regent of waait. Half-bewolkt weer beïnvloedt optische metingen vanwege wisselingen in de lichtintensiteit tijdens de meting. Door hun geringe vlieghoogte kan met drones een hoge resolutie (zeer gedetailleerd beeld met resoluties van enkele centimeters) worden behaald, waardoor dominante soortgroepen van vegetatie op het oog al goed onderscheiden kunnen worden. Een hoge resolutie biedt wel de uitdaging van grote hoeveelheden data, en de verwerking daarvan tot informatie met betrekking tot classificaties van groeivormen en bedekkingsklassen. Afhankelijk van de grootte van het ingewonnen gebied kent de verwerking van de data enige doorlooptijd (momenteel moet zeker enkele dagen gerekend worden als een groter traject is ingevlogen, maar verdere automatisering van deze verwerking kan dit versnellen).

Wetgeving met betrekking tot het betreden van het betreffende luchtruim moet in acht worden genomen: dronevluchten zonder aanvullende vergunningen zijn maar in een zeer beperkt gebied van Aa en Maas toegestaan vanwege de vliegvelden van Volkel en Eindhoven. Veelal moet er dus van tevoren een vergunning worden aangevraagd (die voor het luchtruim rond Volkel eenvoudiger wordt afgegeven dan voor het vliegveld van Eindhoven). Ook mag er niet nabij hoogspanningsmasten, bebouwing, A en N-wegen en spoorbanen worden gevlogen zonder ontheffing. Een volledige ROC-vergunning (Remotely Piloted Aircraft Systems Operator Certificate) is vereist. Door de beperkte reikwijdte zal een drone-toepassing vooral nuttig zijn voor een aantal specifieke locaties waar snelle nadere beschouwingen gewenst zijn, bijv. doordat er vanaf de grond slecht toegang is of een makkelijk overzichtspunt ontbreekt.

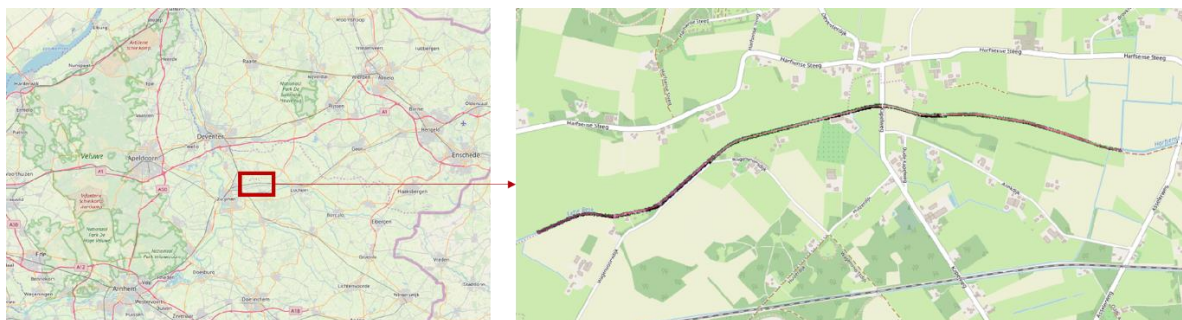
Kosten van de inwinning van dronebeelden zijn relatief laag, zeker als er op termijn door het waterschap zelf gevlogen kan worden. Het invliegen en verwerken tot een vlakdekkend (gestitched) beeld van beelden voor 1 dag vliegtijd bedraagt tussen de 1500 – 3000 Euro, afhankelijk van de totale lengte ingevlogen gebied en benodigde tijd van dataverwerking. Bij verdere automatisering van deze verwerking kan de verwerking tot enkele dagen worden teruggebracht. Handmatige checks op camera-instellingen en omzetten van ruwe data naar verwerkte data zal altijd enige handmatige stappen behelzen.

2.1.1 Praktische ervaringen met het inwinnen van drone-beelden voor de Eefse Beek

Nadat in 2017 en 2018 bij Aa en Maas enkele eerste proeven zijn gedaan met het inwinnen van drone-gevlogen multispectrale data, zijn in 2019 ook dronebeelden gemaakt ten behoeve van de stroombaanmaaienproef in de Eefse Beek (waterschap Rijn en IJssel). Deze beelden zijn door een externe partij ingevlogen, zonder verdere nauwkeurige communicatie met het projectteam over invlieg- en dataverwerkingscriteria.

De drone-afbeeldingen beslaan bijna 3 km van het Eefse beek-kanaal, de afbeeldingen bevatten 5-bandinformatie, rood, groen, blauw, Red edge en Near infrared (NIR). Er is ingevlogen voor en na de maaiproef om een vlakdekkend beeld te krijgen van de aanwezige vegetatie voor en na de proef.

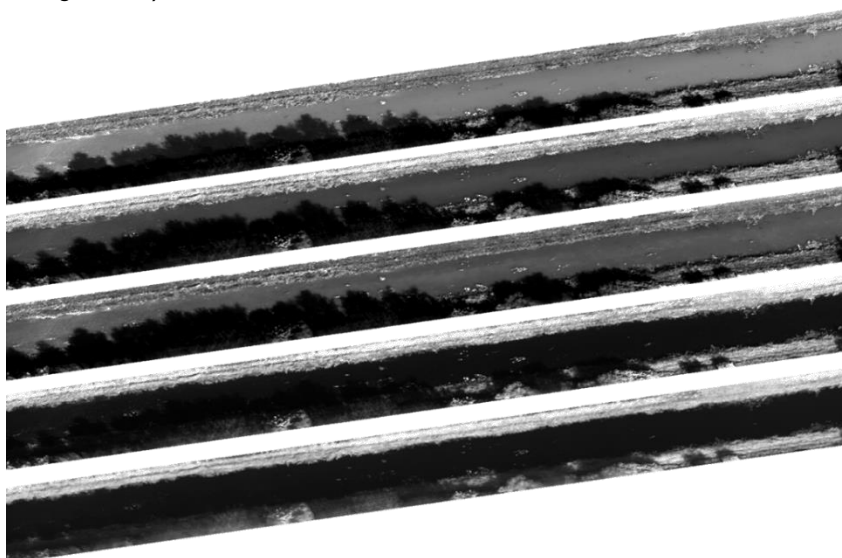
In deze paragraaf delen we enkele van de praktische ervaringen die hierbij zijn opgedaan en stellen we die in het licht van de ervaringen uit 2017 en 2018.



Figuur 2-1 Locatie van de Eefse Beek

Voor het 3 km lange traject in de Eefse beek, waarin de stroombaanmaaienproef werd uitgevoerd, werden drone-afbeeldingen ingevlogen en verwerkt (Figuur 2-1). Doordat een drone niet meer dan 500 m van een piloot mag vliegen bestaat dit traject dus uit 3 deelvluchten, waarbij de piloot tussentijds moest verplaatsen om tot een totaalbeeld van het traject te komen. De beelden zijn met een Mica-Sense Red Edge M genomen. Deze beelden hebben de volgende specificaties:

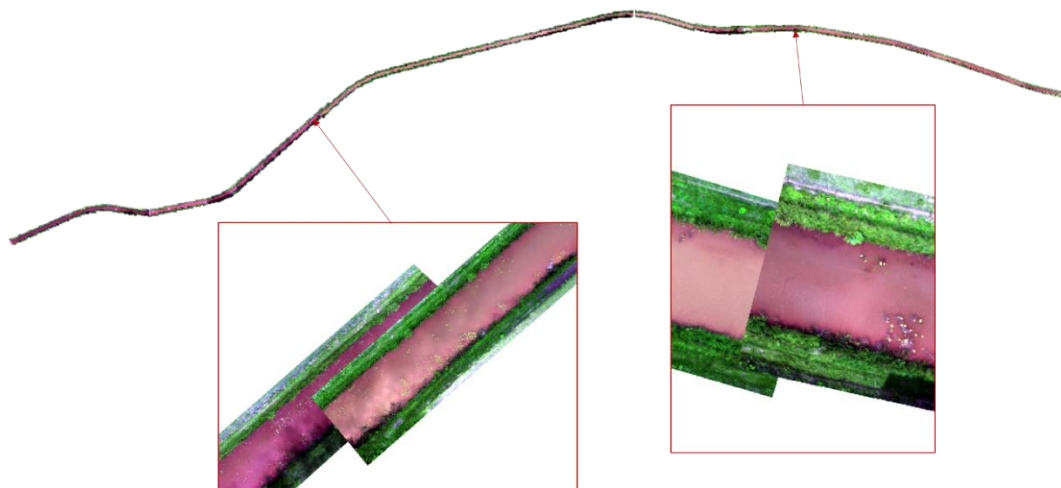
- Spectrale banden:
 - 5-bands multispectraal (blauw, groen, rood, rode rand en bijna-infrarood rood [NIR])
- Sensorresolutie:
 - 40 cm op de grond.
- Spectrale band (voorbeeld van de verschillende spectrale band wordt weergegeven in Figuur 2-2)



Figuur 2-2 Verschillende spectrale banden van de drone beelden (van boven naar beneden: blauw, groen, rood, red edge en Near Infra Rood)

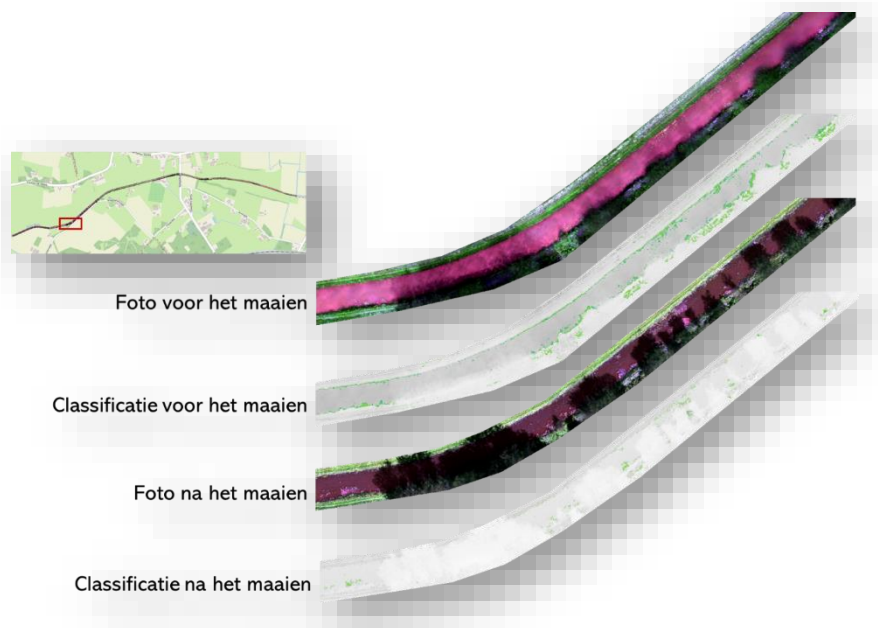
Voor beeldverwerking was beoogd dezelfde procedure te gebruiken als in 2018. Het knippen van de afbeeldingen maakt deel uit van deze verwerkingsprocedure en is een handmatig onderdeel, waarbij een goede geo-referentie van de bronbeelden essentieel is. Als de aangeleverde afbeeldingen niet correct zijn georeferereerd, wordt een deel van het kanaal tijdens de automatische clipprocedure verwijderd.

Deze clipprocedure maakt gebruik van een bufferzone langs de middenlijn van de beek: de middenlijn schuift tussen de deel-vluchten door slechte geo-referentie en maakt automatische verwerking niet mogelijk. Figuur 2-3 toont de locaties waar de twee deelvluchten zouden moeten overlappen. Het is heel moeilijk om automatisch een specifiek stikprobleem te detecteren en correctie is een tijdrovend handmatig proces. Dit komt doordat er geen specifieke longitudinale of latitudinale bias is maar eerder een combinatie van beide. De afbeeldingen moeten dan ook handmatig worden gecorrigeerd via 'stretching'.



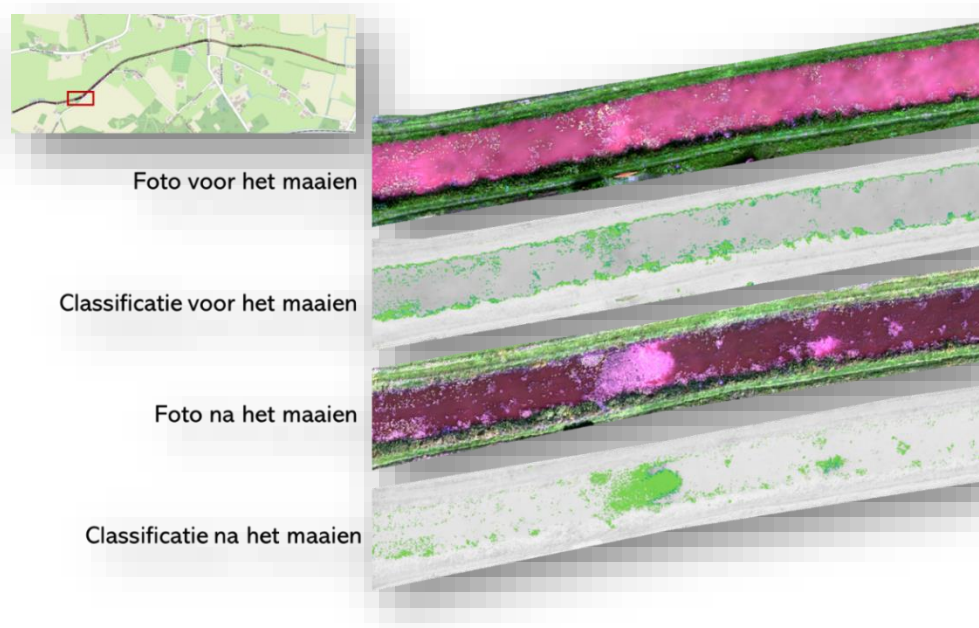
Figuur 2-3 Gevonden euvels in de geo-referencing van dronebeelden

Beeldverwerking is niet alleen afhankelijk van de georeferentie, ook andere aspecten kunnen de beelden meer of minder bruikbaar maken voor analyse. De totale beeldverwerking beslaat de 3 kilometer van het Eefse beek-kanaal, ter illustratie worden in Figuur 2-4 tot 2-6 kleine zoom-trajecten weergegeven. Figuur 2-4 geeft een voorbeeld van beeldverwerking van de voor- en na-situatie op een klein deel van het traject (rode box in de inzetkaart). De eerste foto geeft de situatie voor het maaien weer, de afbeelding daaronder geeft de bewerkte classificatie weer. De derde foto toont de situatie na het maaien en de bijbehorende classificatie wordt gepresenteerd in de laatste foto. Over het algemeen zijn de verzamelde afbeeldingen vóór het maaien duidelijke afbeeldingen, waarbij sporadisch schaduwen worden waargenomen. De afbeeldingen van na de maai-fase tonen veel schaduw van bomen langs de oevers en in veel gevallen over de gehele kanaalbreedte. Ook lijkt in beide figuren het water zo troebel dat onderwatervegetatie niet goed wordt waargenomen. Hierdoor lijkt er weinig vegetatie in de beek te zitten, terwijl deze wel aanwezig is.

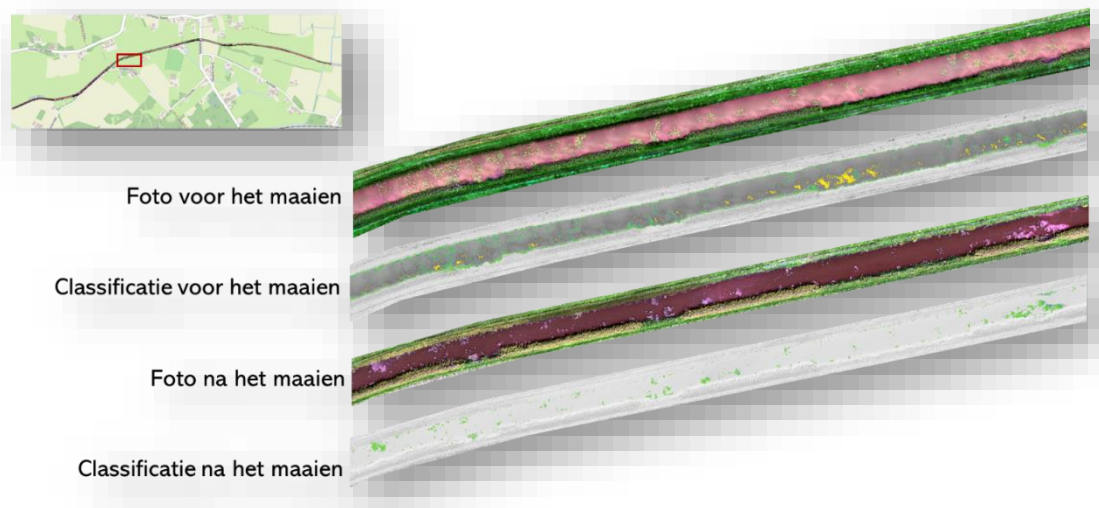


Figuur 2-4 Voorbeeld 1. Classificatie van beelden voor en na het maaien

Figuur 2-5 geeft ook een voorbeeld van beeldverwerking voor en na het maaien. Hier detecteert het algoritme de locatie waar vegetatie is goed, maar ook het drijvende maaiafval wordt als drijvende vegetatie geassocieerd. Ook in figuur 2-6 is geen visueel duidelijk verschil te zien tussen de 'voor' en 'na' het maaien.



Figuur 2-5 Voorbeeld 2. Classificatie van beelden voor en na het maaien



Figuur 2-6 Voorbeeld 3. Classificatie van dronebeelden voor en na het maaien

Concluderend voor de praktische toepassing van dronebeelden is dat er dus niet alleen rekening moet worden gehouden met het feit dat er slechts kleine stukken kan worden ingevlogen, maar ook dat de kwaliteit van het invliegen goed wordt geborgd. Er wordt het best gevlogen op dagen dat het windstil is, en volledige bewolking beschaduwning uitsluit wanneer er veel bomen direct langs de watergang staan. Als alternatief moet worden gezocht naar een zeer zonnige volledig onbewolkte dag voor veel lichtbeschikbaarheid in de opname, maar moet er rekening worden gehouden met de zonnestand om schaduwwerking te beperken. Voor de evaluatie van de effectiviteit na het maaien moet worden gecontroleerd of een voldoende grote portie van het materiaal is afgedreven. Troebelheid beïnvloedt ook de resultaten en mogelijkheden om ondergedoken waterplanten te zien. In 2017 is de Lage Raam bij deze situatie ingevlogen met zeer bruikbare resultaten doordat het water voldoende helder was. De beelden uit 2019 zijn van veel slechtere kwaliteit, ook doordat het water erg troebel was, en de beelden niet goed gegeorefereneerd bleken te zijn.

2.2 Vliegtuigen

Vanuit een sportvliegtuig kunnen vanaf relatief lage vlieghoogte beelden worden ingewonnen (500 meter hoogte) waardoor verstoringen uit de atmosfeer zoals bewolking, nevel of stof nauwelijks invloed hebben op de ingewonnen beelden. Ook is de resolutie daarmee vrij hoog (gemiddeld nauwkeurig tot ongeveer 0.1*0.1 m) en zijn camera-instellingen en het aantal spectrale banden zelf te selecteren. Afhankelijk van de grootte van het ingewonnen gebied kent de inwinning en verwerking van de data wel enige doorlooptijd. 1 week mag zeker gerekend worden omdat vliegcondities niet altijd optimaal zijn (instabiliteit van het vliegtuig bij harde wind of ongunstige lichtcondities bij half-bewolkt weer) en dataverwerking nadien ook doorlooptijd kost (al kan verdere automatisering in de toekomst dit traject versnellen).

Net als drones zullen ook vliegtuigen rekening moeten houden met de luchtverkeersregels en zal voor sommige delen van Aa en Maas een vergunning en afstemming met de luchtverkeersleiding nodig zijn. Hierdoor kan de vlieghoogte of het precieze tijdstip van vliegen soms wisselen.

De kosten van het inwinnen zijn afhankelijk van de wensen voor de grootte van het in te winnen gebied en de hoeveelheid keren dat er gevlogen moet worden. De kosten van de standaard inzet van vliegtuigbeelden is daarmee moeilijk in te schatten. Voor de proef uitgevoerd in 2018 is € 10.000,- betaald voor het eenmalig invliegen en stitchen van multispectrale beelden van 2 watersystemen (de Leijgraaf en het Kanaal van Deurne).

Hierbij is door de provider aangegeven dat er uiteindelijk 2 maal is gevlogen (ook een testvlucht), waarvan de beelden tegen geringe meerprijs ook beschikbaar te maken zijn.

2.2.1 Praktische ervaringen met het inwinnen van vliegtuig-beelden

In de Leijgraaf is in 2018 een vliegtuigvlucht gevlogen voor het inwinnen van multispectrale beelden (20km) waarvan de beelden goed praktisch bruikbaar bleken. De afstemming tussen piloot en projectteam was nauw, maar ook hier bleef geo-referencing een lastig punt. De handmatige stretching van de georeferendeerde tiles bleef nodig. De Leijgraaf heeft weinig begroeiing op de zuidelijke oever, waardoor lokale beschaduwing weinig effect op het resultaat had. De beelden waren onder zonnige omstandigheden gevlogen, en door gebrek aan schaduw zeer goed interpreteerbaar.

De hoeveelheid data die was ingewonnen was vele male groter dan van een beperkte drone-vlucht. Een belangrijk praktisch punt waarvoor ook een verdere efficiëntie slag nodig is, is de overdracht en opslag van data. In het Lumbricus project werd de data in aparte 'tiles' (stukjes aan elkaar gestichte beelden) aangeleverd, en alle tiles zijn afzonderlijk verder verwerkt, waarna de resultante data voor het hele traject is samengevoegd. Deze procedure vergt nog verdere verfijning om verwerking van de data te versnellen.

2.3 Satelliet

Satellietbeelden kunnen voor het hele beheergebied in een keer een vlakdekkend beeld leveren dat direct en goed ge-georeferend is. De dataverwerkingsstap om van de aparte ingewonnen foto's een vlakdekkend beeld te maken is hierdoor bij satellietbeelden niet meer nodig. Er zijn veel verschillende satellieten in omloop, die elk hun eigen technische specificaties en data-polities hebben. Een bekende Europese satelliet is de Sentinel-2 uit het Copernicus programma die grofweg elke 5 dagen direct, gratis multispectrale data beschikbaar stelt met een resolutie van 10*10 meter. Een andere veelgebruikte satelliet is de LandSat (een serie van optische satellieten die sinds 1984 reeds beschikbaar zijn met een ruimtelijke resolutie van 30*30 meter). Door de beperkte resolutie zijn de beelden van de gratis beschikbare LandSat en Sentinel series niet goed toepasbaar voor analyse van vegetatie in de relatief kleine watergangen van Aa en Maas.

Het Nederlandse Ruimte Agentschap NSO (Netherlands Space Office) koopt elk jaar enkele hoge resolutiebeelden en stelt deze gratis beschikbaar voor gebruik in Nederlandse toepassingen. In 2017 en 2018 zijn TripleSat beelden aangeschaft en in 2019 worden Superview-beelden aangeschaft met een frequentie van ongeveer 6 beelden per jaar in het groeiseizoen. Deze TripleSat en Superview beelden hebben een resolutie van 0.8-0.5 m voor het panchromatische beeld (de opgetelde energiewaarden van golflengtes binnen het optische spectrum in zwart-wit waarden uitgedrukt) en beschikken over 4 multispectrale banden met 3.5 m resolutie. Deze TripleSat-beelden zijn beschikbaar via de website <https://www.satellietdataportaal.nl/> en nieuwe beelden worden hierop zo snel mogelijk beschikbaar gemaakt. Een daadwerkelijke datum van nieuwste beeld is echter niet met zekerheid te geven, omdat dit afhankelijk is van de bewolking en de kwaliteit van het beeld.

Commerciële satellieten geven technisch gezien de meest bruikbare satellietdata door hun hoge resolutie en vele banden (bijv. de WorldView3 met 12 spectrale banden). De aanschaf van de beelden moet worden betaald (afhankelijk van de service ongeveer tussen de 25,- Euro en 100,- Euro per km²: bijv. of er wordt gekozen voor archiefbeelden of 'tasking' waarbij wordt afgesproken wanneer een beeld moet worden opgenomen en verdere onderhandelingen met de data-provider tabel 2-1). De beelden kunnen in principe vrij snel geleverd worden, maar ook dit is afhankelijk van de bewolking. De provider (Digital World) geeft aan dat een tijdframe van een maand wordt aangehouden om een goed beeld te leveren gezien het risico op bewolking, maar dat dit beeld wel snel na het maken kan worden aangeleverd.

Tabel 2-1 Indicatie kosten commerciële satellietbeelden (WorldView 3) met specifieke licentie voor het niet verder gebruiken buiten een project * NB minimum order size = 25Km², voor 'tasking' (het vooraf bestellen van een specifiek beeld) zijn deze prijzen tot 4x zo hoog voor een 8bandsbeeld, afhankelijk van de voorwaarden en eisen (bron: European Space Imaging). De berekende oppervlakten zijn berekend via analyse van polygonen – mogelijk moet het aangeleverde beeld een groter gebied beslaan in het vierkant om het gebied te dekken, waardoor dan ook de kosten omhoog gaan.

Gebied	Oppervlakte (km ²)	Indicatieve prijs voor 1 beeld obv archiefprijzen van 20,50 euro per km ² voor worldview3
Hele beheergebied	1610	€ 33.005,00
District Hertogswetering	360	€ 7.380,00
District Beneden Aa	470	€ 9.635,00
District Raam	410	€ 8.405,00
District Boven Aa	450	€ 9.225,00
Leijgraaf en Beekgraaf	50	€ 1.025,00
Leijgraaf, Beekgraaf, Groote Wetering en tussenliggende sloten	125	€ 2.562,50
Raamvallei hoofdwaterlopen	40	€ 820,00
Raamvallei geheel	100	€ 2.050,00

De onzekerheid rondom bewolking en het daarmee beschikbaar komen van beelden maakt dat een satellietbeeld gezien de huidige omstandigheden nog niet betrouwbaar inzetbaar is om bijv. een goed beeld te krijgen van de status van vegetatie vlak voor een maaibeurt in juni. Daarvoor is het tijdsvenster van beschikbaar stellen van het beeld te grof.

De data heeft vooral waarde voor het in kaart brengen van locaties waar vegetatie zeer persistent – of juist afwezig is, over de jaren heen. Hiervoor is een koppeling van satellietbeelden met de precieze datum van het maaien nodig, wat maakt dat ook de registratie van maaimomenten nauwkeurig moet zijn.

Sinds 2019 worden satellietbeelden ingezet voor de schouw in november bij Waterschap Drents Overijsselse Delta. In dat geval wordt vooral gekeken naar de aan/afwezigheid van vegetatie zonder deze in klassen in te delen, zoals wel wordt gedaan binnen dit project. Ook is er geen snelle hergroei na het nemen van het satellietbeeld, waardoor het tijdsframe beter aansluit bij de beoogde doelen van het gebruik van de data.

Bij de aanschaf van commerciële beelden wordt aangeraden na te denken over hoe deze beelden ook voor andere doeleinden in de organisatie of in samenwerking met andere organisaties zijn in te zetten (bijv. voor bodemvochtstudies of andere gedetailleerde metingen etc.).

2.3.1 Praktische ervaringen met het inwinnen van satellietdata

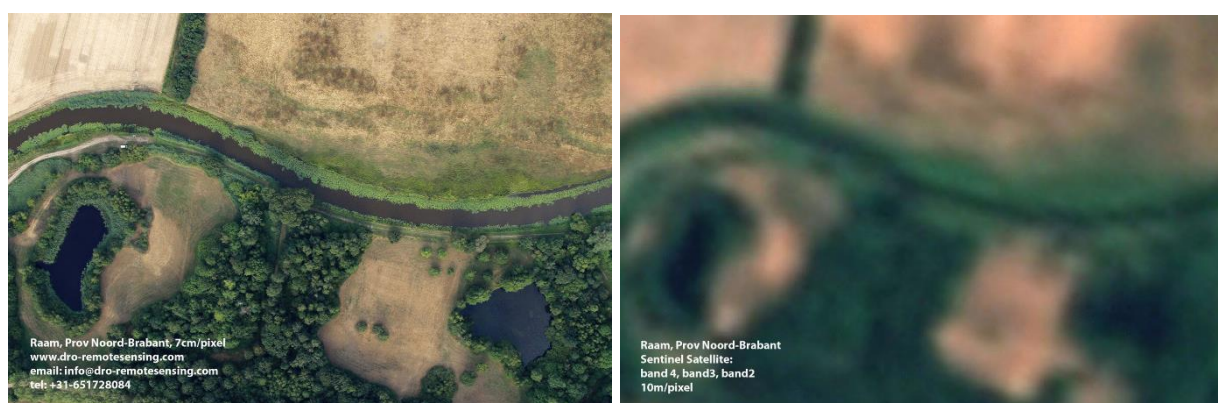
De datahoeveelheid van de hoge resolutie satellietbeelden is groot en het is nodig om de data te filteren op alleen die stukken die nodig zijn voor verdere analyse. Er zijn verschillende manieren om satellietdata te verkrijgen en verwerken. Er kan zowel op cloudservices zoals de Google Earth Engine of DIAS worden gewerkt, veelal met daar reeds beschikbare data (bijv. de Copernicus data). Voor dit project is gebruik gemaakt van data die is gedownload via het satellietdataportaal van de NSO. De TripleSat en Superview data wordt centraal ingekocht door het NSO en is niet vrij beschikbaar buiten Nederland door licentieafspraken. Deze data kan zowel als ruwe data als reeds verwerkte data (bijv. NDVI- kaarten) worden gedownload via een ftp-server van het dataportaal. De door de NSO voorverwerkte data vergemakkelijkt verdere verwerking voor de betreffende vraag. Na het downloaden en opslaan van de data is de data gecropt om een kleinere, beter hanteerbare datafile te maken. De bufferlaag die daarvoor is gebruikt (middels een buffer langs de middenlijn van de beek) helpt verdere beeldverwerking.

De beeldverwerking is voor dit project nog handmatig in MatLab uitgevoerd, maar zou in de toekomst ook als een geautomatiseerde workflow beschikbaar moeten worden gemaakt, waarin aspecten zoals het automatisch selecteren van wolkenvrije beelden en deze downloaden en croppen kan worden uitgevoerd.

Opmerkelijk genoeg was het ruwe panchromatische beeld nog niet goed ge-georeferend. De data die via pansharpening NDVI beschikbaar was, was dit wel. Als deze verwerking heeft plaatsgevonden op het satellietdataportaal is de ruwe panchromatische data van dat betreffende beeld niet meer beschikbaar (de verwerkte data was niet voor alle beelden beschikbaar). Het is erg nuttig dat de NSO al een dergelijke verwerkingsslag aanbied, waardoor er sneller gebruik kan worden gemaakt van de beelden voor de daadwerkelijke doelen waarvoor ze ingezet zouden kunnen worden. Het uitknippen van het beekstelsel uit de grotere databron en het opslaan van deze data is dan nog de grootste uitdaging, waarbij goed moet worden geïnspecteerd of beelden echt correct zijn georeferend.

2.4 Samenvattende conclusies praktische aspecten van vlakdekkende inwintechieken

In Tabel 2-2 staat een overzicht van de verschillende technische aspecten van verschillende typen vlakdekkende inwintechieken. Voor kleinschalige beeksystemen is de ruimtelijke resolutie van beelden een belangrijk aspect dat bijdraagt aan de keuze voor het type databron. Ter vergelijking zijn ook hieronder de ruimtelijke foto vanuit een vliegtuig en van de Sentinel 2 naast elkaar gezet (Figuur 2-7):



Figuur 2-7 Vergelijking vliegtuigbeeld en Sentinel2-beeld (true color beeld)

De snelheid van inzet verschilt ook per systeem: drones kunnen veelal erg snel voor kleine gebieden worden ingezet, terwijl een vliegtuigvlucht meer coordinatie vergt en een satellietbeeld afhankelijk is van bewolking ten tijde van de gewenste beeldopname periode. Qua kosten worden de gratis beschikbare satellietbeelden al snel interessant om voor een groot gebied een algemene indruk te geven, mits de watergangen niet te smal zijn. De keuze voor een vliegtuigvlucht of drones zullen voorkomen uit de gewenste grootte van het in te vliegen gebied en de snelheid van inzet, gezien de ruimtelijke resolutie van individuele pixels nauwelijks van elkaar verschilt.

Wanneer dataverwerking voldoende is geautomatiseerd, kan vervolgens ieder type beeld snel en efficiënt worden ingezet voor vervolganalyses. Deze procedures verdienen nog verdere uitwerking.

Binnen het beheergebied van Waterschap Aa en Maas wordt het vegetatiebeheer voornamelijk uitgevoerd in watergangen, met een dwarsdoorsnede van minder dan 25 meter. De ruimtelijke resolutie van de satellietbeelden wordt daarmee een belangrijke factor voor de keuze welke satelliet geschikt is voor analyse-doeleinden.

De vrij beschikbare en hoog frequente beelden van de Sentinel2 vallen met hun ruimtelijke resolutie van 10*10 meter af: met maximaal 2 a 3 pixels over de breedte van een watergang, en grote kans op signaalruis van pixels die deels de oever en water bevatten is de waarde van de informatie per pixel te klein. Van de satelliettypen met een hogere ruimtelijke resolutie zijn de gratis beschikbare TripleSat/Superview beelden, zoals die enkele malen per jaar door het NSO worden geleverd erg interessant voor langjarige ontwikkelingen.

Naast de vrij beschikbare beelden zijn ook commercieel verkrijgbare beelden van de Worldview 3, met een hogere spectrale resolutie (meer banden) ogenschijnlijk een interessant alternatief. De kosten van aanschaf van deze beelden voor het hele beheergebied zijn echter substantieel (Tabel 2-1) en ook deze beelden kunnen niet met een korte doorlooptijd worden aangeleverd voor een beeld van de actuele situatie, omdat bewolking een probleem geeft met het betrouwbaar aan kunnen leveren van daadwerkelijk beschikbare beelden.

Er wordt door de leverancier altijd een window van levering gedefinieerd van ongeveer 1 maand. Dit tijdsframe is te ruim en onzeker voor inbedding van commerciële beelden voor het geven van een overzicht van de huidige stand van zaken met betrekking tot de vegetatietoestand in het groeiseizoen, omdat vegetatie zeker in de periode mei-juni een grote en zeer snelle ontwikkeling doormaakt. Door middel van speciale 'tasking' kan de levertijd lager worden, maar bewolking blijft een onzekere factor, en deze specifiek aangevraagde beelden zijn gemiddeld 2x zo duur als beelden uit het archief. Hiermee wordt 'tasking' een kostbare investering als dit een onderdeel van een regulier proces moet zijn.

Tabel 2-2 Vergelijking inwintechnieken voor vlakdekkende informatie

	Drone	Vliegtuig	Sentinel-2	TripleSat/Superview	WorldView3
Sensor mogelijkheden	RGB 5 Multispectrale banden Hyperspectraal	RGB 5 Multispectrale banden Hyperspectraal	13 Multispectrale banden	4 Multispectrale banden Panchromatic band	Multispectraal (8 bands) 8 infrarood banden 12 CAVIS banden
Resolutie	Enkele cm's	10*10 cm	10*10 meter	0.8 panchromatic 3.2 multispectraal	0.31 panchromatic 1.24 multispectraal 3.7 infrarood (SWIR) 30*30 CAVIS (voor automated cloud correction)
Range	Enkele km's per dag	Enkele 100-en km's per dag (tot max. 40.000ha)	Volledige beheergebied	Volledige beheergebied	Selecteerbaar
Frequentie	Eenmalig, met doorlooptijd van 1 week (weer- en vergunningafhankelijk)	Eenmalig, met doorlooptijd van 1 a 2 weken (in beperkte mate weersafhankelijk)	Elke 5 dagen (weersafhankelijk)	6 keer per jaar (niet planbaar tijdswindow van 6 weken)	Opvraagbaar met een tijdswindow van 1 maand
Kosten incl. verwerking tot gestitched beeld	1500-3000 Euro per dag	10.000 euro per dag, in overleg over frequentie bediscussieerbaar en mogelijk anders	Gratis beschikbaar via o.a. Google Earth Engine, Copernicus portal etc.	Gratis beschikbaar (via NSO)	Prijs per opgevraagde km2. Afhankelijk van keuze rond 50-100 Euro / km2 voor bestelde beelden, of 20 Euro voor archiefbeelden
Voordelen	Snel inzetbaar op beektraject niveau Planbaar Geen last van bewolking Goed voor kleine en slecht bereikbare stukken	Grote gebieden snel inwinnen Planbaar Geen last van bewolking Data ook nuttig voor andere toepassingen (bijv. bodemvocht) Geen noodzaak tot betreden gebied/inlichten aangelanden	direct bruikbaar na beschikbaar komen beeld (1 dag doorlooptijd max.) veel spectrale banden ten opzichte van andere satellieten Data ook nuttig voor andere toepassingen (bijv. bodemvocht)	Relatief hoge resolutie voor het gehele gebied Gratis Goed voor herkennen locaties met altijd terugkerende hoge dichtheden aan vegetatie via tijdsanalyses	Precies het gebied van interesse aan te geven Relatief hoge resolutie met meer banden dan de tripleSat/Superview Data ook nuttig voor andere toepassingen (bijv. bodemvocht)
Nadelen	Niet opschaalbaar naar groter gebied Wetgevingseisen streng: Vergunning vaak nodig Vliegtijd is beperkt	Luchtruim-eisen moeten worden gevolgd Doorlooptijd afhankelijk van beschikbaarheid pilot	Bewolking limiteert soms directe inzet van nieuwe beelden Een exacte inwindag kan niet gegeven	Bewolking limiteert soms directe inzet van nieuwe beelden Een exacte inwindag kan niet gegeven worden	Bewolking limiteert soms directe inzet van nieuwe beelden Een exacte inwindag kan niet gegeven worden

	Drone	Vliegtuig	Sentinel-2	TripleSat/Superview	WorldView3
	Veel data, mogelijk te gedetailleerd Data niet direct bruikbaar voor andere toepassingen	en dataverwerking en transfer. Voor een groot gebied kost dit zeker 1 week	worden Resolutie voor kleine watergangen niet hoog genoeg	Grote hoeveelheid data Resolutie mogelijk net niet hoog genoeg voor detailanalyses Slechts 4 banden Niet snel beschikbaar	Grote hoeveelheid data Relatief hoge kosten voor aanschaf beelden
Aanvullende opmerkingen	Omgeving inlichten is wenselijk	Kosten-inschatting en doorlooptijd zeer grof, verder te bediscussiëren met provider	Voor de smalle watergangen van Aa en Maas niet geschikt	Belangrijk om maaimomenten goed te registreren, omdat de datum van beeldopname direct voor dan wel na een maaibeurt kan vallen. Naar verwachting komen steeds meer beelden gratis beschikbaar en zal verwerking steeds sneller kunnen.	Belangrijk om maaimomenten goed te registreren, omdat de datum van beeldopname direct voor dan wel na een maaibeurt kan vallen
Technische aanvullende stappen te nemen	Beschouwen of het waterschap zelf een ROC-gecertificeerde medewerker wil voor werken met drones	Discussie aangaan met provider over mogelijkheden op lange termijn	-	Analyse of 4 banden voldoende zijn voor classificatie	Discussie aangaan met provider over daadwerkelijke kosten als meerdere beelden worden ingewonnen

3 Inhoudelijke analyse satellietbeelden en koppeling met hydraulische kennis

3.1 Beschikbaarheid en gebruikte type satellietbeelden

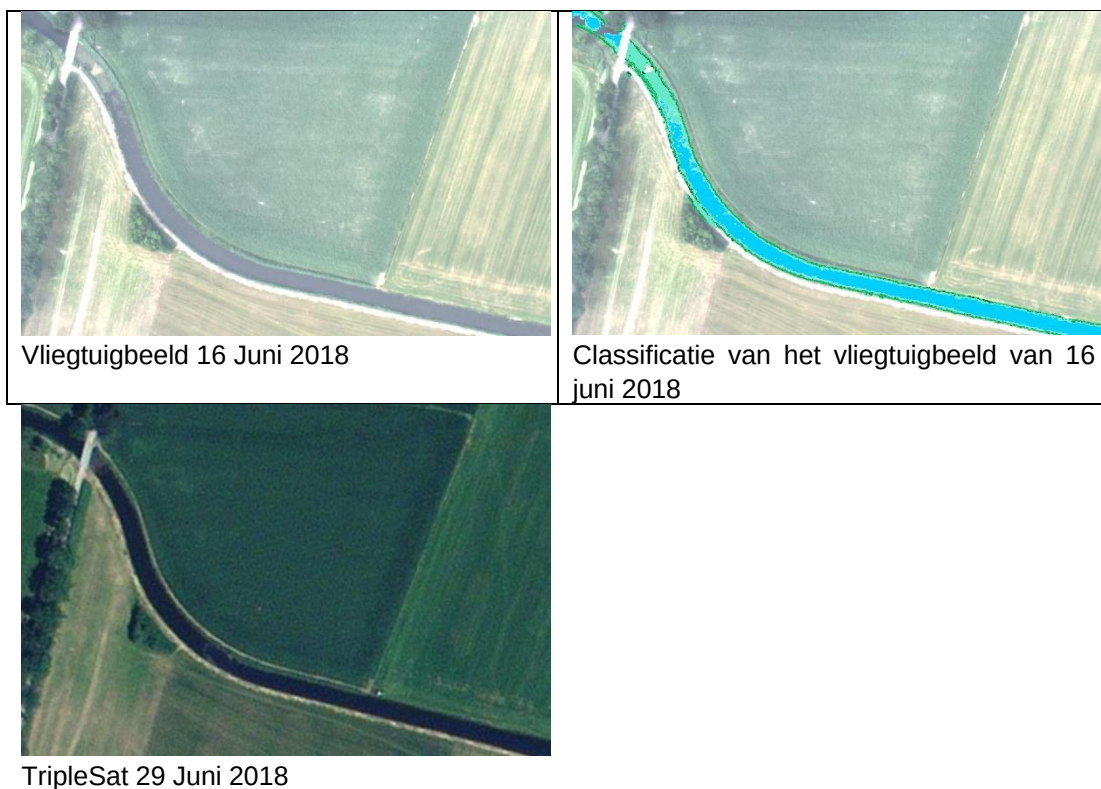
In hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van de meest gebruikte satellietbeelden. Gezien de hoge kosten van het op reguliere basis aanschaffen van commerciële satellietbeelden is er in dit project uiteindelijk voor gekozen om in eerste instantie te werken met de vrij beschikbare TripleSat beelden (Tabel 3-1) van de NSO om te kijken hoe dit soort hoge resolutie satellietdata het beste kan worden verwerkt. Deze data heeft alle aspecten die ook de commerciële WorldView 3 data heeft in zich, maar mist een aantal spectrale banden. De bestanden zijn groot en er moet een uitsnede worden gedaan voordat de data verder kan worden verwerkt voor vegetatiebedekking in de watergangen. De uitdagingen van dataverwerking zijn daarmee vergelijkbaar: hoe wordt een watergang optimaal uit een groot satellietdatabestand gefilterd. Hoe nauwkeurig is de uitgefilterde data en hoe wordt de rand tussen water en oever in beeld gebracht.

Tabel 3-1 TripleSat: technische specificaties

Product Resolutie:	80cm pixelgrootte, 1m GSD	
MTF at Nyquist:	Panchromatisch: 10% Multispectraal: 20%	
Spectrale Banden:	MS3 Blauw:	435 to 510nm
	MS2 Groen:	508 to 588nm
	MS1 Rood:	599 to 669nm
	MS4 NIR:	759 to 910nm
	PAN:	449 to 651nm
Resolutie	0.8 m panchromatisch & 3.2m multispectraal Waarvan verticaal: 4.75 m en horizontaal: 2.7m	
Swath – breedte	23km	
Satellietbaan en hoogte	Sun Synchronous, altitude of 651km	
LTAN:	10:30 Hrs	

Voor de analyse is gebruik gemaakt van TripleSat beelden uit 2018 omdat voor 2018 ook dronebeelden en vliegtuigbeelden beschikbaar zijn en daarmee kan een vergelijking worden gemaakt tussen de beelden met de hoogste resolutie en lage resolutie. De dronebeelden zijn ingevlogen door Avallo op meerdere momenten in het jaar 2018 in opdracht van het stroombaanmaaien-initiatief van de werkgroep Bouwen met de Natuur (STOWA werkgroep), om te beschouwen of deze data geschikt is om groeicurves door het seizoen uit af te leiden. Deze data is ingevlogen voor het kanaal van Deurne. Daarnaast zijn er in 2018 vliegtuigbeelden ingevlogen voor zowel de Leijgraaf (in 2018 geanalyseerd) als ook voor het Kanaal van Deurne. Het Kanaal van Deurne beschikt daardoor over data voor zowel drone, vliegtuig als ook TripleSat beelden.

Een eerste visuele vergelijking van het detailniveau van de beelden is gegeven in Figuur 3-1, waarbij we zien dat de vegetatieprop voor de brug (links boven in het vliegtuigbeeld van 16 juni) op het TripleSat beeld van 29 juni ook nog zichtbaar is, maar wel is veranderd van vorm. De prop is in de tussenliggende periode kleiner geworden. Ook is te zien dat iets bovenstrooms (middenonder in het beeld) een nieuwe 'prop' aan vegetatie zichtbaar lijkt te zijn.

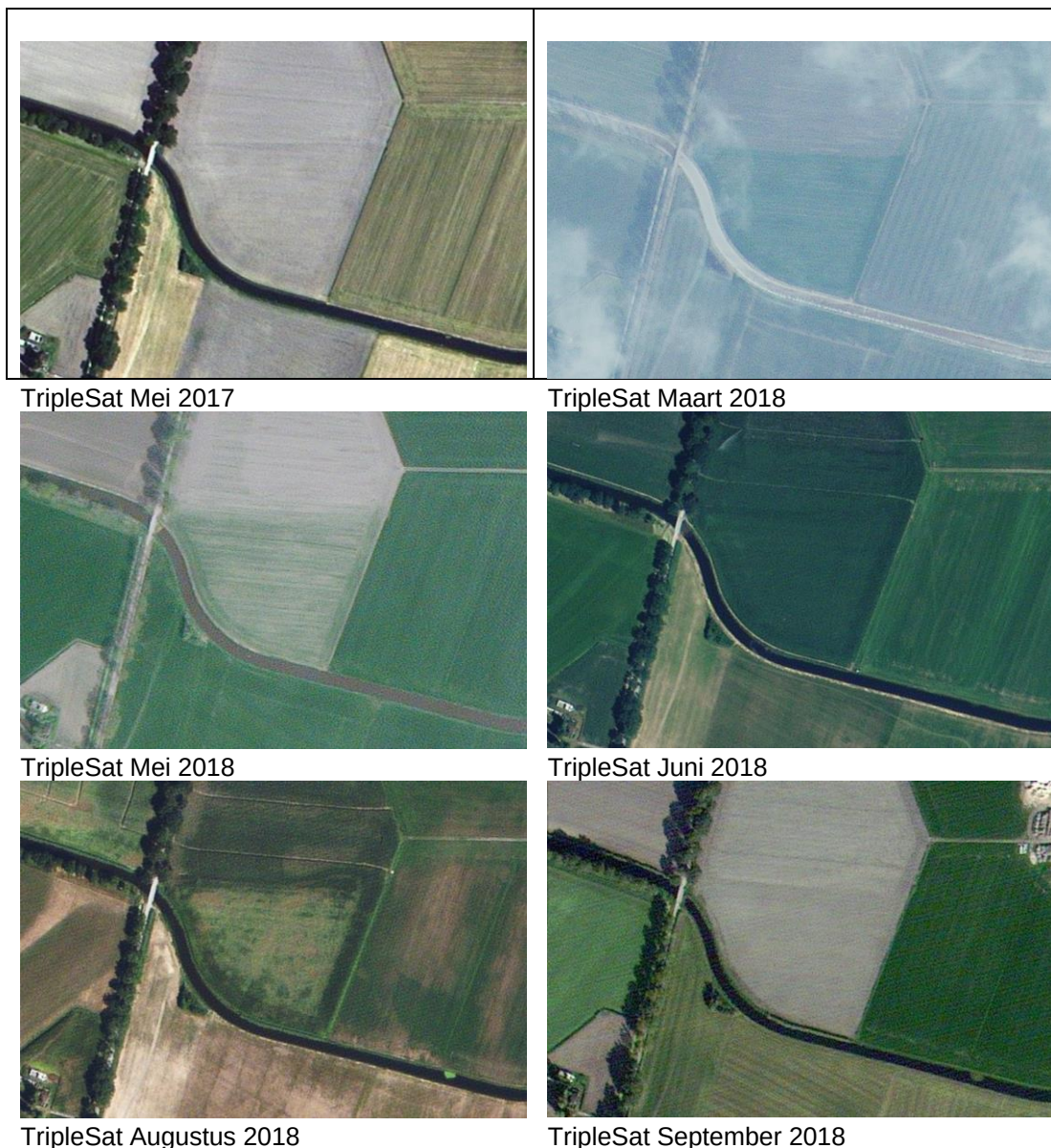


Figuur 3-1 Visuele vergelijking van vliegtuig-gevlogen beeld met bijbehorende classificatie en Triplesat beeld

De beschikbare TripleSat beelden in 2018 zijn opgenomen in Tabel 3-2. Figuur 3-2 geeft enkele screenshots van deze beelden, waarbij te zien is dat verstoringen in de atmosfeer de kwaliteit van het beeld negatief kunnen beïnvloeden.

Tabel 3-2 Beschikbare TripleSat beelden (en datum) waarin de Leijgraaf is opgenomen

2017-03-14	2017-07-21	2018-06-29	2018-09-30
2017-03-25	2017-08-23	2018-07-15	2018-10-09
2017-05-23	2017-10-15	2018-07-20	2018-10-10
2017-05-25	2018-02-28	2018-07-27	
2017-06-01	2018-04-18	2018-08-07	



Figuur 3-2 Voorbeelden van enkele TripleSat beelden voor de Leijgraaf

3.2 Werkwijze beeldverwerking

TripleSat-afbeeldingen die in dit onderzoek zijn gebruikt, zijn beschikbaar via <https://www.satellietdataportaal.nl/>. Het portal biedt gratis toegang tot satellietgegevens uit Nederland. De gegevens worden beschikbaar gesteld in verschillende vormen en soorten gegevens, namelijk voorbewerkte optische gegevens, onbewerkte optische gegevens en onbewerkte radargegegevens. Over het algemeen kan worden gezegd dat alle NSO-data radiometrisch zijn gecorrigeerd (waarde van de pixel). Voorbewerkte optische satellietbeelden worden ook geometrisch gecorrigeerd en ortho-gerectificeerd. De satellietgegevens zijn ook beschikbaar als onbewerkte, ruwe gegevens.

3.2.1 Voorverwerking

De correcties in de voorverwerking zijn nodig om het ruwe beeld te bewerken tot bruikbaar beeld. Hierbij valt te denken aan zowel geometrische correcties van de pixels, danwel correcties van de waarde van de pixels zelf. Er vindt in deze stap nog geen vergelijking plaats met andere beelden of met externe informatie. Ook zijn de bewerkingen tijdens de voorverwerking omkeerbaar. Hierdoor wordt het eindproduct van de voorverwerking nog steeds als ruw beeld gezien en mag dit product, gelet op de licentievoorwaarden, niet zomaar verspreid worden. Onder de voorverwerking vallen de volgende bewerkingen:

- **Geometrische correctie:** Een ruw beeld kan nog niet als een kaart gebruikt worden. Er zijn tal van oorzaken te benoemen, die het beeld verstoren, zoals de kromming van de aarde, atmosferische refracties, reliëf en de snelheid van de satelliet. Met geometrische correcties wordt getracht dergelijke verstoringen zoveel mogelijk te verkleinen, zodat het beeld op een kaart gelegd kan worden. De verstoringen, waarvoor gecorrigeerd moet worden, kunnen simpelweg opgedeeld worden in systematische verstoringen en random verstoringen. De correcties worden doorgaans dan ook in twee stappen uitgevoerd, waarbij eerst de systematische verstoringen worden gecorrigeerd en vervolgens de random verstoringen.
- **Radiometrische correctie:** De pixelwaarden worden doorgaans door verschillende foutenbronnen verstoord. Te denken valt aan lichtinval, (gassen en stofdeeltjes in de) atmosfeer, kijkhoek en het instrument in het algemeen. Deze verstoringen moeten zoveel mogelijk geminimaliseerd worden, met name indien men beelden aan elkaar wil plakken (mozaïek) of tijdreeksen wil analyseren. Ook hier geldt weer dat er correcties zijn voor systematische fouten en voor random fouten.
- **Orthorectificatie.** Een terrein met hoogteverschillen (of gebouwen) levert reliëfverschuivingen op. Een punt in de hoogte (x_1, y_1, z_1) lijkt ergens anders te liggen ($x_2, y_2, 0$) dan de eigenlijke positie.

Iedere satelliet kent haar eigen productlevels. Ook wordt vermeld welk product in het Satellietdataportaal wordt aangeboden als ruwe data. Over het algemeen kan gesteld worden dat voor de ruwe data producten in het portaal de orthorectificaties zelf uitgevoerd moeten worden en dat radiometrische correcties in alle beelden zijn uitgevoerd. Voor de voorbewerkte data geldt dat de geometrische correcties, radiometrische correcties en orthorectificaties al wel zijn uitgevoerd; deze data zijn daarom ook direct bruikbaar in GIS-applicaties.

3.2.2 Beeldanalyse

De daadwerkelijke beeldanalyse (classificatie in verschillende vegetatieklassen) is uitgevoerd volgens dezelfde werkwijze als ook is gebruikt voor de verwerking van de drone- en vliegtuigbeelden in 2018 (zie Penning et al 2018 voor details). Hierdoor hebben we een eenduidige werkwijze voor verdere vergelijking. Daarnaast is een analyse gemaakt gebruikmakend van het pan-sharpend NDVI-beeld van de TripleSat, omdat deze een hoge resolutie heeft en daarmee een goed detailniveau geeft. Bij pan-sharpening wordt een koppeling gemaakt tussen de spectrale beelden (met een ruimtelijke resolutie van 3.5*3.5 meter) en het nauwkeurigere panchromatische beeld, waardoor de resultaten de informatie van beide beeldtypen gebruikt in de classificatie. De beelden van de drone, het vliegtuig en de TripleSat zijn vervolgens visueel met elkaar vergeleken.

4 Resultaten beeldverwerking

4.1 Algemene ervaringen met het verwerken van satellietbeelden voor vegetatiebeheer

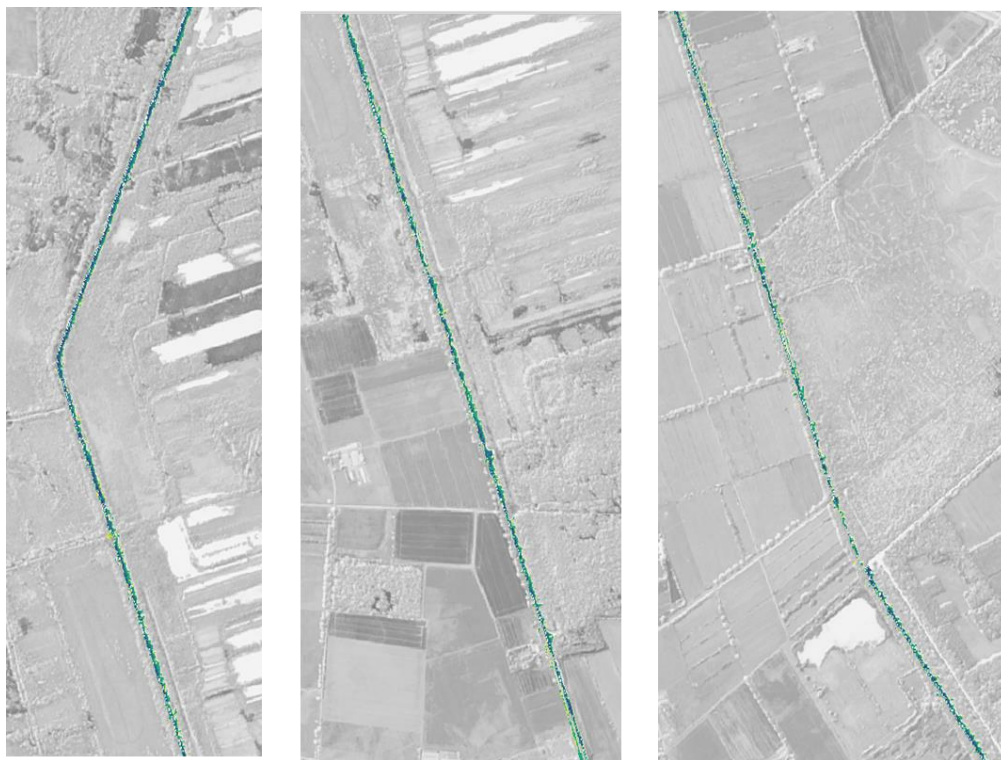
Voor het goed classificeren van satellietbeelden blijft het nodig om validatie van andere bronnen te gebruiken om een goed beeld te krijgen van de correctheid van de classificatie. In 2018 is er voor de Leijgraaf en het kanaal van Deurne een serie vliegtuigbeelden ingevlogen, die goed bruikbaar bleken voor classificatie. Daarnaast zijn er dronebeelden ingevlogen. Al deze beelden zijn gebruikt als validatiedata voor de satellietbeeld-analyse.

4.1.1 Kanaal Van Deurne

Drone, vliegtuig en TripleSat afbeeldingen zijn verwerkt voor het Kanaal van Deurne. Voor dit gebied werden TripleSat-, vliegtuig- en dronebeelden zo bewerkt dat alleen het gebied van het kanaal zelf uit het beeld is geknipt, door een buffer langs de middenlijn van het kanaal weer te geven. Hiermee vermindert de hoeveelheid te verwerken data tot een acceptabele grootte. Het buffergebied is weergegeven in figuur 4-1. De figuur geeft ook een voorbeeld van de drone-beelddekking. De figuur toont een afbeelding met volledige dekking en een uitgeknipte afbeelding. De vliegtuigbeelden hebben een resolutie van 0.42 m en beslaan ongeveer 18 km van het kanaal.



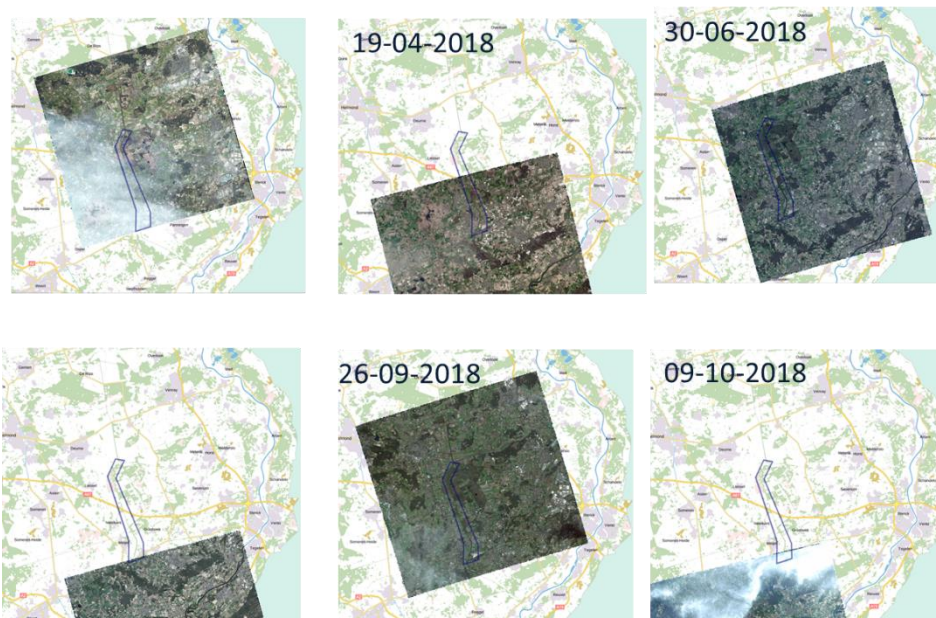
Figuur 4-1 Linksboven: de locatie van het kanaal van Deurne, rechtsboven: het buffergebied dat wordt gebruikt om de afbeeldingen te knippen. Onder: een voorbeeld van de geknipte drone-afbeeldingen.



Figuur 4-2 TripleSat beelden na classificatie.

4.1.2 Beschikbaarheid van beelden

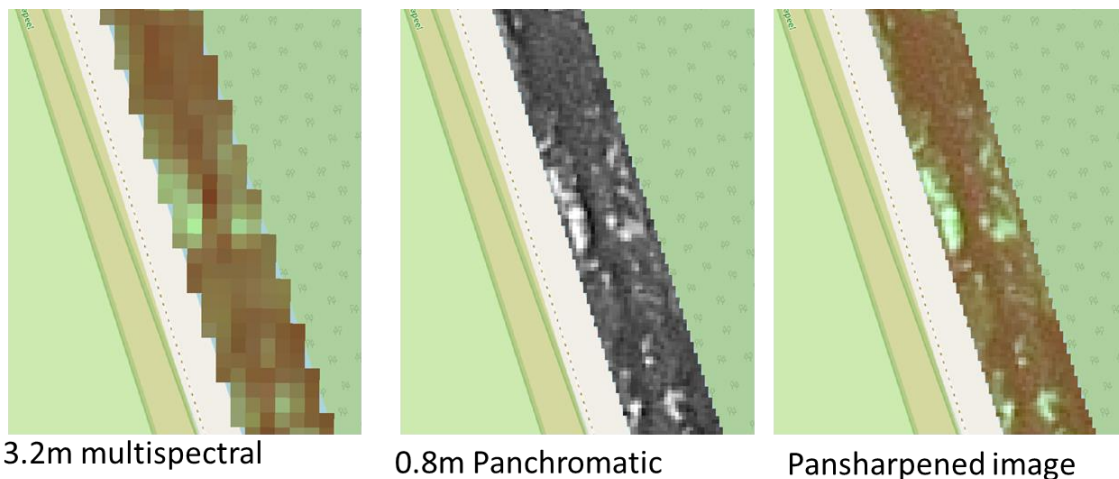
Een van de belangrijkste belemmeringen bij het vergelijken van vliegtuig, drone- en TripleSat-afbeeldingen is het al dan niet overlappende tijdstip van inwinning. De beschikbaarheid van de TripleSat-afbeeldingen is afhankelijk van de weersomstandigheden. Figuur 4-3 geeft de datum en dekking van het gebied weer voor beschikbare TripleSatbeelden. Voor kwalitatieve vergelijking hebben we de afbeelding geselecteerd die het dichtst in de buurt komt van de datum waarop de gedetailleerde dronegegevens zijn verzameld. Twee TripleSat-afbeeldingen worden gepresenteerd voor de vergelijking (30 juni en 16 juli 2018).



Figuur 4-3 beschikbaarheid van TripleSat beelden voor het onderzoeksgebied in 2018

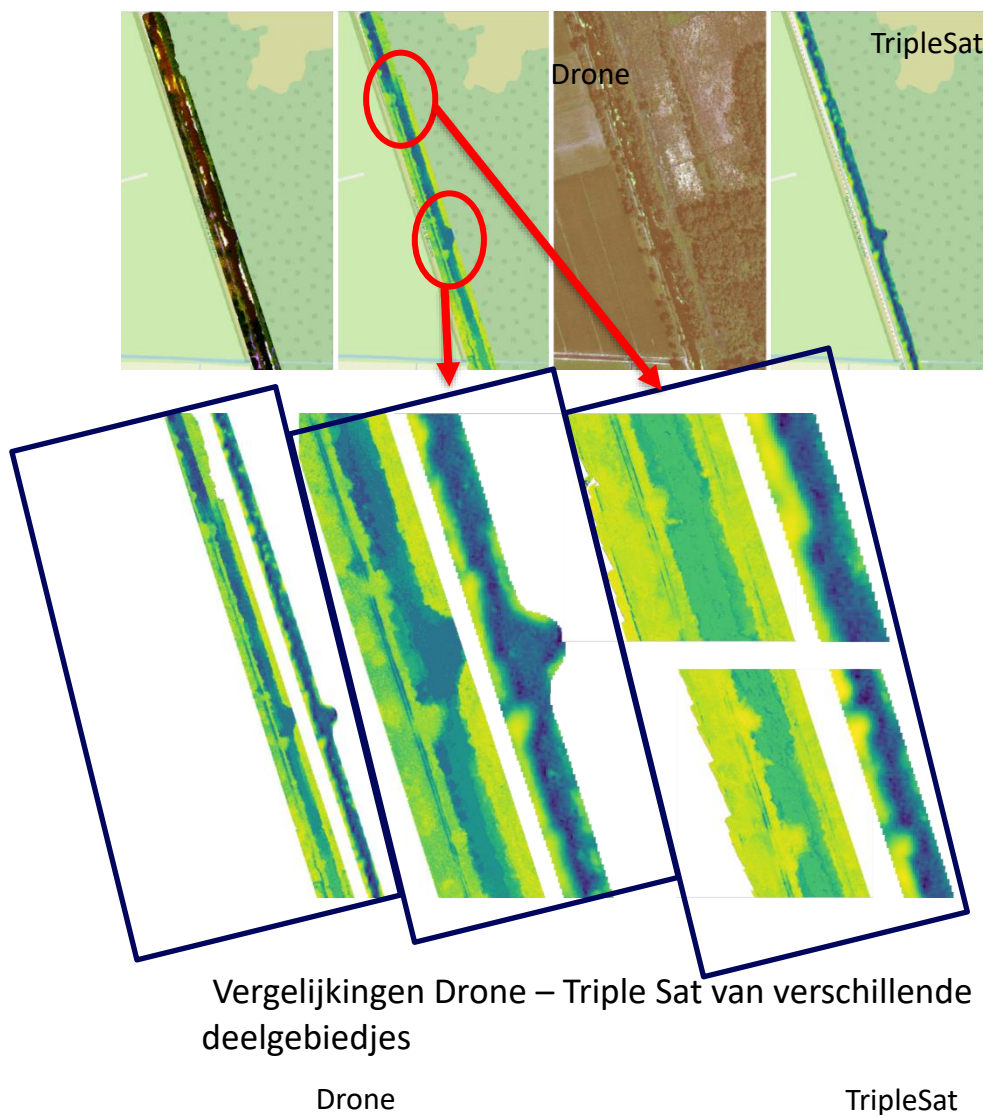
4.1.3 Pansharpenering

Pansharpenering is een methode om een kleurenbeeld met lage resolutie om te zetten naar een kleurenbeeld met hoge resolutie. Hiervoor wordt het lage-resolutie-kleurenbeeld (multispectraal) met een (panchromatisch) zwart-witbeeld met hoge resolutie gecombineerd. Deze techniek wordt vaak toegepast bij het ontwerpen van kaarten, en bij het maken van scherpe satellietbeelden. Pansharpenering maakt het mogelijk multispectrale data met hogere resolutiegegevens te hebben voor het Deurne-kanaal. De onderstaande afbeelding toont het originele multispectrale beeld, het panchromatische beeld (0.8 m) en het multispectrale beeld na pansharpenering. De figuur benadrukt hoe kleine elementen die niet zijn vastgelegd in de originele multispectrale afbeelding toch te zien zijn na de pansharpenering (figuur 4-4).



Figuur 4-4 Visuele vergelijking TripleSat links: multispectraal beeld (resolutie 3.2m), midden: panchromatic beeld (resolutie 0.8m) en rechts pansharpened beeld.

Voor de vergelijking van de drone- en TripleSat-afbeeldingen is de NDVI van het panchromatische beeld gebruikt, die de mate van groen-waarde weergeeft. De resultaten in figuur 4-5 laten zien dat er een relatie is tussen de NDVI waarden in de beelden van de drone en TripleSat en dat locaties met hoge vegetatiedichtheid zowel op de dronebeelden, als op de satellietbeelden zichtbaar zijn.



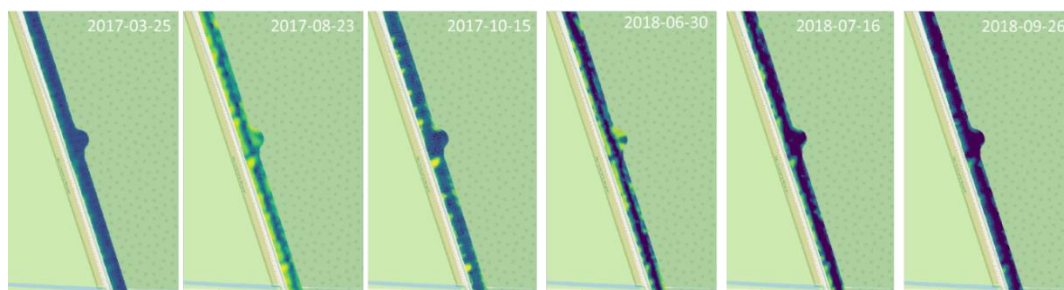
Figuur 4-5 Visuele vergelijking van de drone-beelden met het TripleSat beeld voor true-colour en NDVI beelden (boven) en steeds verder ingezoomd de NDVI-waarden gebaseerd op drone data (steeds links) en TripleSat beelden (steeds rechts) voor verschillende zoom-niveaus (onderste beelden). Hoge NDVI waarden in geel (veel vegetatie-groen), afnemend richting groen voor minder groene vegetatie en blauw voor ontbreken van vegetatie – water.

De spectrale banden op de TripleSat hebben een resolutie van 3.2 m*3.2 m en zonder de pan-sharpening kunnen hiermee geen kleine NDVI-patronen worden opgevangen, maar grotere vlekken van vegetatie zijn te zien in zowel de drone- als TripleSat-afbeeldingen.

Beelden met een zeer hoge resolutie zijn zeer waardevol, vooral in smalle kanalen omdat er dan goede visuele checks op de correctheid van een grootschaligere automatische classificatie gedaan kunnen worden. Bijvoorbeeld om te controleren of hoge vegetatiewaarden te wijten zijn aan overhangende bomen/beschaduwning, of dat er daadwerkelijk sprake is van hoge bedekkingswaarden in de watergang zelf. De timing van de opname is van cruciaal belang, vooral wanneer natuurlijke en niet natuurlijke fenomenen plaatsvinden die de interpretatie van de beelden beïnvloeden (zware regenval, zonnestand, maaiafval).

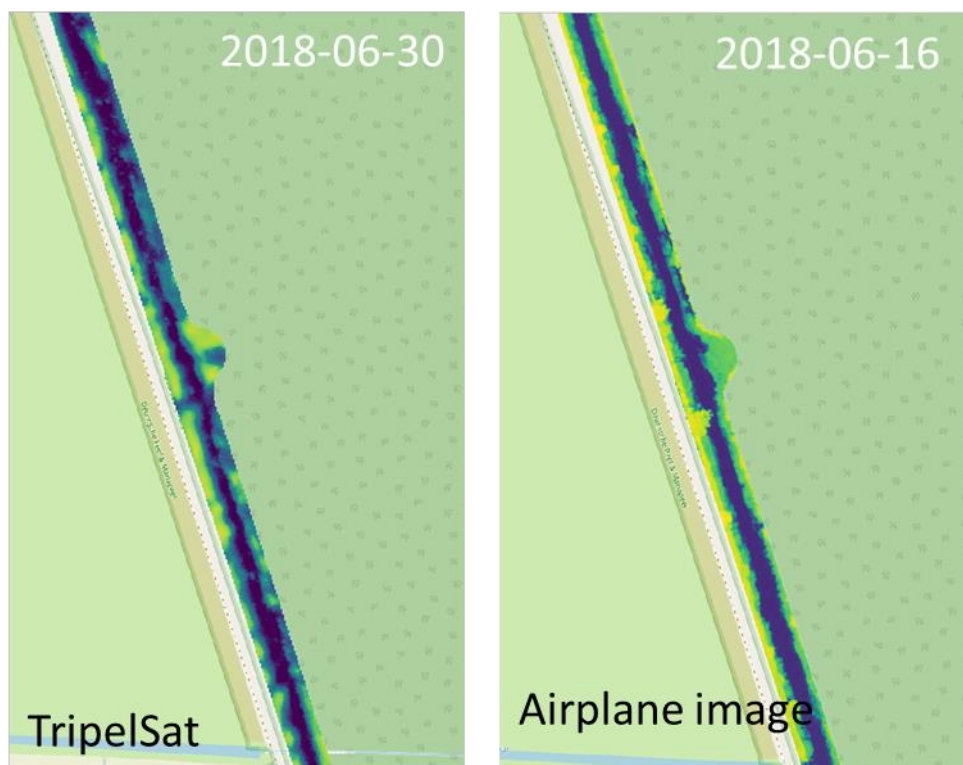
Kanalen variëren in breedte (gemiddeld van 8 tot 23 m). Hoe smaller het kanaal, hoe hoger de benodigde resolutie. Satellietbeelden met een relatief hoge resolutie (TripleSat 3.2 m, pansharpened tot 0.8 m) zijn nog niet voldoende voor het nauwkeurig monitoren van vegetatie in kanalen smaller dan ongeveer 3 meter, zeker wanneer een groot deel van de pixels zowel informatie van de oever als het water bevatten. Wel kan het onderscheid tussen 'water' en 'vegetatie' op hoofdlijnen in deze watergangen nog worden onderscheiden, als in 'schoon' of 'volledig begroeid', maar onderscheid in vegetatieklassen vervalst voor dit soort smalle watergangen.

Hoewel de TripleSat-beelden niet het beste middel zijn om op een specifiek moment in het systeem snel informatie te krijgen, kunnen ze wel helpen om trends en seizoensinvloeden te beschrijven over de langere termijn, als er steeds hotspots optreden waar vegetatie een altijd terugkerend probleem vormt. Hiervoor zijn wel data van meerdere jaren nodig, en is aanvullende informatie nodig over de aanwezigheid van bomen langs de oever. Figuur 4-6 geeft een overzicht van het beschouwde deel van het Kanaal van Deurne voor de beschikbare TripleSat-beelden. In dit traject zien we een algemene toename van vegetatie in de zomer van 2017, die in 2018 ook optreedt. Er lijkt voor 30 juni 2018 een stroombaan te zijn gemaaid, die ook in het beeld van 23 augustus 2017 te zien is, maar sterker dichtgegroeid. Zowel in de oktober 2017 als de september 2018 beelden is deze vegetatie weer verdwenen.



Figuur 4-6 Tijdserie van TripleSatbeelden van 2017 en 2018 voor het beschouwde traject van het Kanaal van Deurne.

De vergelijking tussen het TripleSat-beeld en het vliegtuigbeeld laat ook een goede overeenkomst zien (figuur 4-7), waarbij het TripleSat-beeld gevoeliger is voor 'diffusie' van informatie rond de oeverzone. In het vliegtuigbeeld is beter te zien wat de daadwerkelijke situatie is.



Figuur 4-7 Vergelijking tussen een Triple-Sat-beeld (30 juni 2018) en vliegtuigbeeld (16 juni 2018).

4.2 Koppeling met hydraulische kennis

Vlakdekkende beelden geven op een objectieve manier inzicht in de locatie en de mate van vegetatiebedekking vanuit een bovenaanzicht binnen het beschouwde gebied. Deze informatie kan in theorie worden gekoppeld met hydraulische analyses voor een verdere verbijzondering van peilveranderingen binnen een stuwpand. Hiervoor is in 2018 reeds een eerste poging gedaan de vliegtuigbeeld van de Leijgraaf te koppelen aan hydraulische metingen. Het was mogelijk om de data uit de geclassificeerde beelden om te zetten naar een bedekking van verschillende klassen per 100 m lengte kanaal, waarmee vervolgens berekeningen aan peilveranderingen binnen het pand werden uitgevoerd. De resultaten van deze poging waren veelbelovend, maar verdere ontwikkelingen zijn nodig, omdat er onzekerheden zitten tussen de vertaling van een bovenaanzicht en het aanstromend oppervlak dat verantwoordelijk is voor de daadwerkelijk optredende peilveranderingen, zoals die dag in het veld gemeten.

In 2019 is een stroombaanmaaienproef uitgevoerd waarbij drone-data is ingewonnen voor en na de proef. Deze paragraaf geeft een samenvattende beschrijving van de hydraulische analyse van deze proef (proef uitgevoerd binnen het OBN-project aangepast beheer, volledige rapportage in appendix A).

4.2.1 Analyse veldproef stroombaanmaaien

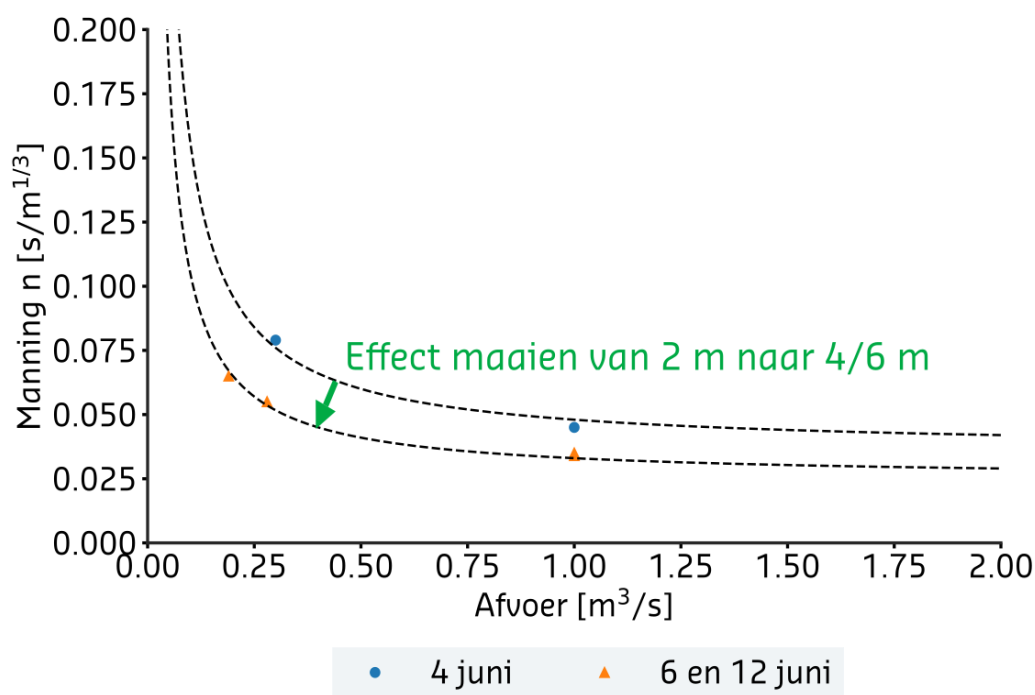
Stroombaanmaaien is een mogelijke manier om ecologische en waterveiligheidsdoelen met elkaar te combineren in beken waar vegetatie in het zomerseizoen de afvoer in enige mate beperkt. Bij stroombaanmaaien wordt een deel van de vegetatie behouden door slechts een 'baan' te schonen voor de benodigde minimale afvoer. Er zijn verschillende rekenmethoden om te bepalen hoe breed deze stroombaan moet zijn (STOWA, 2017), maar een goede validatie voor verschillende typen beeksystemen ontbreekt. Binnen het OBN-aangepast beheer project is daarom in 2019 een praktijkproef uitgevoerd waarbij data is verzameld om deze rekenmethoden verder te valideren voor een stuwpand in de Eefse Beek.

4.2.2 Wat is er geleerd van de stroombaanmaaien proef in termen van hydraulische analyse?

Een uitgebreide analyse-rapportage van de stroombaanmaaien-proef is te vinden in appendix A. De hydraulische analyse toont de impact van het maaien op het niveau van het totale traject. Lokale opstuwingen binnen het traject zijn daarbij niet in kaart gebracht. Twee belangrijke conclusies uit deze proef zijn:

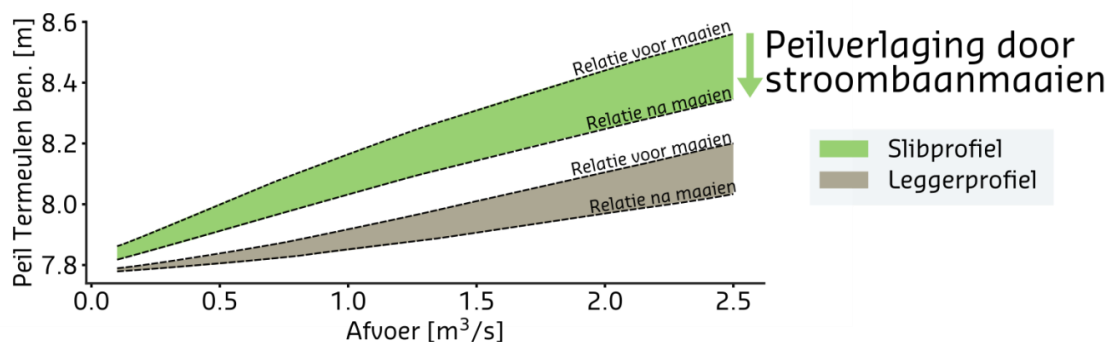
- 1 Het effect van maaien is groter bij lagere afvoeren dan bij hogere afvoeren, door sterke afvoerafhankelijkheid van de opgetreden ruwheden – vermoedelijk veroorzaakt door meebuigende overstroomde vegetatie. Huidige vegetatiemodellen zijn nog onvoldoende in staat om dit naar behoren te simuleren, maar de inzichten verkregen uit de OBN- en Lumbricusproeven kunnen de basis vormen voor een op de praktijk gestoeld alternatief waarmee de bandbreedte van het effect van maaien en de verwachte peilopzet kan worden bepaald.
- 2 Met goede kennis van de actuele hoeveelheid slib in het systeem kan een afgewogen keus worden gemaakt tussen (meerjarige) beheer opties op basis van verwachte peilopzet: maaien, baggeren, of een combinatie van beiden.

De relatie tussen afvoer en ruwheid en de invloed van maaien op deze relatie is weergegeven in Figuur 4-8. De vorm van de algemene stippellijn is gebaseerd op de langjarige tijdreeksanalyse uitgevoerd in 2018, en de punten zijn de geplote waarden van de proef. De stippellijn is slechts indicatief, gegeven de beperkte aantal datapunten waarop het gebaseerd is, om het verwachte effect van maaien en de doorwerking naar ruwheid te visualiseren.



Figuur 4-8 Relatie tussen de afvoer en de afgeleide ruwheid bij de verschillende experimentele maaimomenten (4 juni een stroombaan van 2 meter, 6 juni 4 meter en 12 juni 6 meter brede stroombaan).

De hoeveelheid gesedimenteerd slib in de beek is tijdens deze proef bepaald met een slibschijf voor het beschouwde dwarsprofiel. Deze meting bleek van grote invloed op de uiteindelijk berekende ruwheidswaarden en de doorvertaling daarvan op het peil. De berekeningen werden zowel uitgevoerd met het door het waterschap aangeleverde ingemeten leggerprofiel, als ook met het tijdens de proef ingemeten slibprofiel (een aanvullende 40 cm slib bovenop het leggerprofiel). Hoewel er nu is aangenomen dat over het gehele traject een vergelijkbare overwaarde aan slib het doorstroomd profiel beïnvloedt zonder dit te hebben kunnen uitsluiten met aanvullende metingen, blijkt uit de berekeningen dat de invloed van het stroombaanmaaïen op het peil bij de bovenstroomse stuw 'Termeulen' sterk afhankelijk is van het gekozen profiel voor de berekeningen: met slib of zonder slib (Figuur 4-8). Figuur 4-9 laat ook zien dat het behaalde effect van het stroombaanmaaïen op het bovenstroomse peil slechts beperkt is ten opzichte van de verandering in het leggerprofiel. Het maken van dit soort figuren sterkt in de beslissing of het nuttiger is te baggeren of te maaïen in een gegeven systeem, in relatie tot de maatgevende afvoer en het bijbehorende kritische peil. Vergelijking van de verwachte peilopzet met het kritisch peil kan de vraag beantwoorden in hoeverre maaïen een oplossing is voor wateroverlast: in eerder onderzoek (Bsc. Thesis R. Linneman) werd voor de Grote Beek aangetoond dat deze beek ongeacht van de maai-inspanningen niet overal langs het traject een voldoende laag peil kon garanderen.



Figuur 4-9 Invloed van het gekozen leggerprofiel op de relatie tussen afvoer en peilen en mogelijke te behalen resultaat van stroombaanmaaien binnen deze randvoorwaarden.

De waterkwaliteitsmetingen die zijn uitgevoerd tijdens de stroombaanmaaien-proef tonen dat de maaiactiviteit geen sterke negatieve invloed had op de belangrijkste waterkwaliteitsparameters die veel invloed hebben op het ecologisch functioneren van de beek. Verwacht werd dat er direct na het maaien een grote zuurstofvraag zou zijn en dat er veel nutriënten zouden vrijkomen in het water vanuit de planten en vanuit het opgewoelde sediment. De metingen tonen aan dat dit niet het geval was. Daarmee is stroombaanmaaien vanuit ook ecologische perspectief een goede manier om zonder grote verstoringen maai-beheer uit te voeren.

4.2.3 Kennisleemtes en noodzaak tot verdere ontwikkelingen daarin

De nauwkeurigheid van hydraulische modellen is afhankelijk van veel zaken, zoals de kwaliteit van de meetdata (waterstanden, afvoeren), geometrie (dwarsprofielen) en hoe ruwheid wordt berekend (en hoe vegetatie daar een rol in speelt). In de praktijk moet deze nauwkeurigheid vaak worden bereikt door te kalibreren, vaak door de ruwheid aan te passen. Het bepalen van de ruwheid door middel van kalibratie is een soort meting: een meting van de ruwheid die op dat moment optrad, aangenomen dat de rest van de modeldata (dwarsprofielen, afvoeren, waterstanden) klopt. In tabellenboeken van ruwheden wordt op deze manier de ruwheid van specifieke vegetatietypen bepaald.

In de analyses die in 2018 en 2019 zijn uitgevoerd is de ruwheid ook bepaald door middel van kalibratie. Hiermee is een goed beeld verkregen van de ruwheidsfunctie en de relatie tot afvoer en tijd. Het voordeel van deze aanpak is dat de gevonden functies vaak zullen leiden tot nauwkeurige voorspellingen. De analyses die nu in opeenvolgende jaren gedaan zijn, laten een vergelijkbaar beeld zien. Verdere analyse kan leiden tot een voorspellend ruwheidsmodel waarmee de bandbreedte van de verwachte peilopzet wordt afgeleid uit lessen uit het verleden.

Het nadeel is dat deze functies vaak enkel toepasbaar zijn op het bestudeerde systeem (de functie van de Leigraaf kan niet zomaar worden toegepast op de Eefse beek), en dat een gedetailleerd advies (b.v. maai een stroombaan van 2 of 4 meter breed) er niet mee kan worden gedaan. Om dit te kunnen doen, wordt beter gekeken naar algemene modellen die de relatie tussen vegetatie en ruwheid bepalen op basis van fysische principes. Om nauwkeurig te zijn, en om deze nauwkeurigheid te bewijzen, is veel data en kennis nodig: de locatie, dichtheid en vorm van de vegetatie, een nauwkeurig bodemprofiel, een goed vegetatiemodel (d.w.z., een functie die vegetatiedata vertaalt naar ruwheid), en tot slot een nauwkeurig hydraulisch model. In deze en vorige Lumbricus studies is onderzoek gedaan naar deze componenten.

Ten eerste is gekeken in hoeverre de aanwezigheid vegetatie met voldoende nauwkeurigheid kan worden bepaald met remote sensing, om toepasbaar te zijn in hydraulische modellen. De in 2019 ingevlogen dronebeelden van de Eefse beek bleken niet goed analyseerbaar onder andere als gevolg van praktische problemen bij het inwinnen en verwerken van de data (zie paragraaf 2.1). Ook in 2018 was de koppeling tussen de vliegtuigbeelden en de ingemeten peilmetingen langs het traject niet volledig aan elkaar te koppelen. Ook de satellietbeelden blijken door hun relatief lage resolutie en timingsproblemen niet te koppelen aan een directe kwantitatieve hydraulische analyse. Vooralsnog hebben de beelden dan ook vooral waarde als aanvullende visuele waarnemingen die objectief en vlakdekkend aan kunnen geven waar vegetatie gelokaliseerd is.

Verdere validatie van de beeldanalyse voor de automatische classificatie naar groeivormen is nog nodig (nu kan bijv. ondergedoken vegetatie wel worden geïdentificeerd als het water niet te troebel is, maar er wordt nog niet gecorrigeerd voor de eventuele effecten van waterdiepte of troebelheid op dit signaal). En aanvullende ontwikkelingen om vegetatietypen te kunnen classificeren helpt ook een nauwkeurigere vertaling naar ruwheden.

Naast de waarde van vlakdekkende beelden voor visuele ondersteuning voor de beheerder (los van eventuele koppeling aan voorspelmodellen), zien wij ook een potentiële rol voor het bepalen van groeisnelheid van vegetatie. Tussen half april en half juni groeit vegetatie het snelst. Deze groeisnelheid is in enige mate te relateren aan de hoeveelheid zon en buitentemperatuur in deze periode en kan worden gebruikt bij het voorspellen van de ontwikkeling van de bedekkingspercentages, maar dit is nog niet goed te specificeren naar verschillende dominante groeivormen van vegetatie (drijvende, ondergedoken en emergente soorten).

Ten tweede is gekeken naar vegetatiemodellen, die de relatie bepalen tussen aanwezige vegetatie en ruwheid. Uit onze analyse bleek dat huidige vegetatiemodellen mogelijk onvoldoende de complexe processen van veranderende ruwheden door het neerbuigen van vegetatie benaderen, en bovendien dat de resultaten sterk afhankelijk zijn van de kwaliteit van de aangeleverde en beschikbare data. Onzekerheid in slibdikte kan de bepaling van de maximale stroombaan bijvoorbeeld sterk beïnvloeden. Hiermee is de praktische toepasbaarheid van dergelijke modellen in veel gevallen beperkt.

5 Discussie

5.1 Beantwoording onderzoeksvragen

Terugkomend op de onderzoeksvragen die aan het begin van dit rapport werden genoemd vatten we kort de belangrijkste bevindingen samen:

- 1 *Hoe succesvol kan met satellietbeelden een vlakdekkende inwinning van data worden gedaan voor kleine stromende wateren? (bijvoorbeeld is de resolutie nog voldoende voor een goede vergelijking, is de classificatie nog voldoende goed, en hoe vaak zijn deze beelden beschikbaar en hoe snel komen ze beschikbaar na inwinning door de satelliet?)*

Satellietbeelden kunnen een eerste inschatting geven van de aanwezigheid van vegetatie, maar zijn daarin niet heel nauwkeurig: door de uiterste pixelgrootte van 0.8*0.8 m (pansharpend TripleSat-beelden) moet de bedekkingsgraad hoog zijn voor dit wordt opgemerkt. Er bestaat een risico dat de oeverbegroeiing en een deel van het water binnen 1 pixel vallen, of dat bomen en hun schaduwen een deel van het zicht op de watergang blokkeren. Daar waar de hoge resolutie van drone data dit onderscheid makkelijk mogelijk maakt, is dat bij satellietbeelden veel lastiger en is de interpretatie dus onnauwkeuriger. Bij watergangen smaller dan 10 meter breedte is met 10-12 pixels aan breedte de nauwkeurigheid dus beperkt, zeker als er bomen langs de oevers staan. Bij bredere watergangen en watergangen die geen mogelijke hinder van schaduwwerking ondervinden is het toepassingsbereik groter en betrouwbaarder.

Gratis hoge resolutiebeelden zijn momenteel gemiddeld genomen 1x per maand beschikbaar en komen dan direct beschikbaar voor de eindgebruiker. Het verwerken van de beelden via een automatisch algoritme vergemakkelijkt de analyse van de beelden. Echter, binnen het groeiseizoen is de timing van het met zekerheid beschikbaar komen van zo'n beeld niet voldoende voor ad-hoc beslissingen rondom het maaien.

In dit onderzoek is een unsupervised classification gebruikt en daarna visueel vergeleken met drone- en vliegtuigdata. Hiervoor is gekozen, omdat in een uiteindelijke toepassing ook geen validatie-data wordt verwacht voor een groot gebied. Het gebrek aan validatiedata uit het veld maakt een unsupervised classificatie minder betrouwbaar dan wanneer veldvalidatie aanwezig is voor een groter gebied. Analyse van een langere tijdsperiode helpt een inschatting te geven van patronen door de tijd per locatie, maar is nu nog niet uitgewerkt of vergeleken met veld-ervaringen van beheerders. Door gebruik te maken van meerdere beelden door het jaar heen wordt een hogere betrouwbaarheid verkregen. Voor een dergelijke tijdsanalyse blijft het noodzakelijk om de tijdstippen van het maaien te weten om veranderingen in bedekkingsgraden tijdens het groeiseizoen goed te duiden (voorstel voor vervolgonderzoek).

**NB – bij waterschap WDOD worden satellietbeelden nu ingezet voor de schouw: de zogenaamde 'digi-schouw'. Omdat in de winterperiode de hergroei van vegetatie niet optreedt is het eenvoudiger in dit jaargetijde satellietbeelden succesvol in te zetten, zeker als vooral wordt uitgegaan van een verschil tussen 'groen' en 'water', zonder ook een klasse voor ondergedoken vegetatie te onderscheiden. Voor het maaien in het groeiseizoen moet meer rekening worden gehouden met beschaduwing en hergroei van (ondergedoken) vegetatie. Een koppeling met radar-data (SAR data Sentinel1) kan mogelijk helpen emergente vegetatie te scheiden van water op basis van veranderingen in hoogte, al moet ook hier met de resolutie van 1*1 m rekening worden gehouden. Deze techniek is in dit onderzoek nog niet toegepast.*

2 Hoe verhouden de openbare en commerciële satellietbeelden zich met elkaar in termen van kosten, verwerkingstechnieken en beschikbaarheid?

De kosten voor het beschikbaar krijgen van commerciële satellietbeelden zijn relatief hoog in vergelijking met het daadwerkelijk uitvoeren van een maaironde, als de beelden niet ook voor andere doeleinden door het waterschap of derden kan worden ingezet (bijv. door de provincie, voor landgebruik/bodemvocht analyses en andere zaken). Omdat satellietbeelden niet gegarandeerd ad-hoc kunnen worden ingezet tijdens het maaiseizoen als gevolg van kans op bewolking is de snelle inzet van deze beelden binnen het groeiseizoen beperkt. Voor het vaststellen van het maaibestek kunnen tijdserie-analyses van gratis beschikbare satellietbeelden wel een aanvulling zijn.

3 Hoe goed kan de informatie worden gekoppeld aan hydraulische gegevens van enkele pilot-watergangen?

De koppeling van satellietbeelden met hydraulische data is niet eenvoudig en eenduidig betrouwbaar en nauwkeurig. Het is tot nu toe niet gelukt een goede kwantitatieve validatie van deze koppeling te met velddata te maken die deze relatie goed in beeld brengt. Dit heeft meerdere oorzaken:

- 1 Om te weten of vegetatie lokaal de watergang blokkeert en voor lokale peilverhogingen zorgt, moeten ook lokale peilmetingen worden gedaan. In de proef van 2018 is wel een groot traject ingemeten voor verloop van peilen, maar berekeningen konden deze metingen niet nauwkeurig reproduceren. In de proef van 2019 zijn de drukmeters die deze veranderingen binnen een traject moesten vastleggen verloren gegaan.
- 2 Een kwantitatieve vertaling van een oppervlaktebedekking naar een verticale bedekking over de hele waterkolom is niet goed te maken. Als we aannemen dan emergente en goed zichtbare vegetatie de volledige waterkolom inneemt, blijft er een onnauwkeurigheid in de analyse met betrekking tot de rol van ondergedoken vegetatie, zeker als deze flexibel is en bij hoge afvoeren sterk wordt samengedrukt.
- 3 Als alternatief kan een algemene bedekkingsgraad over het hele pand gekoppeld worden aan opgetreden peilen/ruwheden. Hiervoor zijn veel metingen nodig van de bedekkingsgraad over het jaar heen. De opzet van de huidige proeven (gelimiteerd tot één of een beperkt aantal momenten in de tijd) is hiervoor niet geschikt.

4 Welke van de gebruikte platformen (drone, vliegtuig, satelliet) is in de praktijk het makkelijkst inzetbaar voor het primaire proces?

De inzet van vlakdekkende beelden is afhankelijk van het beoogde doel; Voor een snelle visuele inspectie tijdens het groeiseizoen zijn drones goed inzetbaar voor een gegeven kleiner traject. Het vliegtuig kan grotere gebieden invliegen maar heeft een doorlooptijd van minimaal een 1 week. Satellietbeelden zijn door hun geringe resolutie en timingsproblemen in het groeiseizoen in smalle watergangen minder goed inzetbaar. Wel geven deze informatie over langjarige patronen op grofstoffelijkere schaal die te kostbaar zijn om met een drone of vliegtuig in te vliegen.

5.2 Aanbevelingen voor 2020

5.2.1 Koppeling met inbedding

In 2019 is in een aparte opdracht een eerste stap gemaakt om inzicht te krijgen in de mogelijkheden tot inbedding van het gebruik van vlakdekkende opnames. Hieruit blijkt dat er zowel voor de satellietbeeld-analyses voor een groot gebied interesse is voor tijdserie-analyse om hotspots te identificeren en het maaibestek aan te scherpen. Daarnaast werd door beheerders aangegeven dat de drones voor visuele inspectie interessant zouden zijn om verder ervaring mee op te doen.

5.2.2 Aanvullende proefnames

Een manier om verdere ervaring op te doen, is om dit te doen gekoppeld aan een gerichte veldproef, waarbij ofwel stroombaanmaaien of dottermaaien als strategie ook wordt onderzocht voor hydraulische analyse en impact op ecologisch functioneren, vergelijkbaar met de stroombaanproef in 2019.

5.2.3 Verdere hydraulische analyses voor meerdere systemen

De individuele gecontroleerde veldproeven geven zeer waardevolle informatie voor de validatie van berekeningen en hydraulische analyse. Het doorvertalen naar een generiek voorspellingmodel voor een groter aantal systemen op basis van bestaande informatie zou daarin een volgende stap zijn, die binnen dit kader gedaan wordt.

5.2.4 Tijdserie-analyse voor hotspots

De weersafhankelijkheid van satellietbeelden is een belangrijke beperking wanneer een specifieke gebeurtenis op tijd moet worden vastgelegd. De grote hoeveelheid aardobservatiegegevens vormt echter een rijke informatiebron. Gratis beschikbare gearchiveerde satellietbeelden kunnen worden benut om tijdreeksanalyses uit te voeren.

Er kunnen tijdserie-analyses worden gedaan door het verzamelen van tijdreeksen van satellietbeelden voor een gegeven watersysteem zoals het kanaal van Deurne. Een tijdserie-analyse brengt de groei van watervegetatie in de loop van de tijd in kaart, waarbij we rekening houden met zowel de tijdsdimensie en de ruimtelijke verdeling van de aquatische vegetatie die in de gegevens aanwezig is.

We stellen een aanpak voor die kan omgaan met onregelmatig bemonsterde tijdreeksen. Dynamic Time Warping (DTW) is één van de algoritmen voor het meten van de overeenkomst tussen twee temporele sequenties, die in snelheid kunnen variëren. Elke pixel zal een tijdreeks zijn; daarom wordt de tijdreeks opgebouwd door de informatie van een pixel in de tijd samen te voegen.

Met de voorgestelde aanpak waarin we object-gebaseerde clustering van tijdreeksen van satellietbeelden uitvoeren, kunnen we meer inzicht krijgen in het gedrag van aquatische vegetatie, binnen het groeiseizoen om zo "hotspots" te identificeren en verandering van vegetatietypes en jaarlijkse trends. Hierbij is het wel belangrijk om accurate informatie te hebben over maaimomenten in een beschouwd systeem.

6 Referenties

- Aa en Maas (2019) Gebruik van nieuwe vlakdekkende beeldinformatie ten behoeve van het maaibeheer in de dagelijkse praktijk. Waterschap Aa en Maas rapport kenmerk 877714.
- Berends, K.D., Fraaije, R., Gaytan Aguilar, S., Verdonschot, R., Penning, E. (2019) Efficient vegetation management through remote sensing in small streams, in: Stouthamer, E., Middelkoop, H., Van der Perk, M., Straatsma, M. (2019), Land of Rivers: NCR DAYS 2019 Proceedings, NCR publication 43-2019
- Berends, K. Penning E, Schoelynck J, Reitsema R. 2020-in prep. Rapportage stroombaanmaaien-veldproef Eefse Beek 2019. OBN-rapport aangepast beheer en kleinschalige maatregelen onderdeel stroombaanmaaien.
- Linneman R (2017) Risico-gestuurd Maaibeheer. Toetsing van maaistrategieën in beken met het Dottermodel. BSc Thesis Universiteit Twente
- Penning, E., Noorlandt, R., Berends, K.D., Fraaije, R. van den Eertwegh, G., 2018, Nieuwe overwegingen voor maaibeheer met vlakdekkende informatie over vegetatie. H2O Online. URL: https://www.h2owaternetwerk.nl/images/H2O-Online_180507_Dotter2.pdf
- Penning, E. Berends, K, Noorlandt, R, Van den Eertwegh, G. 2018. Richting een bepaling van vegetatiegroeisnelheden voor ruwheidsvoorspellingen. Deltares-rapport 11200712-000.

Bijlage A - Analyse stroombaanmaaienproef Eefse Beek

-apart bijgevoegd-

Bijlage B - Inbedding vlakdekkende beeldverwerking voor maaibeheer Aa en Maas

-apart bijgevoegd-

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl