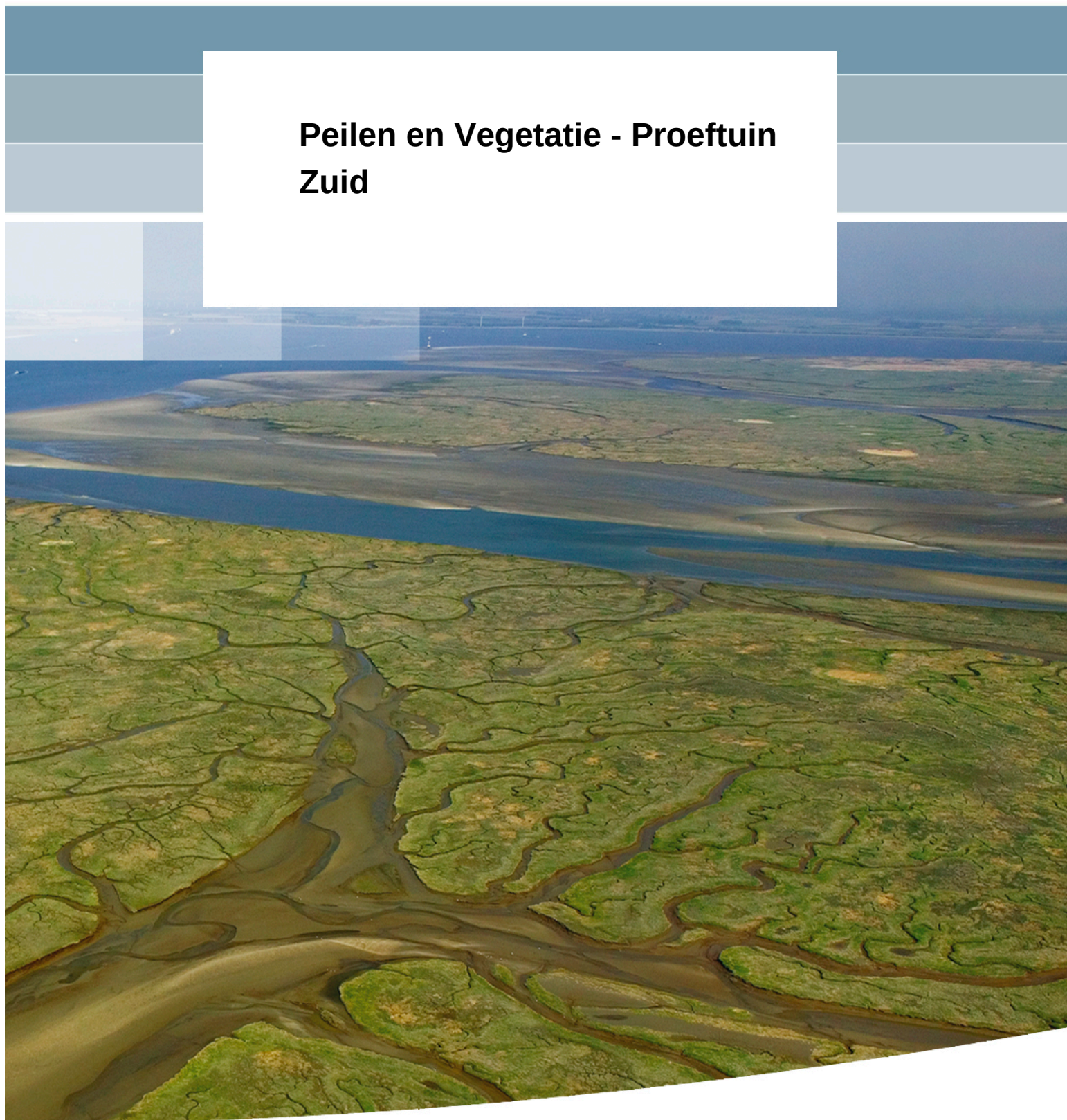


**Peilen en Vegetatie - Proeftuin
Zuid**



Peilen en Vegetatie - Proeftuin Zuid

W.E. Penning
K. Berends
R. Noorlandt

1220765-012

Titel

Peilen en Vegetatie - Proeftuin Zuid

Opdrachtgever

Waterschap Aa en Maas

Project

1220765-012

Kenmerk

1220765-012-BGS-0001

Pagina's

23

Trefwoorden

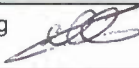
Vegetatiebeheer, stroombaanmaaaien, afvoer, Building with Nature, beken

Samenvatting

Dit rapport geeft een overzicht van de activiteiten uitgevoerd voor het project Lumbricus – onderdeel Boeiende Beekdalen - Peilen en Vegetatie Proeftuin Zuid in 2017. In deze rapportage geeft een overzicht van de gedane metingen, en de eerste analyses hiervan.

Dit project is mede mogelijk gemaakt door het kennisprogramma Lumbricus, een consortium bestaande uit STOWA, Deltares, KnowH2O, KWR Watercycle Research Institute, FutureWater, Radboud Universiteit, Louis Bolk Instituut, Universiteit Twente, Wageningen University and Research en de waterschappen Limburg, Aa en Maas en Vechtstromen. Additionele financiering vanuit I&W (KIBO-subsidie) heeft bijgedragen aan de realisatie van dit project.

Assistentie bij de veldproef van 2017 is verleend door Ralf Verdonschot (Wageningen Environmental Research), Rob Fraaije, Johnny van Keulen, Daan Klaassen, Rene Louwers (waterschap Aa en Maas), Edvard Alrichs (Deltares) en Gijs van Schaik en Martijn de Lange (Wageningen Universiteit). Dronebeelden zijn geleverd door Euro Drone Inspections.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	apr. 2017	W.E. Penning		J.T. Dijkstra		M. Kuijper	
		K. Berends					
		R. Noorlandt					

Status

definitief

Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Pijler Peilen en Vegetatie binnen Lumbricus – Boeiende Beekdalen	1
1.2	Doel	2
1.3	Leeswijzer	2
2	Werkwijze	3
2.1	Veldmetingen	3
2.1.1	Traject	3
2.2	Opzet veldproef	4
2.2.1	Camera opnames	5
2.2.2	Hydraulische metingen	5
2.2.3	Vegetatiemetingen	5
2.3	Koppeling met voorspellende tools en het MaaiBOS	5
3	Resultaten	7
3.1	Camerabeelden	7
3.1.1	Resultaten RGB camera	7
3.1.2	Resultaten MicaSense	8
3.1.3	Resultaten Cubert	11
3.2	Vegetatiemetingen	13
3.3	Hydraulische metingen	14
3.3.1	Waterstanden	15
3.3.2	Debiet	16
3.3.3	Aanwezige vegetatie	16
3.4	Ruwheidsbepaling met SOBEK	17
4	Veldproef in relatie tot afvoer door het hele jaar	19
4.1	Conclusies hydraulische analyse	21
5	Referenties	23

1 Introductie

1.1 Pijler Peilen en Vegetatie binnen Lumbricus – Boeiende Beekdalen

Bouwen met de natuur betekent meer ruimte laten voor natuurlijke processen, en dus ook voor de groei van vegetatie in en langs beken. Vegetatie heeft een belangrijke ecologische waarde (als onderdeel van de biodiversiteit, habitat voor fauna, sponswerking etc.), maar levert ook weerstand voor het water dat er door- of overheen stroomt. Bij hoge afvoeren kan dit ongewenst hoge waterstanden opleveren met wateroverlast tot gevolg.

Afvoercharacteristieken in beken worden seizoensmatig beïnvloed door de aanwezigheid van vegetatie. Naarmate het groeiseizoen vordert neemt de hoeveelheid vegetatiebiomassa en daarmee de weerstand in de beek toe. Maaien is dan ook vaak nodig om de vegetatieweerstand onder controle te houden.

Momenteel gebruiken veel waterschappen het maaiBOS (Beslis en Ondersteunend Systeem voor maai-beheer) om grip te krijgen op de relatie tussen afvoer, waterpeilen en vegetatieontwikkeling. Hierbij wordt een relatie opgesteld tussen afvoer en waterpeilen op een gegeven beektraject. Wanneer deze relatie scheef loopt en boven een kritische waarde komt, wordt ingegrepen.

Daarnaast ontwikkelt vegetatie in stromende wateren en op de aangrenzende oevers zich ook in een meerjarige dynamiek. Hierbij ontstaat een gevarieerd patroon van verschillende soorten vegetatie, die elk hun eigen impact hebben op de afvoer- en morfodynamiek van de beek.

Via maai-beheer kan ook worden ingegrepen op deze langjarige ontwikkeling. Zo is in de Lage Raam bijvoorbeeld in de afgelopen jaren een extensivering van het maai-beheer aan de orde. Hierdoor zijn grote plagen liesgras ontstaan die vanaf de oever de beek in groeien. Onder het liesgras stroomt soms nog water, wat onderhoud lastig en risicovol maakt (afslaan van plagen, onduidelijke oever). Naar aanleiding van de grote wateroverlast in 2016 is een deel van deze plagen weggebaggerd.

Binnen het Kennisprogramma Lumbricus, onderdeel Boeiende Beekdalen, wordt in de pijler 'Peilen en Vegetatie' onderzocht hoe zowel de seizoensmatige als meerjarige verandering van vegetatie gekoppeld is 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 beeksysteem (koppeling met ontwikkelpaden). Gekoppeld aan discussie met perceelegeenaren
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

1.2 Doel

Het doel van de werkzaamheden binnen proeftuin Zuid binnen het Lumbricus project (in 2017) is om een start te maken met het kwantificeren van de seizoensmatige ontwikkelingen van vegetatie in beken in relatie tot hun afvoercapaciteit en ecologische waarden.

Deze kwantificering is uitgevoerd door middel van een veldproef en de analyse van hydraulische gegevens van een geselecteerd traject in de Lage Raam.

De resultaten staan in het licht van de langjarige ontwikkelingen binnen Lumbricus, waarbij het overkoepelende einddoel is om een verbeterd inzicht te in de relatie tussen peilen en vegetatie, en de daarbij behorende tools om hier op een makkelijkere wijze in het beheer mee om te kunnen gaan.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze beschreven. In hoofdstuk 3 de resultaten en in hoofdstuk 4 de discussie van deze resultaten in licht van de ontwikkelingen in relatie tot de afvoer voor het hele jaar.

2 Werkwijze

De werkzaamheden in 2017 bestonden uit:

- Veldbezoek 11 mei – bepalen proeflocatie en bespreken opties;
- Velbezoek september – eerste metingen ADCP en scan huidige situatie;
- Veldproef 9 oktober 2017 – met alle deelnemende partners uit het Lumbricus consortium.

Daarnaast is er gewerkt aan de eerste ontwikkeling rond tools voor kwantificering (i.s.m. ook met stroombaanmaaien-werkgroep, WS Rijn en IJssel). De inbreng van dit deel is gerapporteerd in Penning et al (2018).

2.1 Veldmetingen

2.1.1 Traject

De Lage Raam is een langzaam stromende laaglandbeek die is opgedeeld in verschillende stuwpanden. De afvoer gedurende het jaar varieert tussen de 0 en circa 3 m³/s. Per stuwpand is een MaaiBOS beschikbaar. Voor het traject van de IJzerbroekse stuw tot HOL zijn realtime gegevens beschikbaar van het waterpeil en de afvoer gekoppeld aan het MaaiBOS. Voor de veldproef is op het traject direct benedenstrooms van de stuw bij de IJzerbroekseweg (stuw IJzerbroek; '108IJZ') een traject van 400 meter afgebakend. De loop is hier ongeveer 20 m breed en gemiddeld 1 meter diep. Dit stuk wordt al voor meerdere jaren gedomineerd door een snelgroeiende sterrekroos vegetatie en wordt gemiddeld 3x per jaar door het waterschap gemaaid vanaf het onderhoudspad aan de westelijke zijde van het traject.



Figuur 2.1 Maai-intensiteit in de Lage raam, het zwarte stuk bij St. Hubert is het beschouwde proeftraject, waarin 3 keer per jaar gemaaid wordt.

2.2 Opzet veldproef

Het traject is gedurende het jaar diverse keren bezocht om een goede inschatting te maken van de situatie. Op 11 mei is een eerste veldbezoek geweest om de proefopzet te bespreken. Daarna is half september een eerste ADCP meting uitgevoerd tijdens lage afvoer om ervaring te krijgen met het doen van ADCP metingen op het traject. De uiteindelijke proef is uitgevoerd op 9 oktober met een gemiddelde afvoer (170 l/s). Hierbij zijn de volgende aspecten bemeaten:

- Er zijn op drie dwarsdoorsneden ADCP metingen gemaakt. Direct bovenstrooms en benedenstrooms van het traject is een dwarsbaan vrijgemaakt voor metingen met de StreamLine Pro ADCP van het Waterschap Aa en Maas en zijn nauwkeurige inmetingen gemaakt van het waterpeil en bodemhoogte.
- Met behulp van dGPS is het peilverloop over het traject zo nauwkeurig mogelijk in kaart gebracht.
- Een vlakdekkende inmeting van de totale vegetatie over het stuwpand is uitgevoerd middels een drone-vlucht, met 3 verschillende camera's (een 'standaard' RGB camera, een MicaSense multispectrale camera en de Cubert Firefly full spectrum camera).
- Via gerichte monsternames zijn representatieve parameters van verschillende soorten dominante vegetaties gekwantificeerd conform de werkwijze in 2016 (van den Eertwegh et al 2016).
- De vegetatie is weggemaaid over het gehele traject met behulp van een korfmaaier vanaf het onderhoudspad.

- Na deze maai-activiteit wordt wederom de hydraulica gemeten op de aangegeven boven- en benedenstroomse locaties en met de drone een nieuwe vlakdekkende vlucht gemaakt.

2.2.1 Camera opnames

Vanaf een UAV zijn drie verschillende camera's over het traject gevlogen (Tabel 2.1). De camera opnames met de drie verschillende camera's zijn verwerkt tot NDVI beelden en aanvullende indices, conform de werkwijze in 2016 (Van den Eertwegh & Penning 2017).

Tabel 2.1 Eigenschappen van gebruikte camera's.

	Sony A7 	Cubert S 185 	MicaSense RedEdge 
Golf lengtes	3 (Blue Green Red)	125 (450–950nm) & B/W	5 475,560,668,717,840nm
Pixels	7360x4912	50x50 & 1000x1000	1280x960
Lens	Enkele lens	Enkele lens	5 Lenzen
Voordelen	Hoge pixel resolutie	Hoge spectrale resolutie	Goede resolution en multiband informatie
Nadelen	Alleen RGB, geen InfraRood informatie	Lage pixel resolutie	5 lenzen zorgen voor parallax problemen

2.2.2 Hydraulische metingen

De hydraulische metingen zijn uitgevoerd met een Streamline Pro conform de metingen in 2016. Tevens is data van de peilmetingen aan de stuw gebruikt en zijn handmatig met een dGPS langs het traject xyz punten ingemeten.

2.2.3 Vegetatiemetingen

De vegetatiemetingen zijn uitgevoerd conform de aanpak in 2016.

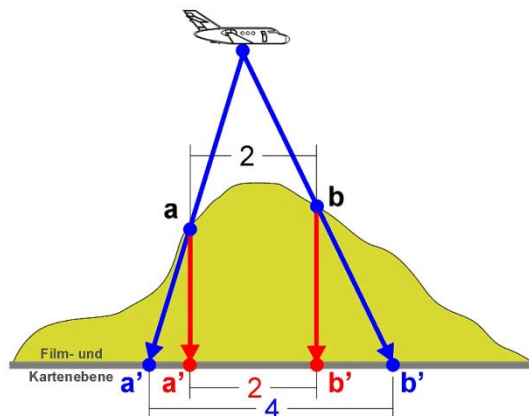
2.3 Koppeling met voorspellende tools en het MaaiBOS

De koppeling met voorspellende tools is beschreven in Penning et al. (2018).

3 Resultaten

3.1 Camerabeelden

Zoals in de luchtfotografie gebruikelijk is, is geen van de camera's in staat om het gehele proeftraject met voldoende resolutie te fotograferen. Daarom worden er meerdere foto's gemaakt die met behulp van speciale software samengevoegd worden tot een orthofoto van het hele traject. Of en hoe goed een orthofoto gemaakt kan worden is afhankelijk van een aantal factoren. De foto's moeten gecorrigeerd worden voor distorsie veroorzaakt door de gebruikte camera/lens combinatie, er moet bepaald worden welke pixels van de verschillende foto's bij elkaar horen, er moet een 3D model van de ondergrond gemaakt worden zodat gecorrigeerd kan worden voor perspectief en de pixels voorzien kunnen worden van coördinaten. Figuur 3.1 laat een uitleg zien waarom een 3D model van de ondergrond nodig is voordat een goede orthofoto gemaakt kan worden.



Figuur 3.1 Door topografie noodzakelijke perspectief correctie. Afstand tussen a-b is 2, maar lijkt zonder correctie 4 te zijn op de foto. Hierdoor passen, zonder correctie, buur foto's ook niet (goed) op elkaar. (<https://de.wikipedia.org/wiki/Orthofoto>)

Hoewel het hoogte verschil in het proeftraject gering is (1~2 meter tussen wateroppervlak en hoogste vegetatie op de oever) bleek met de beperkte vlieghoogte en gebruikte camera's dit effect niet verwaarloosbaar. Om verschillende redenen, hieronder in meer detail toegelicht, konden alleen de MicaSense foto's verwerkt worden tot een orthofoto. Een van de algemene oorzaken waarom het verwerken lastig gaat, is omdat de software er noodzakelijkerwijs vanuit gaat dat tussen de verschillende foto's enkel de camera beweegt en niet de ondergrond. Echter vliegen wij hier over stromend water en bewegende vegetatie, waardoor deze aanname enkel geldt voor een heel beperkt aantal pixels per foto.

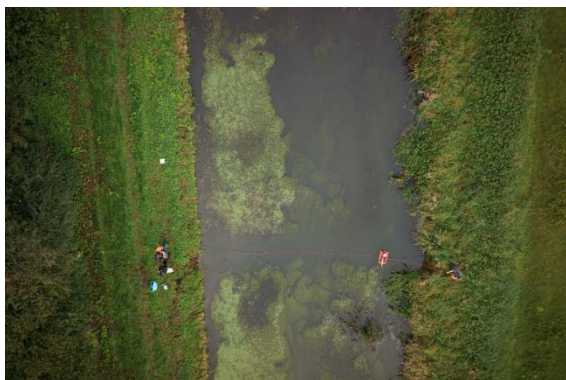
Afhankelijk van het type camera kunnen de foto's (enkel of als gestitchtete orthofoto) op verschillende manieren geanalyseerd worden, wat hieronder in meer detail per camera beschreven is.

3.1.1 Resultaten RGB camera

De door ons gebruikte RGB camera voegt geen GPS coördinaten aan de foto's toe, en ook zijn niet alle foto's helemaal scherp (hoewel de sluitertijden van de RGB camera 1/800^{ste} was) waardoor het lastig is om ijkpunten binnen de foto's te vinden die goed op elkaar kunnen worden gelegd. Ook was de RGB camera niet volledig 90 graden verticaal gepositioneerd onder de drone, waardoor een kleine vervorming in het beeld optrad.

Hierdoor is het maken van een orthofoto niet gelukt omdat voor het hele traject de totale vervorming te groot was.

Wel zijn de beelden bruikbaar als hoge resolutie vergelijkingsmateriaal voor de twee andere camera's. Onderstaande foto is als een referentie gebruikt voor analyses met de MicaSense en de Cubert camera.

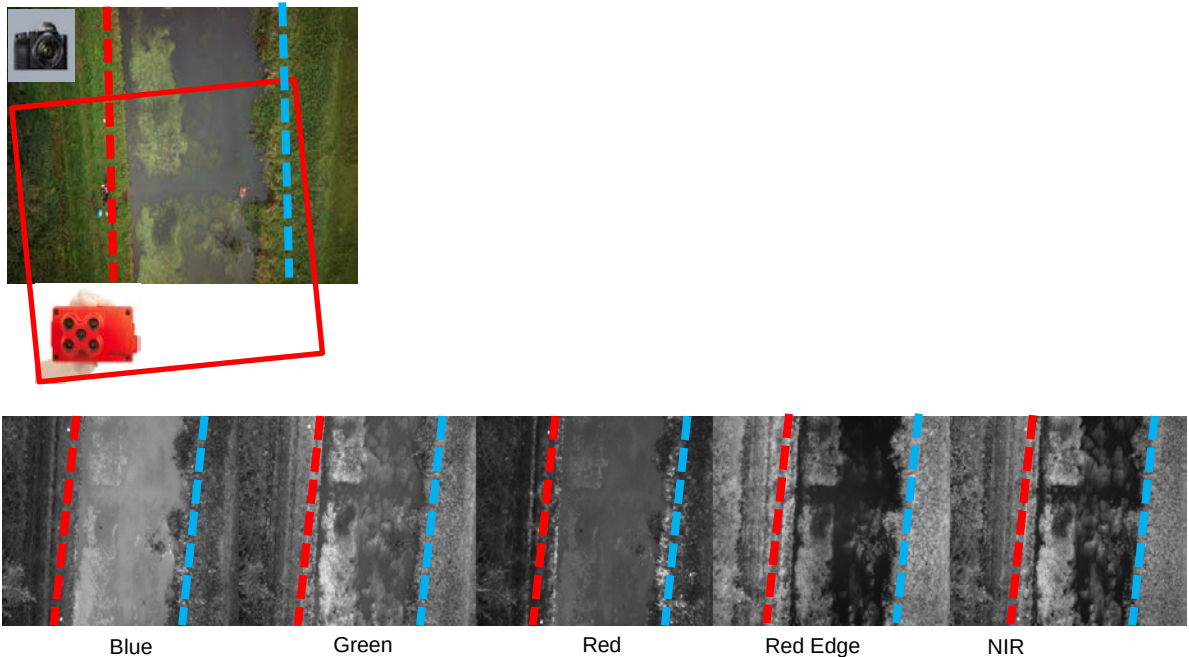


Figuur 3.2 Referentiefoto met de RGB camera, waarop de ADCP trajectmeting zichtbaar is.

Naast de software om de foto's naar een orthofoto om te zetten ('Pix4D') is er ook een poging gedaan om de perspectief correctie van de camera te corrigeren met foto editing software (affinity photo / designer) en de foto's vervolgens met panorama software aan elkaar te stitchen ('affinity photo', 'Hugin', 'PTgui', 'Microsoft image composite editor', 'autopano'). Het nadeel van deze aanpak is dat de meeste panorama software verwacht dat de camera draait in plaats van verplaatst. Hoewel Microsoft image composite editor een optie heeft om aan te geven dat de camera verplaatst is, leverde dat niet het gewenste resultaat. Het programma blijkt moeite te hebben met de weinige 'harde' referentiepunten in de foto's waarop vooral vegetatie en water staan. Met Hugin en PTgui is het in principe ook mogelijk, maar vergt dit heel veel handwerk. Uiteindelijk gaf Affinity photo nog het beste en snelste resultaat.

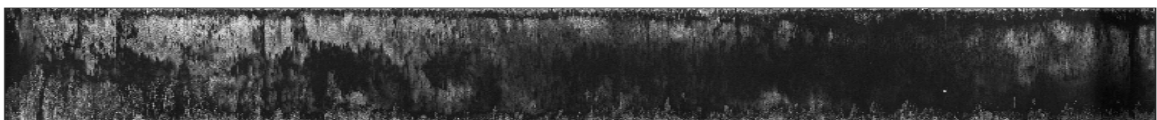
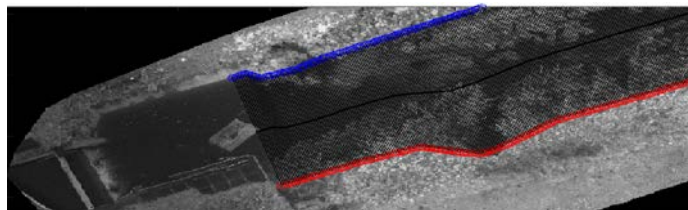
3.1.2 Resultaten MicaSense

De Mica Sense RedEdge camera geeft voor vijf banden een beeld (Figuur 3.3), waarbij het duidelijk is dat de blauwe en rode band (die ook beschikbaar is in de RGB camera) duidelijk minder informatief zijn dan de groene, red-edge en near infrarood (NIR) banden. Van deze banden geeft de NIR het beste beeld van de aanwezige vegetatie onder water (Figuur 3.3).

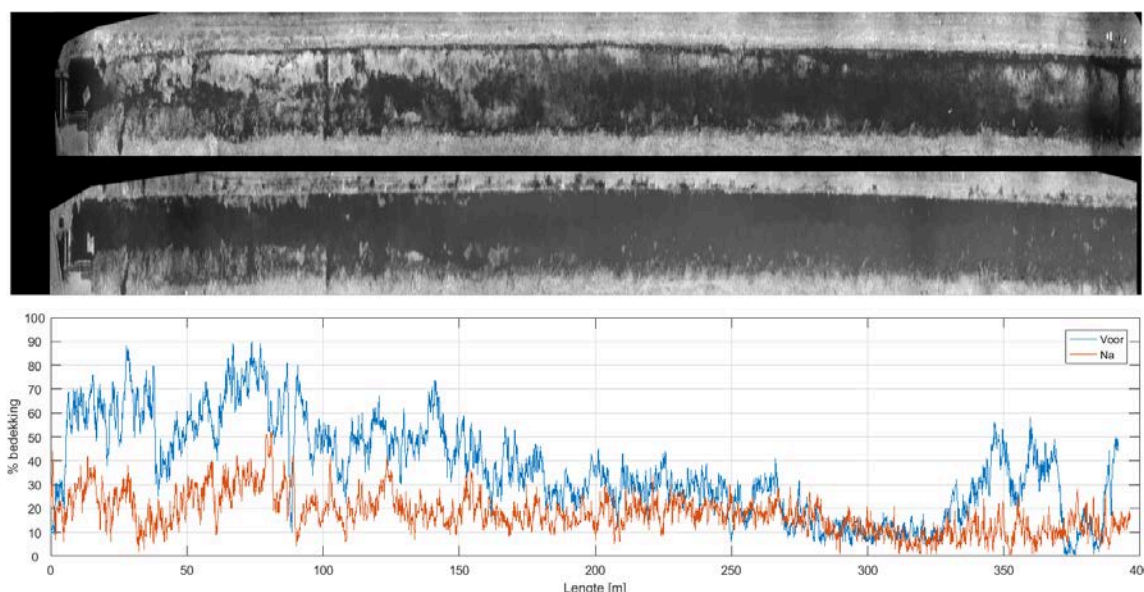


Figuur 3.3 Overzicht van de foto's van de MicaSense per band voor de referentielocatie, waarvoor ook een RGB beeld beschikbaar is.

Elk van de banden van de MicaSense RedEdge konden omgezet worden tot een georeferencierte orthofoto. Wel bleken de grondreferentie punten niet optimaal gekozen, aangezien de hiervoor gebruikte tegels allen in de lengte van het traject lagen. Hierdoor kan de software wel goed corrigeren in de lengte van het traject, maar niet in de breedte. Uiteindelijk is er met behulp van Google Earth een extra referentiepunt toegevoegd ter hoogte van de vistrap. Een volgende keer moeten referentiepunten aan beide kanten van de beek aangebracht worden. Nadat ook een oeverlijn bepaald is (Figuur 3.4), kon voor het hele traject binnen deze oeverlijn berekend worden wat het bedekkingspercentage met vegetatie is, zowel voor als na het maaien (Figuur 3.5).

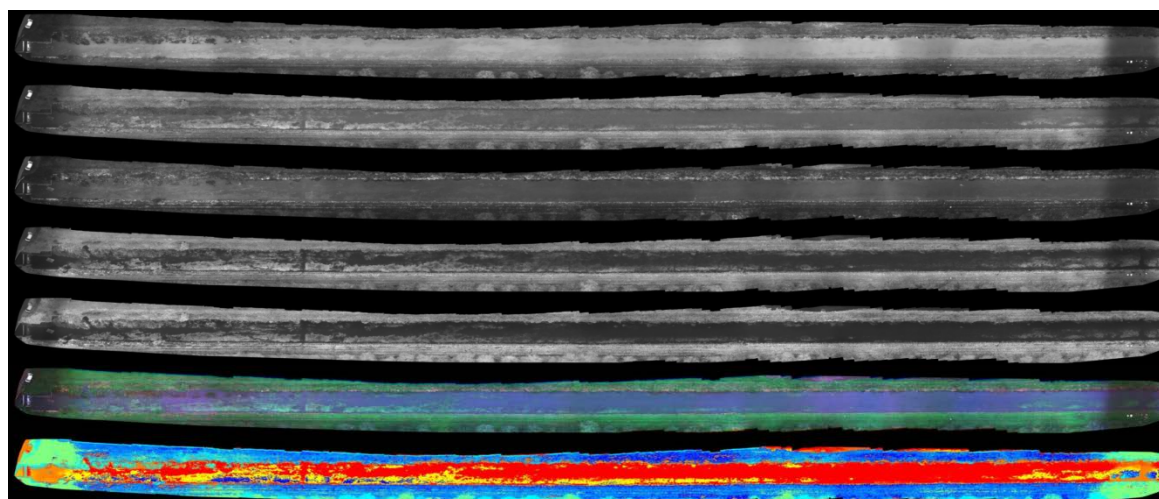


Figuur 3.4 Gestitched beeld van de vegetatie tussen de oeverlijnen voor het hele traject.



Figuur 3.5 Gestitched MicaSense beelden voor en na het maaien, en het berekende bedekkingspercentage van de vegetatie in de beek langs het gehele proeftraject.

Daarnaast is gekeken in hoeverre de MicaSense beelden een classificatie konden opleveren van verschillende vegetatiedichtheden op basis van clustering van de beelden. Het bleek mogelijk om 7 verschillende klassen te onderscheiden van verschillende dichtheden (waarbij blauw de oevervegetatie weergeeft, en rood het water zonder vegetatie, daartussen enkele andere dichtheidsklassen (Figuur 3.6). NB De kleuren in deze classificatie zijn arbitrair gekozen, waardoor het water rood is, en de dichte vegetatie blauw.



Figuur 3.6 Overzicht van de vijf individuele banden (van boven naar beneden Blauw, Groen, Rood, Red Edge, NIR,) en een samengesteld RGB-beeld uit de RGB banden en een classificatie in 7 klassen op basis van deze informatie.

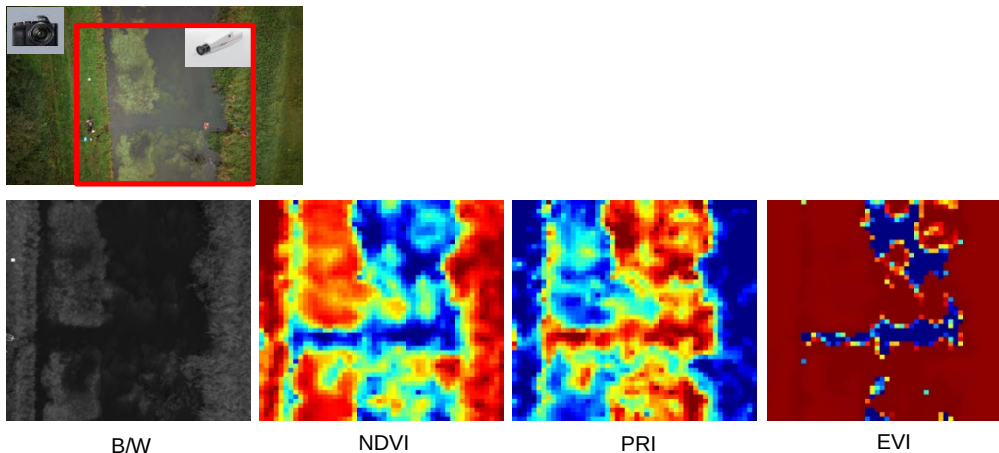
Discussie resultaten MicaSense

De MicaSense is voor het inschatten van vegetatiebedekkingen een goede kant-en-klaar-oplossing, want deze camera geeft de foto's een GPS locatie mee waardoor stitching wordt vergemakkelijkt. Ook wordt het inkomende licht bij de MicaSense continue gemonitord en wordt elk beeld daarvoor gecorrigeerd.

Het Pix4D stitching software pakket heeft daarnaast een hele module specifiek voor MicaSense beelden, wat het inladen en verwerken van de beelden vergemakkelijkt. Wel moet er rekening worden gehouden met het parallax probleem (het feit dat de vijf lenzen niet precies hetzelfde zien), maar dit is overkomelijk. De resolutie blijkt door de gekozen vlieghoogte van ongeveer 20 m. voldoende om individuele vegetatieclusters te onderscheiden

3.1.3 Resultaten Cubert

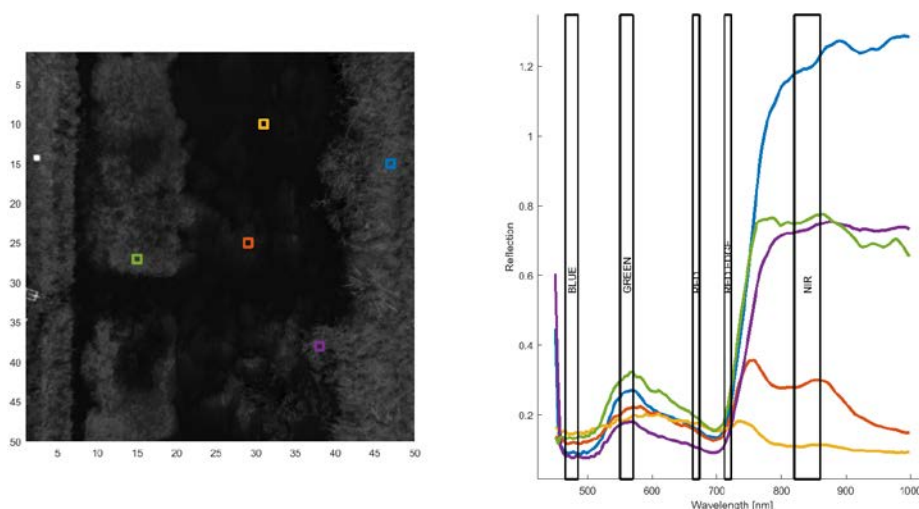
De Cubert camera heeft een lagere pixel resolutie dan de andere twee camera's, maar beschikt over veel meer spectrale banden (138). Dit maakt het mogelijk om ook heel veel andere indices uit te rekenen, waardoor typen vegetatie en eigenschappen als onbegroeid water of harde oppervlakken veel beter kunnen worden onderscheiden. De resolutie van een enkel kleurenbeeld (50X50 pixels) is overigens vanaf de drone hoogte die gebruikt is (20 m) nog voldoende om de gemaaide baan in de referentiefoto goed te onderscheiden (Figuur 3.7). Resolutie vanaf deze hoogte is dus ongeveer 20*20 cm per pixel.



Figuur 3.7 Cubert foto en bewerkingen van de spectrale beelden voor de referentielocatie volgens 3 verschillende indices (zie Mitchell et al 2015 voor uitleg indices).

Discussie resultaten Cubert

De Cubert banden geven een grote hoeveelheid waardevolle informatie. Figuur 3.8 laat zien dat voor individuele pixels de reflectiespectra per golflengte tot een karakteristieke lijn kunnen worden geplot. Dit maakt classificatie nauwkeuriger dan de classificatie van de MicaSense banden.



Figuur 3.8 Selectie van pixels in het Cubert beeld en de reflectie over het totale spectrum per beeld. Tevens zijn de banden van de MicaSense in de rechter figuur geplot.

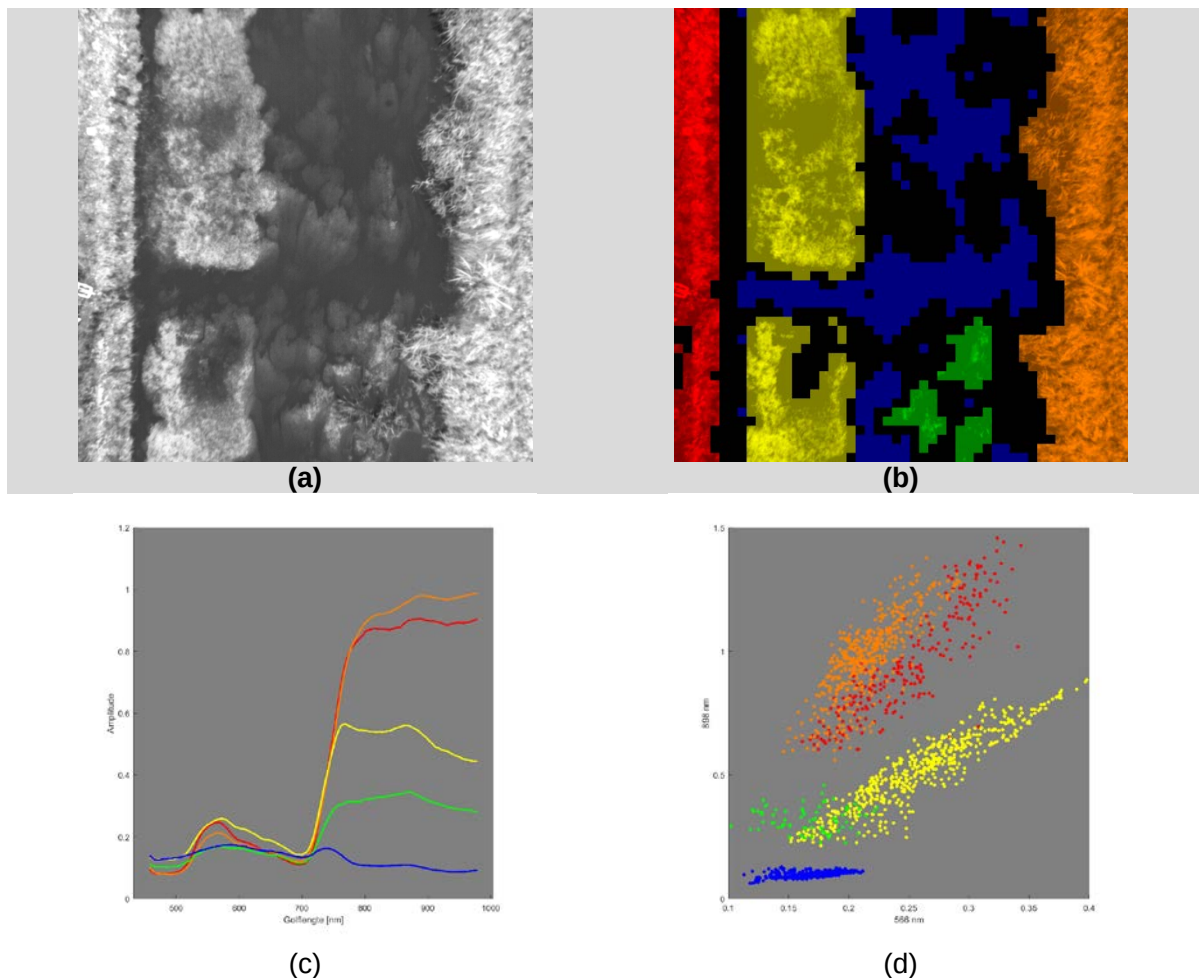
Het gebruik van de Cubert camera heeft nog wel enkele moeilijkheden, waardoor deze niet als de meest geschikte camera wordt aangemerkt voor snelle surveys van vegetatiebedekkingen:

- De sluitertijd van de Cubert camera bleek niet als een constante te zijn ingesteld. Het effect daarvan is dat elke foto moet worden gecorrigeerd voor inkomend licht. Als gevolg daarvan is de reflectance waarde per foto niet gelijk (dus is de NDVI berekening als een maat voor de vegetatie dichtheid niet van beeld tot beeld te vergelijken. Dat wil zeggen: een 0.5 in het ene plaatje kan een 0.6 in het andere plaatje zijn, als gevolg van sluitertijd ipv daadwerkelijk aanwezige vegetatie.) Dit kan in de toekomst voorkomen worden door de sluitertijd als constant in te stellen.
- De snelheid waarop de Cubert foto's zijn gemaakt is erg laag t.o.v. vliegsnelheid (mede door de automatische belichtingsstand). Hierdoor is de overlap tussen de foto's niet heel groot en soms ontbreekt deze zelfs. Hierdoor was het onmogelijk een othofoto of gestitched beeld te maken en omdat niet alle beelden grond referentiepunten bevatten, kunnen de foto's niet worden gegeorefereerd.
- Ook bleek dat de Cubert te laag is ingevlogen, waardoor soms de oevers van de beek missen.

Veel van bovenstaande punten zijn met kleine aanpassingen een volgende keer wel op te lossen, waarbij een GPS wordt gekoppeld met de Cubert, de instellingen van de camera worden veranderd tot een vaste sluitertijd en de vliegkarakteristieken van de drone beter worden afgestemd op de foto-snelheid en reikwijdte van de Cubert (langzamer en iets hoger vliegen).

De Cubert beelden zijn dus vooral geschikt om verder te kijken naar de mogelijkheden van andere golflengten dan de MicaSense. Een voorbeeld is gegeven in Figuur 3.9. In dit figuur zijn verschillende gebieden binnen een foto geselecteerd en de spectra hiervan geplot. De oever bevat met name gras op het onderhoudspad (rood) en ruigere vegetatie aan de ongemaaide oever (oranje). Het gele gebied bevat vooral dichte begroeiing van sterrekroos, terwijl het groene gebied vooral uit ondergedoken sterrekroosvegetatie bestaat. De blauwe pixels horen bij vooral water zonder zichtbare vegetatie.

Uit Figuur 3.9 (c) is duidelijk op te maken dat het verschil tussen de gebieden sterk per golflengte verschilt. Voor sommige golflengtes (rond 700 nm) verschillen de gebieden nauwelijks van elkaar, terwijl voor andere (800 nm en hoger) de gebieden sterk verschillen. Figuur 3.9 laat zien dat door het vergelijken van de reflectie op 566 nm en 898 nm er een duidelijke driedeling is tussen water (blauw), watervegetatie (geel/groen) en oevervegetatie (rood/oranje). Binnen de oevervegetatie en watervegetatie clusters is ook een onderverdeling te zien. Dit kan mogelijk gebruikt worden om de beelden automatisch te clusteren in soorten en uitspraken te doen over de relatieve/soortafhankelijke bedekking.



Figuur 3.9 Voorbeeld van de mogelijkheden van de Cubert om verschillende vegetatie te classificeren. (a) zwart-wit beeld (1000x1000 pixel), (b) selectie van verschillende klassen (50x50 pixels), (c) mediaan spectra van de verschillende groepen en (d) pixelwaarden van 898 nm versus 566 nm.

3.2 Vegetatiemetingen

De vegetatiemetingen zijn weergegeven in Tabel 3.1 en laten zien dat er ook tussen de verschillende monsters per soort nog veel variatie zit, zowel in de biomassa's als de verhouding in drooggewicht-natgewicht. Dit is in lijn met de meetgegevens uit 2016. Daarnaast zijn ook de NDVI waarden van de monsterlocaties bepaald op basis van de MicaSense opnames. Deze zijn bepaald door een gemiddelde NDVI te berekenen op basis van 20 pixels, die zo dicht mogelijk bij het punt van de biomassametingen liggen. De NDVI als zodanig is mogelijk een minder goede index om soorten mee te onderscheiden dan wat kan volgen uit een classificatie op basis van een hyperspectrale analyse, al is er wel een redelijk onderscheid te maken tussen de emergente en ondergedoken en drijvende soorten.

Ook waren sommige monsters van de grote egelskop en lisdodde al aan het afsterven waardoor de NDVI waarden van oktober voor deze soorten waarschijnlijk niet representatief zijn voor waarden eerder in het seizoen. Doordat veenwortel bestaat uit zeer kleine blaadjes met open water ertussen heeft deze soort de laagste NDVI waarde.

Tabel 3.1 Ruwe meetgegevens van de vegetatiedata, waarbij voor emergente soorten zowel de onder- als bovenwater biomassa apart bepaald is voor plots van 50*60 cm.

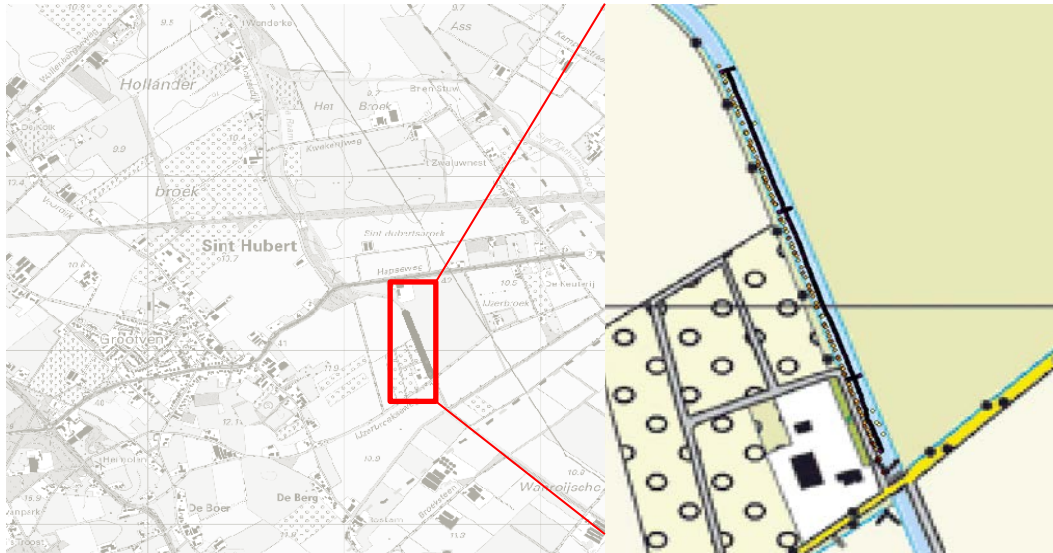
Bovenwater biomassa apart bepaald is voor plots van 50 x 50 cm.													
			nw monster (g)	dw monster (g)	dw%	volume monster (ml)	aantal stengels monster (n)	planthoogte in water (cm)	Plant lengte (cm)	Water- Diepte (cm)	x	y	NDVI
1	onder	Sterrenkroos	802.4	165.2	20.58824	1305	528	83	100	83	185317.195	410210.591	0.23
2	onder	Sterrenkroos	728.7	87.7	12.03513	1240	564	56	78	71	185317.898	410204.703	0.12
3	onder	Sterrenkroos	1286.6	210	16.32209	2000	774	73	82	73	185323.424	410191.047	0.03
4	onder	Sterrenkroos	585.9	88.4	15.0879	1190	646	57	101	73	185327.442	410179.319	-0.05
5	onder	Veenwortel	300.9	48.2	16.01861	890	23	44	59	44	185346.334	410124.128	-0.12
6	onder	Veenwortel	277.7	43.3	15.59237	805	27	44	57	44	185346.608	410122.972	-0.06
7	onder	Liesgras	927.7	108.5	11.69559	1940	18	44	44	44	185363.493	410077.282	0.17
7	boven	Liesgras	271.3	49.9	18.39292	1010	18		67				
8	onder	Liesgras	1143.9	115.2	10.07081	2000	24	43	43	43	185395.371	409989.684	0.12
8	boven	Liesgras	287.5	40.2	13.98261	870	24		59				
9	onder	Grote egelskop	667.9	59.2	8.863602	1930	49	36	36	36	185444.411	409881.411	0.40
9	boven	Grote egelskop	684.2	99.1	14.48407	1810	49		150				
10	onder	Liesgras	570.1	76.3	13.38362	905	18	44	44	44	185440.922	409890.36	0.43
10	boven	Liesgras	365.1	70	19.17283	815	18		138				
11	onder	Grote egelskop	1929.2	121.1	6.277213	3455	42	76	76	76	185438.967	409891.812	0.18
11	boven	Grote egelskop	1178.1	156.8	13.30957	1780	42		116				
12	onder	Grote egelskop	1323	97.9	7.399849	2860	35	47	47	47	185436.058	409902.457	0.06
12	boven	Grote egelskop	1749.6	252.1	14.40901	4520	35		147				
13	onder	Grote lisdodde	2784.5	1090.3	39.15604	6880	8	58	58	58	185340.256	410165.322	0.00
13	boven	Grote lisdodde	1081.2	276.7	25.59193	3540	8		190				
		water											-0.38
		Gras op de oever											0.54

3.3 Hydraulische metingen

Uit de veldproef zijn de volgende metingen beschikbaar

- Waterstanden uit ADCP;
- Waterstanden uit DGPS;
- Stroomsnelheden en debiet uit ADCP.

Daarnaast is een SOBEK 2 model aangeleverd dat de geometrie beschrijft van het meetgebied.



Figuur 3.10 Het proefgebied en de punten waar gemeten is (zwart=ADCP, bruin = DGPS)

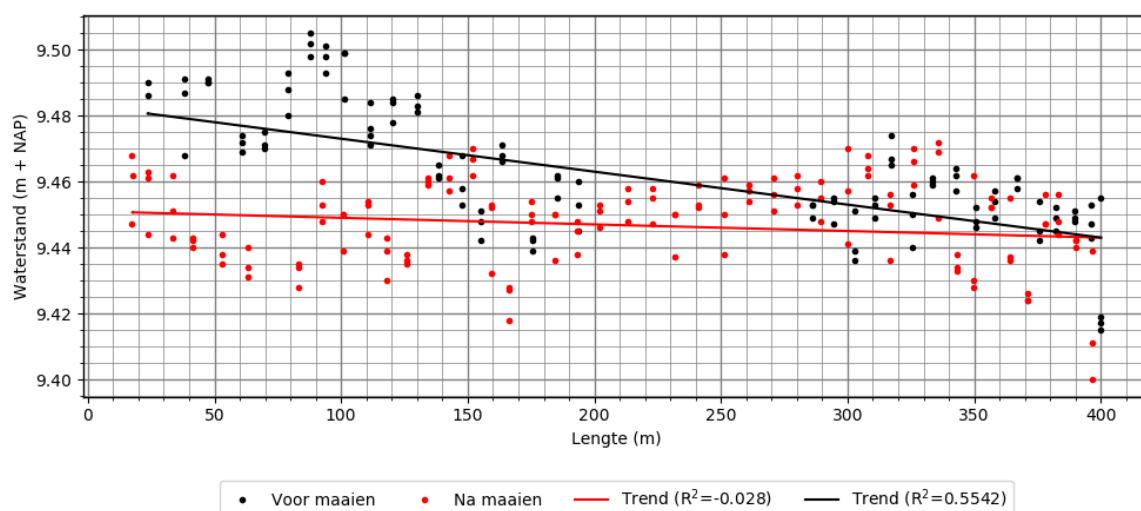
3.3.1 Waterstanden

Om het effect van maaien op waterstanden te berekenen maken wij gebruik van de DGPS metingen, die voor en na het maaien zijn gemaakt. Een deel van de data voor maaien, bleek onrealistische waarden te bevatten. Deze data hebben we uit onze analyse gelaten.

Op basis van de DGPS metingen voor en na maaien kan het effect van maaien op de waterstand worden berekend. De resultaten (Figuur 3.11) laten een duidelijke afname in het verhang zien. De waterstand benedenstrooms van het traject is tussen de 9.44 en 9.46 centimeter. De bovenstroomse waterstand voor het maaien is tussen de 9.48 en 9.50 meter. Na het maaien is deze waterstand gezakt tot tussen de 9.44 en 9.48 cm.

Op basis van lineaire regressie, kan een schatting worden gemaakt van het verval voor en na maaien. Voor het maaien is het verhang ongeveer 1 m/km ($R^2=0.5542$). Na het maaien is het verhang ongeveer 0.2 m/km ($R^2=-0.028$). Hierbij wordt wel opgemerkt dat de onzekerheid in de metingen vrij groot is.

Wat verder opvalt, is dat het verschil in waterstand voor en na maaien pas duidelijk zichtbaar wordt vanaf 250 m. Dit kan erop duiden, dat de blokkerende vegetatie vooral aan de bovenkant van het meettraject (van 0 tot 200 m) aanwezig was. Daarentegen zal het effect van lokale ruwheidsverlaging door maaien sowieso toenemen in bovenstroomse richting door verhanglijn effecten.



Figuur 3.11 Het proefgebied en de punten waar gemeten is (zwart=voor het maaien, rood =na het maaien). In dit figuur, vindt e stroming plaats van links naar rechts.

3.3.2 Debiet

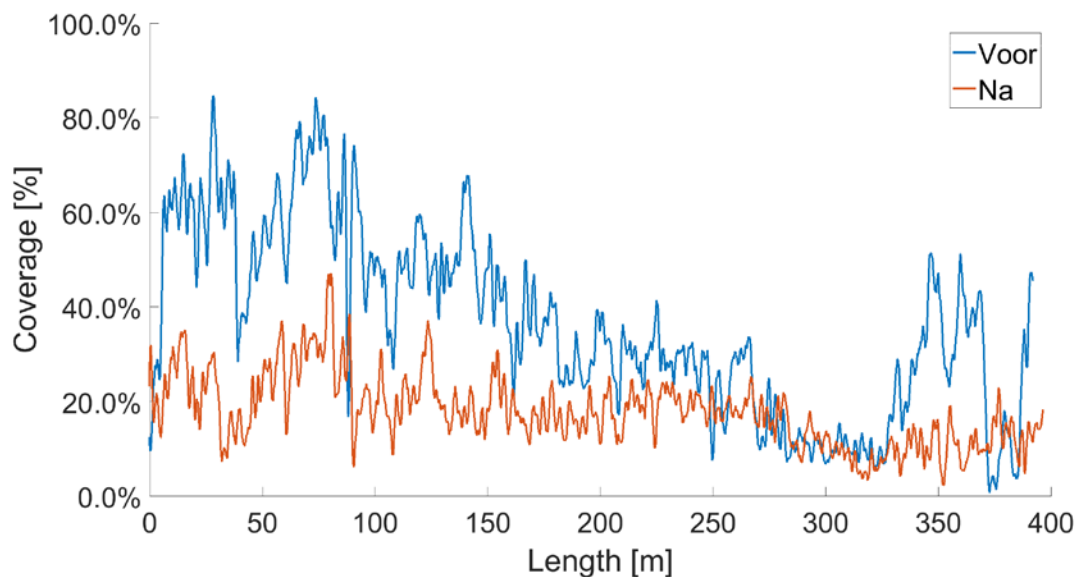
Op basis van de ADCP data is een schatting gemaakt van de afvoer. Er zijn voor en na maaien op verschillende plekken ADCP metingen gedaan. Uit de aangeleverde metingen blijkt dat de afvoer in de Lage Raam ten tijde van de maaiproef ongeveer $0.200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ was (Tabel 3.2). De meting van $0.157 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ voor het maaien, op het midden traject wordt gezien als een afwijking.

Tabel 3.2 Afvoeren uit ADCP metingen

Sectie	Gemiddeld [m^3/s]
Voor maaien – midden	0.195
Voor maaien - beneden	0.157
Na maaien - boven	0.188
Na maaien - midden	0.209
Na maaien - beneden	0.206

3.3.3 Aanwezige vegetatie

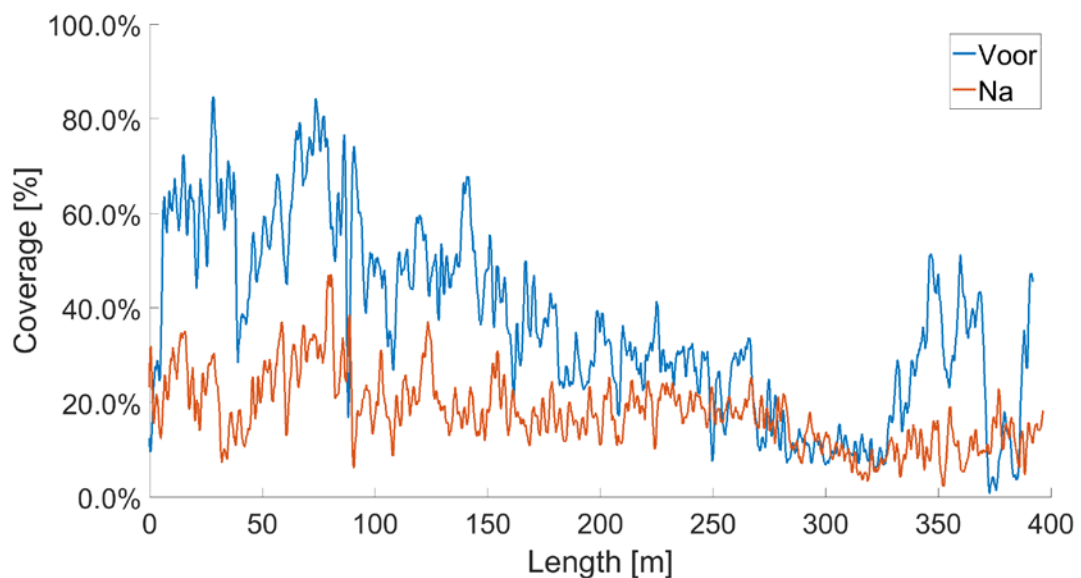
Uit UAV beelden is de bedekkingsgraad afgeleid. Deze bedekkingsgraad is de schatting van het percentage oppervlaktebedekking. Er blijkt grote variatie te zitten in de ruwheid: zelfs op 400 meter lengte is er sprake van duidelijke heterogeniteit in de vegetatie (



Figuur 3.12).

De hoogste bedekkingsgraad zit aan de bovenstroomse kant van het proefgebied. Aan de benedenstroomse kant worden bedekkingsgraden van ongeveer 10% berekend, terwijl aan de bovenkant van het traject bedekkingsgraden tot 80% worden berekend.

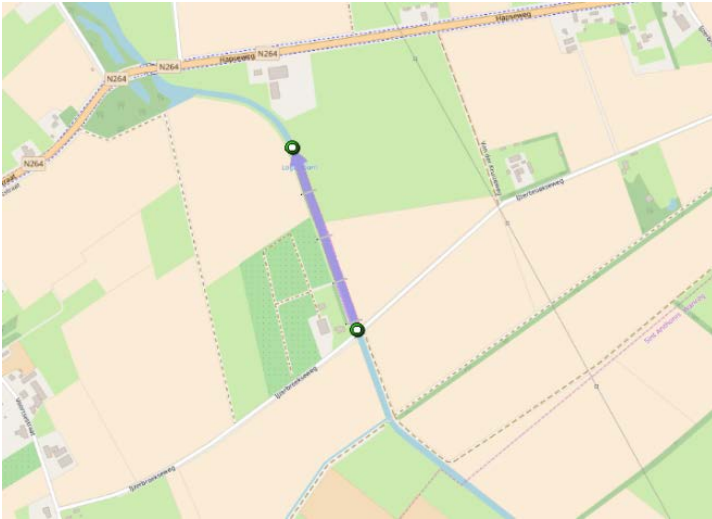
Doordat de vegetatie niet homogeen is, kan er geen eenduidige schatting worden gemaakt van de algehele bedekkingsgraad van het proeftraject.



Figuur 3.12 Bedekkingsgraad in het proefgebied waarbij het water van links naar rechts stroomt (op 0 m de bovenstroomse stuw).

3.4 Ruwheidsbepaling met SOBEK

Op basis van het SOBEK 2 model MAAIRAAM, is er een SOBEK 3 model gebouwd van het proeftraject (Figuur 3.13).



Figuur 3.13 Het gemodelleerde SOBEK3 I traject.

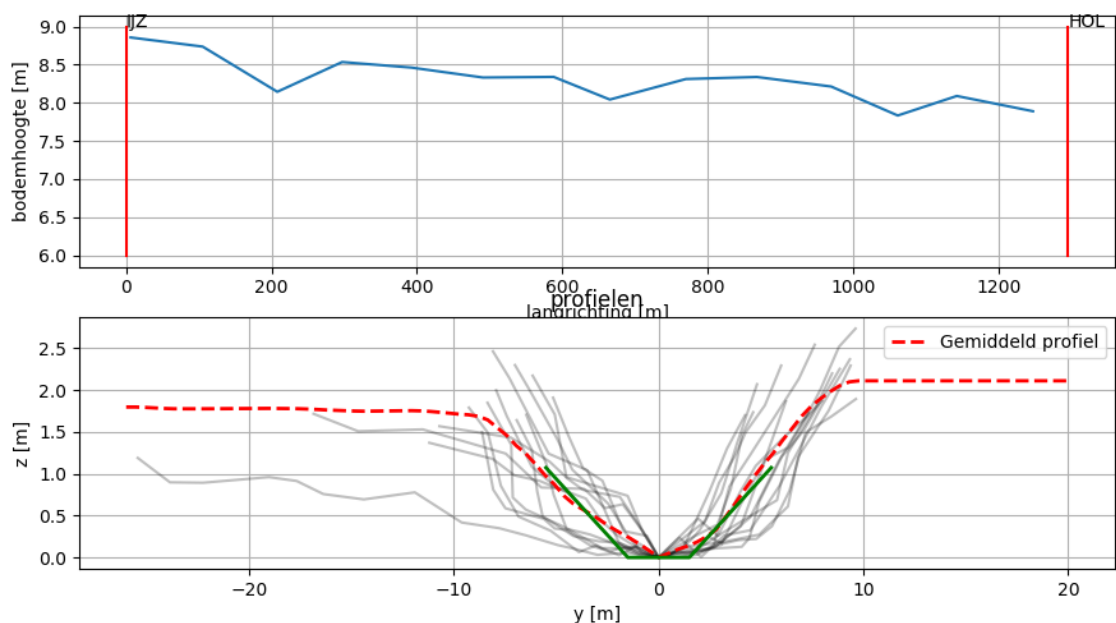
Er is gerekend met een afvoer van $0.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en een benedenstroomse waterstand van $9.443 \text{ m} + \text{NAP}$. De geometrie is afkomstig uit het SOBEK 2 model MAAIRAAM. De ruwheid in het SOBEK2 model bestaat uit een homogene Manning coëfficiënt.

In de berekeningen is de Manning coëfficiënt gepast totdat de bovenstroomse waterstand een waarde bereikt van $9.483 \text{ m} + \text{NAP}$ voor het maaien, en 9.451 na het maaien. Hieruit komt een ruwheid van $0.40 \text{ sm}^{-1/3}$ voor het maaien, en $0.18 \text{ sm}^{-1/3}$ na het maaien.

4 Veldproef in relatie tot afvoer door het hele jaar

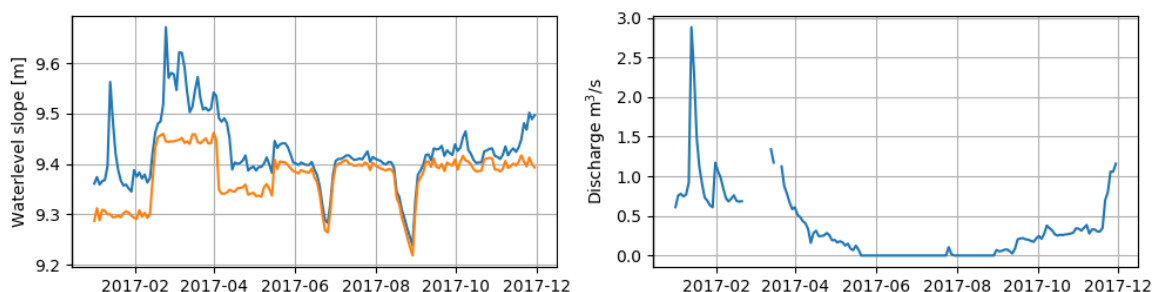
Door het Waterschap Aa en Maas zijn afvoer- en waterstandgegevens aangeleverd van stuw IJZ, HOL en TDE. Het traject tussen stuw IJZ en stuw HOL bevat het proeftraject.

Op basis van de SOBEK profielen is een versimpeld trapeziumvormig profiel bepaald met een bodembreedte van 3 m en een taludhoek van 15 graden (Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Profiel in Lage Raam traject IJZ-HOL

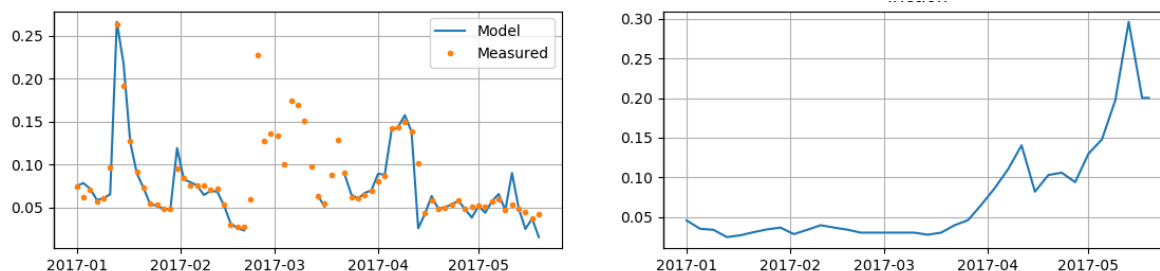
De afvoer bij stuw HOL is significant hoger dan de afvoer bij stuw IJZ. Voor het vervolg hebben we stuw HOL als uitgangspunt genomen.



Figuur 4.2 Waterstand- en afvoergegevens voor 2017. Linker panel geeft de waterstanden weer bovenstrooms (blauw) en benedenstrooms (oranje) in het stuwpand.

De afvoer piekt in het begin van 2017 tot boven de $2.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, maar loopt daarna terug. In een groot deel van het jaar is er geen afvoer aanwezig. Ook ontbreken in februari en maart afvoergegevens (Figuur 4.2).

We verdelen de analyse over twee delen. Deel 1 van januari tot juli en deel 2 van september tot en met december. Het Dottermodel is gebruikt (zie ook Penning et al 2018) om de Manning coëfficiënt te bepalen (Figuur 4.3):



Figuur 4.3 Gekalibreerde ruwheden in de eerste helft van 2017. Linker paneel geeft de verhanglijn weer van het wateroppervlak over het stuwpand. Rechter paneel geeft de berekende Manning coëfficiënt.

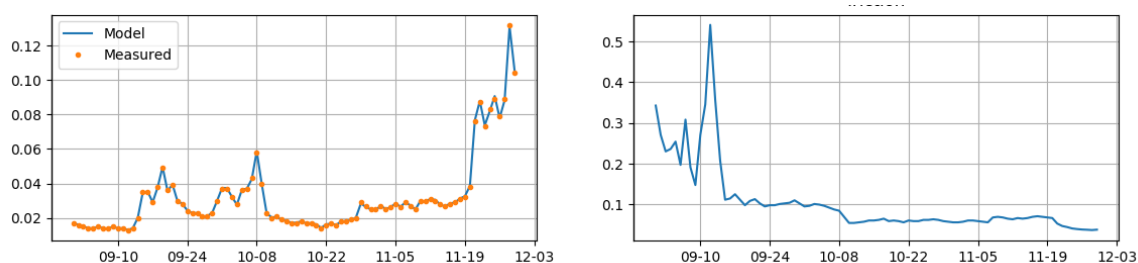
Uit modelberekeningen blijkt dat de ruwheid in de loop van het jaar toeneemt. Vanaf midden maart stijgt de ruwheid. Midden april daalt de ruwheid plotseling. Dit komt overeen met het maaimoment van 13 april. De overige maaimomenten in deze periode zijn:

- 13 april: Traject 108IJZ tot aan Hapseweg, alleen bodem gemaaid.
- Week 21 (22 mei t/m 28 mei): Traject 108IJZ tot aan Hapseweg, bodem en 1 talud gemaaid.

Het maaimoment van midden mei lijkt er ook goed in terug te komen.

In het najaar van 2017 zien we de ruwheid dalen (Figuur 4.4). De maaimomenten in dit deel van het jaar zijn:

- Week 28 (10 juli t/m 16 juli): Traject 108IJZ tot aan Hapseweg, bodem en 1 talud gemaaid.
- 9 oktober: Traject 108IJZ tot aan Hapseweg, bodem en 1 talud gemaaid.
- Week 41 (10 okt t/m 15 okt): Hapseweg tot aan 108HOL, bodem en 1 talud gemaaid.



Figuur 4.4 Gekalibreerde ruwheden in het najaar van 2017. Linker paneel geeft de verhanglijn weer van het wateroppervlak over het stuwpand. Rechter paneel geeft de berekende Manning coëfficiënt.

Het maaimoment in juli is niet terug te zien omdat er geen afvoerdata beschikbaar is. De ruwheden lijken vanaf september al te dalen, zonder dat er een maaimoment aan te pas kwam. De afvoer begon in deze periode echter ook geleidelijk vanaf nagenoeg $0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ op te lopen, wat mogelijk de ruwheid(sbepaling) heeft beïnvloed. Het maaimoment van 9 tot 15 oktober is te zien, maar het heeft minder groot effect. Het is onduidelijk waar de piek van 10 september door komt.

Een vergelijking tussen de gevonden ruwheidswaarden in het SOBEK proeftrajectmodel en het Dottermodel laat zien dat de trend overeenkomt (halvering van de ruwheid na maaien), maar dat de Manning coëfficiënten lager zijn in het Dottermodel, dan in SOBEK. Dit kan verschillende oorzaken hebben:

- Het SOBEK model modelleert enkel de 1^e 400 meter van het traject, niet het volledige pand tussen IJZ en HOL.
- De geometrie in het Dottermodel is een versimpelde homogene trapezoïde, terwijl de profielen in de Lage Raam, volgens het MAAIRAAM model, niet homogeen zijn.

Sommen met een andere keuze voor de bodembreedte en taludverhang laten zien dat de algemene conclusies in stand blijven, maar dat de ruwheid in de Lage Raam aanzienlijk hoger kan worden ingeschat. Dit is een punt van aandacht voor voorspellend rekenen.

4.1 Conclusies hydraulische analyse

Op basis van analyse van de aangeleverde hydraulische gegevens worden de volgende voorlopige conclusies getrokken:

- Het maaien van 9 oktober had een duidelijk lokaal effect op de waterstand en de berekende ruwheid.
- Het maaien lijkt vooral effect te hebben gehad op het bovenstroomse deel van het pand. Uit nadere studie moet blijken in hoeverre dit verwacht is uit verhanglijneffecten, of een gevolg is van de geobserveerde heterogeniteit van de begroeiingsgraad.
- Er is een analyse uitgevoerd van de jaargegevens op stuw IJZ en HOL. Hieruit blijkt dat het effect van vegetatiegroei en verschillende maaimomenten duidelijk te zien is. In het najaar van 2017 lijkt de ruwheid af te nemen, zonder dat hier een maaimoment direct aan voorafgegaan is.

5 Referenties

E. Penning, K. Berends, R. Noorlandt, G. van den Eertwegh (2018) Richting een bepaling van groeisnelheden voor ruwheidsvoorspellingen. Deltares rapport 12200712

Eertwegh, G.A. P.H. van den, en W. Ellis Penning (eds.) (2017): TKI Dotter-project - Towards coupled risk-based aquatic vegetation management and EU-WFD-targets. KnowH2O-Deltares report.

Mitchell, J.J., Shrestha, R., Spaete L. P. and Glenn, N.F. (2015) Combining airborne spectral and LiDAR data across local sites for upscaling shrubland structural information: Lessons for HyspIRI. Remote Sensing of Environment, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.015>