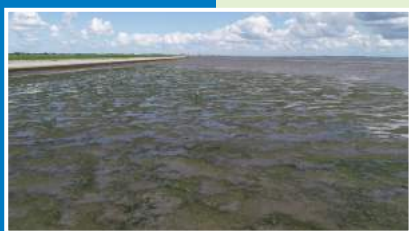


Pilot innovatieve inwinning zeegras Oosterschelde



C.A. Mûcher
J. de Jong
H. Kramer
J.M. Reitsma
S. Los



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Bureau Waardenburg
Ecologie & Landschap





Pilot innovatieve inwinning zeegras Oosterschelde

C.A. Mûcher*, J. de Jong, H. Kramer*, J.M. Reitsma, S. Los*

*) WENR

Status uitgave: eindrapport

Rapportnummer: 20-323
Projectnummer: 19-0310
Datum uitgave: 15 december 2020
Foto's omslag: J. de Jong
Projectleider: ir. J.M. Reitsma
Tweede lezer: R.J.W. van de Haterd
Naam en adres opdrachtgever: RWS-CIV
Derde Werelddreef 1
2622 HA Delft
Referentie opdrachtgever: wijzigingsovereenkomst zaaknr. 31150645 dd 15-6-2020
Akkoord voor uitgave: drs. D. Emond

Paraaf:

Graag citeren als: Mucher, A.C., J. de Jong, H. Kramer, J.M. Reitsma, S.Los, 2020. Pilot innovatieve inwinning zeegras Oosterschelde. Bureau Waardenburg Rapportnr. 20-323. Bureau Waardenburg, Culemborg i.s.m. WENR, Wageningen.

Trefwoorden: zeegras, Oosterschelde, drones, remote sensing, innovatie, deep learning ENVI, beeldclassificatie, spectrometer

Bureau Waardenburg bv is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Bureau Waardenburg bv.

Opdrachtgever hierboven aangegeven vrijwaart Bureau Waardenburg bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

© Bureau Waardenburg bv / RWS-CIV

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden vervaardigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, digitale kopie of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Bureau Waardenburg bv, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Lid van de branchevereniging Netwerk Groene Bureaus. Het kwaliteitsmanagementsysteem van Bureau Waardenburg bv is gecertificeerd door EIK Certificering overeenkomstig ISO 9001:2015. Bureau Waardenburg bv hanteert als algemene voorwaarden de DNR 2011, tenzij schriftelijk anders wordt overeengekomen.



Bureau Waardenburg
Ecologie & Landschap

Bureau Waardenburg, Varkensmarkt 9 4101 CK Culemborg, 0345 51 27 10, info@buwa.nl, www.buwa.nl



Inhoud

1	Inleiding	5
2	Materiaal en methoden	7
2.1	Inwinning	7
3	Resultaten	11
3.1	Verwerking dronebeelden	11
3.2	Genereren trainingsset en validatieset	15
3.3	Classificatie dronebeelden	17
3.4	Validatie en vergelijking resultaten met MWTL-metingen 2020	25
3.5	Analyse spectrometer	30
4	Conclusies en aanbevelingen	33
4.1	Conclusies	33
4.2	Kansen voor de toekomst en aanbevelingen	35
	Literatuur	38
Bijlage I	Figuren eerste verkenning classificatie methoden	39
Bijlage II	Figuren trainingsset op basis van detailopnamen	48
Bijlage III	FieldSpec Pro metingen per klasse	51



1 Inleiding

Voor de periode 2020-2025 is Bureau Waardenburg (samen met Eurofins) door Rijkswaterstaat (RWS) gecontracteerd voor de reguliere inwinning van zeegras (veldinventarisaties) binnen het gehele beheerareaal van RWS. In het voorjaar van 2020 heeft RWS binnen dit contract ruimte geboden om een innovatie methode aan te bieden, met een aantal eisen/randvoorwaarden waaraan deze methode moet voldoen. Voor het ontwikkelen van deze innovatieve methode werkt Bureau Waardenburg samen met Wageningen Environmental Research (WENR). Bureau Waardenburg en WENR zijn al enkele jaren samenwerkingspartner binnen SPECTORS: een EU Interreg programma waarbinnen drones en remote sensing toepassingen worden ontwikkeld voor onder andere vegetatie- en habitatmonitoring. WENR heeft 8 jaar geleden in samenwerking met Wageningen Universiteit een Unmanned Aerial Remote Sensing Facility (UARSF) opgezet zie ook <http://www.wur.eu/uarsf>, en beschikt sinds 2015 als een van de eerste onderzoeksorganisaties over een RPAS Operator Certificate (ROC, 31\2017-WageningenUniversiteit). Daarnaast beschikken alle WENR piloten over een ROC certificaat. Bureau Waardenburg heeft twee ROC-light gecertificeerde piloten in dienst. Bureau Waardenburg en WENR hebben inmiddels ruime ervaring in het monitoren van vegetaties en habitats met behulp van zeer hoge resolutie satellietbeelden en verschillende typen drones (rgb, lidar, multispectraal, hyperspectraal, thermisch, en zowel met fixed-wing als multi-rotor drones).

Binnen dit onderzoek naar het ontwikkelen van een innovatie methode zal worden bekeken in hoeverre het mogelijk is om op basis van verschillende typen dronebeelden nauwkeurig onderscheid te kunnen maken tussen klein zeegras, groot zeegras, snavelruppia en andere typen bedekking zoals wieren en kale grond. Op basis van deze classificaties kunnen dan bedekkingen van zeegrassen worden bepaald. Mogelijk kan deze innovatieve methode dan op termijn worden ingezet om de reguliere inwinning van zeegrassen te ondersteunen of te vervangen



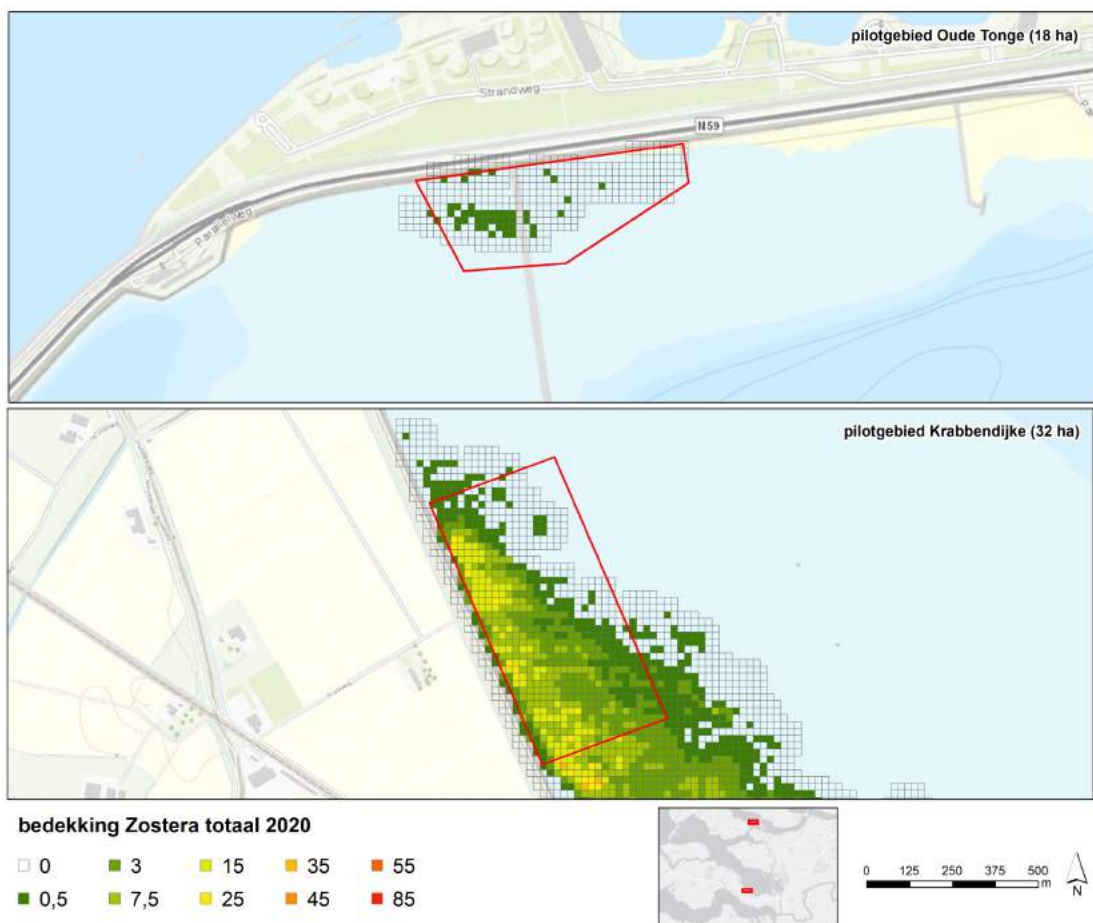


2 Materiaal en methoden

2.1 Inwinning

Pilotgebieden

Er zijn vooraf twee pilotgebieden in de Oosterschelde geselecteerd: een gebied van 32 hectare nabij Krabbendijke (hier komt klein zeegras *Zostera noltii* in verschillende bedekkingsklassen voor), en een gebied van 18 ha bij Plaat van Oude Tonge (hier komt groot zeegras *Zostera marina* en sporadisch snavelruppia *Ruppia maritima* voor, zij het op kleine schaal en in lage bedekking).



Figuur 1 Pilotgebieden nabij Krabbendijke en Oude Tonge met per gebied de bedekking van zeegrassen uit de reguliere MWTL kartering 2020.

Inwinperiode en voorbereiding

De inwinning van RGB en multispectrale dronebeelden in het terrein heeft plaats gevonden op 21 juli 2020 onder gunstige weer- en tij-condities (wind 3bft NNW, 23 °C, bewolking 1/8). In diezelfde week heeft reguliere inwinning op de grond plaatsgevonden door Eurofins.



Voorafgaand is toestemming gevraagd en verkregen voor uitvoering van de drone-vluchten bij Waterschap Scheldestromen (dhr. Ad Vos) voor het deelgebied bij Yerseke, en bij RWS Zee en Delta (dhr. M. Leijnse) voor het deelgebied Oude Tonge.

Type drones en opnamen

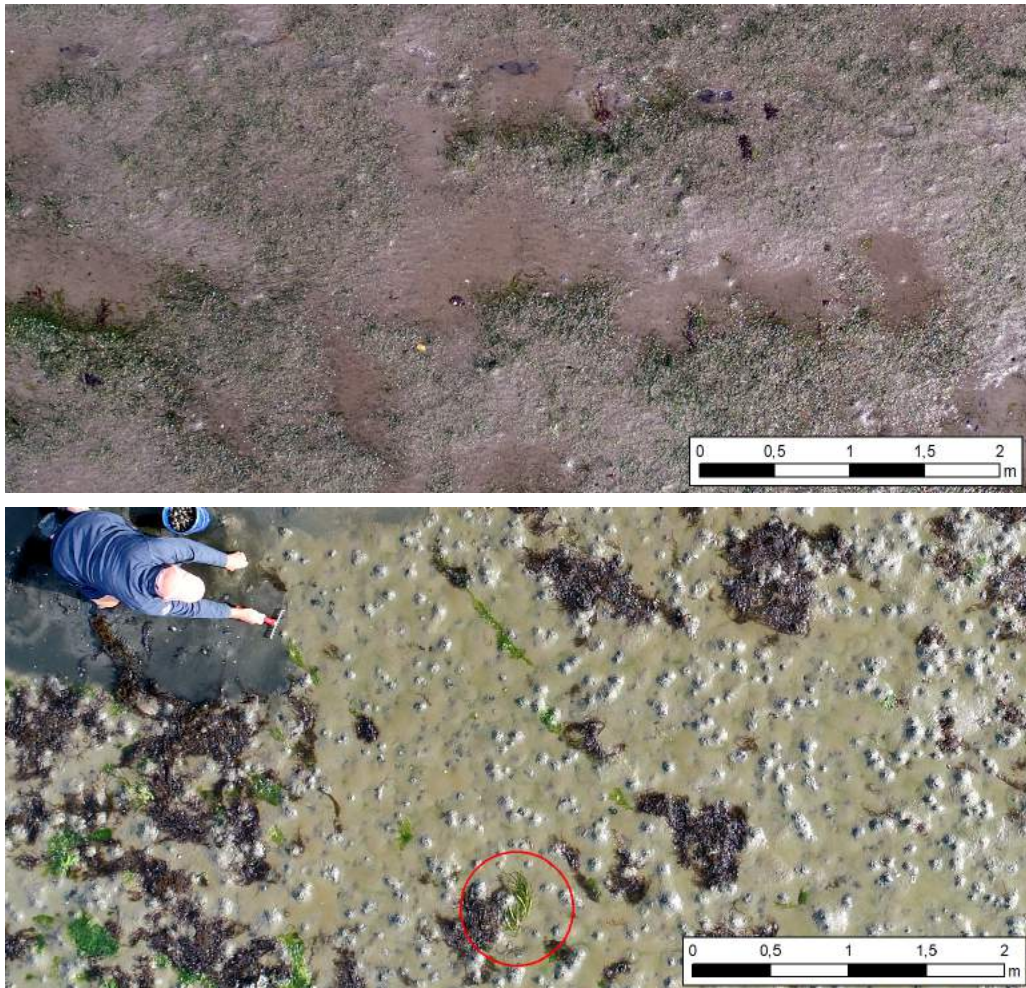
Er is gebruik gemaakt van twee typen drones. Met een fixed-wing Ebee-X RTK drone zijn foto's gemaakt met twee modulaire typen camera's: een RGB-camera (S.O.D.A.) en een multispectrale camera (Parrot Sequoia). De Parrot Sequoia meet reflecties in 4 spectrale banden: groen (530-570 nm), rood (640-680 nm), Red Edge (730-740 nm) en Nabij Infrarood (770-810 nm).

Daarnaast is voor de RGB opname van de Plaat van Oude Tonge een Phantom 4 pro (multicopter) ingezet. Omdat het om een innovatieve methode gaat, was op voorhand niet te zeggen welke beelden het beste gebruikt konden worden voor het karteren van zeegras, vandaar dat beide typen camera's zijn ingezet. Vanaf een hoogte van ca 60 meter zijn de pilotgebieden in een vooraf geprogrammeerd vluchtplan gefotografeerd in raaien met een 70-80% overlap. Hiermee worden dekkende orthofotomozaiëken gegenereerd met een pixelresolutie van ca 1,5 cm voor de RGB-foto's en ca 5 cm voor de multispectrale foto's.



Figuur 2 UAVS (Unmanned Airborne Vehicles) of te wel drones die zijn ingezet voor de pilot. Links een fixed wing EBEE X RTK. Rechts een Phantom 4.

Daarnaast zijn er verspreid over de pilotgebieden RGB-detailopnamen gemaakt met een Phantom 4 pro vanaf ca. 10 meter hoogte. De detailopnamen met een resolutie van ca 3 mm. worden gebruikt als referentiefoto's om nauwkeurige bedekkingsschattingen van zeegras te kunnen maken. Voor Krabbendijke zijn 25 detailopnamen gemaakt, voor de Plaat van Oude Tonge 45 opnamen. Het aantal opnamen voor de Plaat van Oude Tonge is hoger omdat verwacht werd dat het aantal groot zeegras planten beperkt is en er dus meer opnamen nodig zouden zijn om een voldoende grote trainingsset te kunnen aanmaken op basis van de foto's.



Figuur 3: Voorbeeld detail drone opnamen van 10 meter hoogte en 3mm detail. Boven voorbeeld detailopname Krabbendijke (met klein zeegras in verschillende dichtheden) en onder voorbeeld detailopname Oude Tonge (met groen/-draadwier, bruinwier en groot zeegras (rood omcirkeld) duidelijk zichtbaar).

Analyse

Maken ground-truth trainingssets

Voor de verschillende classificatie methoden zijn de 3mm-resolutie foto's van de Phantom 4 gebruikt als referentiemateriaal. Op de hoge resolutie referentie foto's zijn de geolocaties van de verschillende klassen (zeegrassen, wieren, algen en kaal slik) visueel gelokaliseerd om te worden gebruikt als trainingsset in de classificatie, samen met het RGB orthomosaic. Hiermee wordt een optimale thematische nauwkeurigheid en georeferentie behaald.

Classificatie en Deeplearning

De orthofotomosaïëken (multispectraal en RGB) zijn geclassificeerd tot zeegras-soorten, wieren, algen en kaal slik. Allereerst is nagegaan of de classificatie op basis van de pixelwaarden en spectrale (vegetatie) Indices van individuele pixels kan worden gedaan (pixel based). Daarnaast is er met deeplearning methodieken in ENVI gekeken of er op basis van trainingsgegevens (plekken waarvan we weten welke zeegrassoort er groeit) de



dronebeelden geïdentificeerd kunnen worden. Met deep learning worden de objecten (features) op basis van niet alleen de spectrale waarden maar ook hun ruimtelijke kenmerken onderscheiden.

De reden om deep learning technieken in te zetten (in plaats van bv de OBIA-techniek) is dat het segmentatieproces van binnen OBIA dermate zwaar is dat het segmenteren van foto's op het niveau van losse zeegras pollen (zoals voor groot zeegras en ruppia) voor een groot gebied niet goed werkbaar wordt geacht. De verwachting was dat met deep learning technieken groeiplaatsen van zeegras efficiënter kunnen worden gedetecteerd.

Voor de classificatie zijn naast deep learning methoden ook verschillende technieken uitgetoetst om te kijken welke methode tot de beste resultaten leidt (bijv., ook de meer traditionele classificatiemethoden zoals unsupervised (ISODATA clustering) als supervised classificatie methoden, waaronder Maximum Likelihood Classification (MLC), Neural Net Classification (NNC), Support Vector Machine (SVM) en Spectral Angle Mapper (SAM)).

Analyse spectrometer

Naast de drone-opnamen is er binnen deze pilot een kleine analyse gedaan naar de zogenaamde 'spectral signatures' van zeegrassen, wieren, algen en kaal slik. Met de handheld ASD FieldSpec Pro (een handheld spectrometer) is de reflectie in een range van 325 tot 1075 nm gemeten op een paar locaties in beide pilotgebieden, gelijktijdig met de drone inwinning. Op basis van deze metingen is onderzocht of, en welke specifieke reflectie eigenschappen kenmerkend zijn voor de betreffende soorten. Op basis van deze kennis kan mogelijk in de toekomst een andere sensor worden geselecteerd of ontwikkeld die de reflectie in specifieke spectrale banden meet (als uit de analyse blijkt dat zeegrassen zich op een specifieke golflengte duidelijk onderscheiden van andere klassen). Mogelijk kan een dergelijke sensor vanuit een vliegtuig worden ingezet zodat grote gebieden in een relatief kort tijdsbestek kunnen worden ingewonnen en de beelden worden verwerkt tot kaarten met bedekkingen van zeegrassen. Dit biedt wellicht mogelijkheden voor opschaling van een innovatieve methode. De vliegduur van drones en beperkingen door de regelgeving rond het gebruik van drones kunnen het opschalen van de innovatieve methode bemoeilijken. De kennis over de specifieke reflectie eigenschappen van zeegrassen kan helpen bij het toewerken naar een nieuwe methode voor het karteren van zeegrassen met behulp van remote sensing voor het gehele areaal.

Validatie en vergelijking met reguliere inwinning

Er is een vergelijking gemaakt met de resultaten uit de reguliere MWTL-monitoring van zeegras die in dezelfde periode heeft plaatsgevonden. Beide inwinningen hebben plaats gevonden in de 3^e week van juli 2020, met maximaal 3 dagen ertussen.

De bedekkingen vanuit de classificaties worden omgerekend naar de 20x20m gridcellen, in de klassen-indeling die ook tijdens de MWTL-inwinning wordt gebruikt. Op deze wijze is een vergelijking mogelijk met de traditionele inwinning.

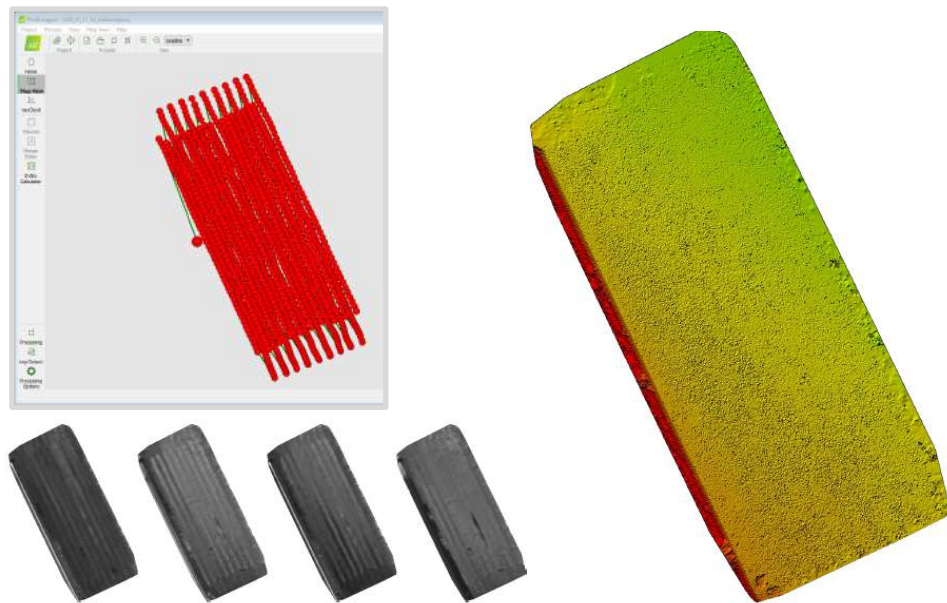
De nauwkeurigheid van de classificaties zelf wordt bepaald op basis van een validatie met de hoge resolutie dronefoto's (een deel van de foto's dat niet gebruikt is als trainingsset).



3 Resultaten

3.1 Verwerking dronebeelden

Voor de verwerking van de dronebeelden gemaakt met de EBEE X RTK is de specifieke dronesoftware Pix4D gebruikt. Pix4D is zowel gebruikt voor het maken van de RGB orthomosaïcs (samengesteld uit de individuele foto's en gemaakt met de SODA camera), als wel het maken van de multispectrale orthomosaïcs uit de individuele foto's gemaakt met de multispectrale Parrot Sequoia camera. De EBEE X drone met RTK heeft ervoor gezorgd dat het geprocesseerde orthomosaïc een georeferentie heeft gekregen met een nauwkeurigheid van een paar centimeters. Additionele ingemeten Ground Control Points (GCPs) met Trimble R6 GNSS Systeem zijn gebruikt ter controle van het geo-gereferende orthomosaïc. Met de Pix4Dmapper zijn de dronebeelden verwerkt tot de benodigde basisproducten waaronder 3D point clouds, digitale terreinmodellen, contouren en orthofoto's.

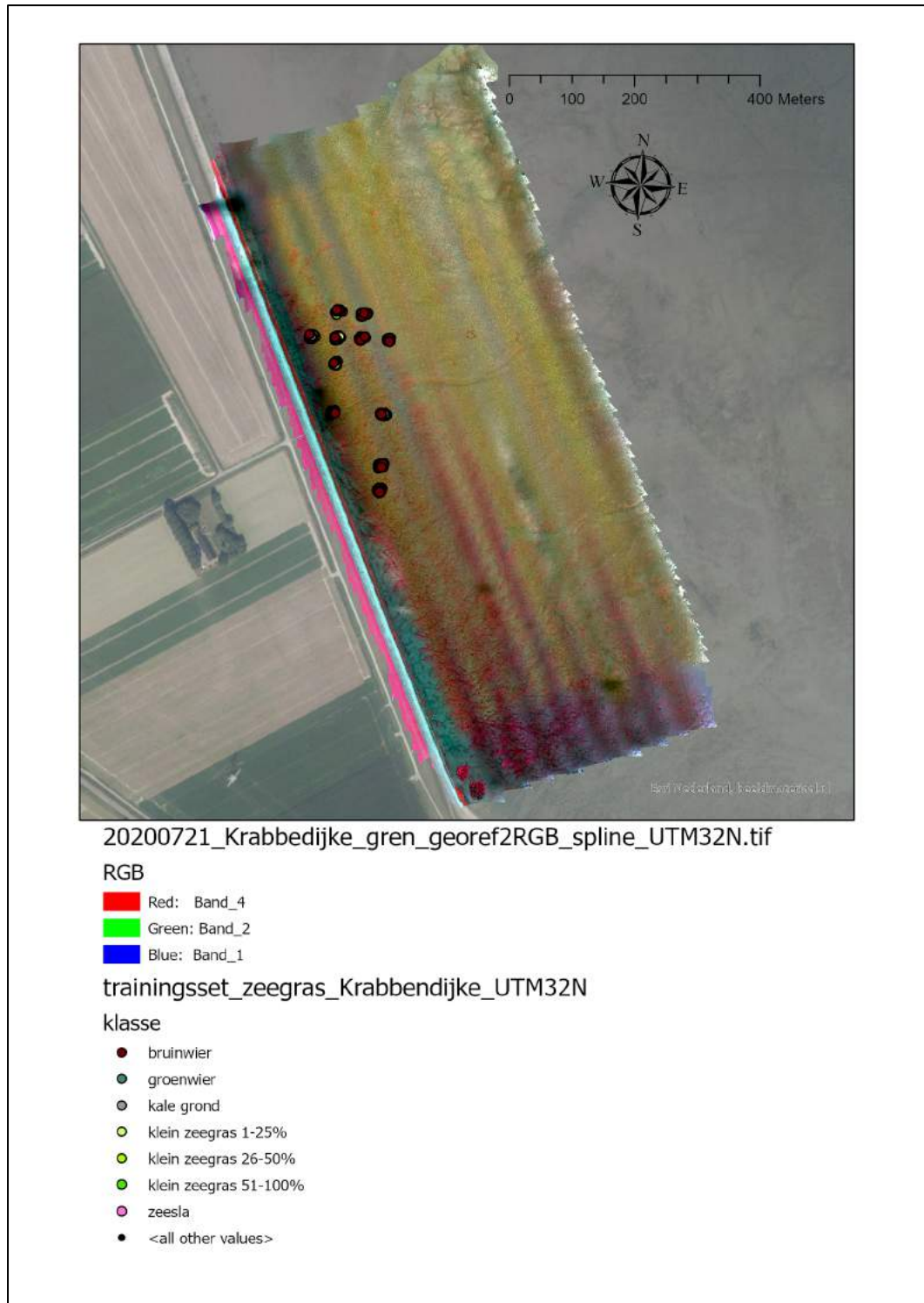


Figuur 4 PIX4D processing van de individuele foto's en het gemaakte orthomosaïc band 1 (Groen, 530-570 nm) band 2 (Rood, 640-680 nm), band 3 (Red-edge, 730-740 nm), band 4 Nabij Infrarood, 770-810 nm), en het Digital Surface Model (DSM).

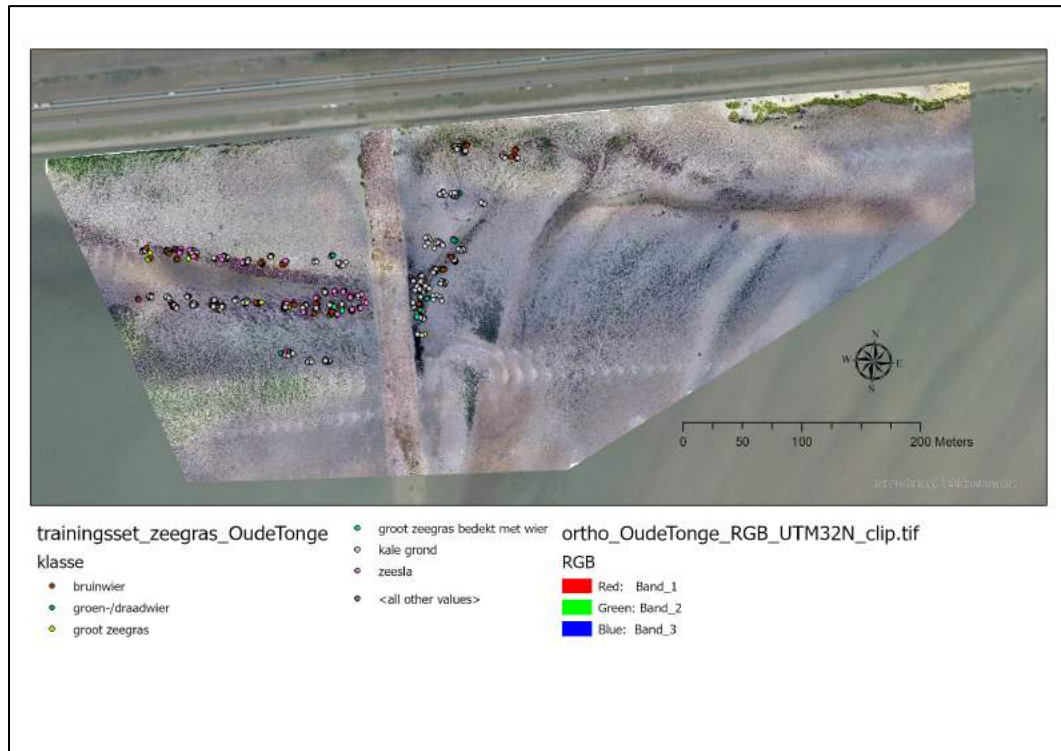
De uiteindelijke orthofoto's die voor classificatiedoeleinden zijn ingezet zien er als volgt uit.



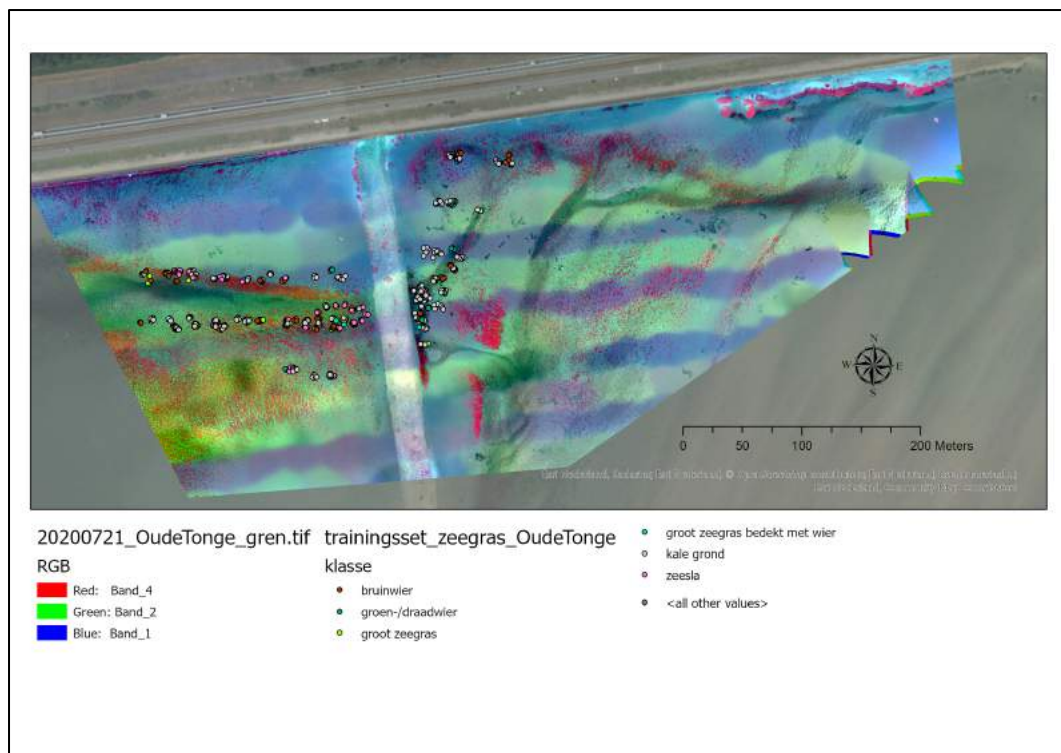
Figuur 5 RGB orthofoto voor het pilotgebied Krabbendijke



Figuur 6 Multispectrale orthofoto voor het pilotgebied Krabbendijke



Figuur 7 RGB orthofoto voor het pilotgebied Oude Tonge



Figuur 8 Multispectrale orthofoto voor het pilotgebied Oude Tonge



Als vervolg op de UAV / drone campagne van 21 juli 2020 langs de Oosterschelde zijn 4 orthofoto's geproduceerd als basisproducten voor verdere analyse:

1. Orthofoto RGB Krabbendijke
2. Orthofoto multispectraal Krabbendijke
3. Orthofoto RGB Oude Tonge
4. Orthofoto multispectraal Oude Tonge

Wat opvalt in de figuren 5 – 8 is dat vluchtbanen gedeeltelijk (spectraal) goed zichtbaar zijn in de orthofoto's. Waar dit nog meevalt in de RGB orthofoto's is dit wel heel duidelijk zichtbaar in de multispectrale beelden. Het gaat om relatief kleine verschillen in de spectrale waarden die trouwens veel minder opvallen op het moment dat er wordt ingezoomd op de beelden, maar het mag duidelijk zijn dat dit ook van invloed is op de classificatieresultaten.

Belangrijkste redenen waarom we te maken hebben met (bi)directionele effecten in de dronebeelden:

- SODA RGB en multispectrale Parrot Sequioa camera zijn modulaire systemen in de buik van de EBEE en kunnen onderling verwisseld worden, maar hebben een vaste positie en hebben geen gimble (stabilisatie mechanisme). Dit betekent dat met wind (in verschillende situaties zijwind, tegenwind, wind mee) de ligging van de EBEE in de lucht anders is, en daarmee ook kleine verschillen in de kijkhoek ontstaan.
- Natte omstandigheden versterken het (bi)directionele effect. Op land speelt dit veel minder, maar bij natte oppervlaktes ontstaan grote verschillen door de weerspiegeling die bij elke kijkhoek anders is.

Om in de toekomst de (bi)directionele effecten te verkleinen is het dus het handigste om altijd met een gimble ophanging voor de camera te werken, zodat de camera altijd loodrecht naar beneden kijkt. Maar ook bij gebruik van een gimble ontstaan er bij natte oppervlaktes kleurverschillen binnen losse dronefoto's (de weerspiegeling in de ene hoek is anders dan de weerspiegeling in de tegenovergestelde hoek). Bij het mozaïekken naar een dekkend fotobeeld zijn dus ook bij het gebruik van een gimble patronen van vliegbanen zichtbaar (zie Orthofoto RGB Oude Tonge in figuur 7, gemaakt met de Phantom 4 pro met gimble).

3.2 Genereren trainingsset en validatieset

Van de twee deelgebieden zijn trainings- en validatiesets aangemaakt van de meest voorkomende bedekkingstypen per gebied. De detailfoto's (3mm resolutie) zijn in RD geprojecteerd door het aanmaken van een JPEGworld file (.jgw) op basis van de gps-coördinaten die aan elke detailfoto gekoppeld zijn. Hiermee worden de foto's globaal geprojecteerd op de RTK ingemeten orthofoto's (afwijking tot ca 1,5 meter).

Op de detailfoto's zijn vervolgens visueel verschillende typen bedekkingen opgezocht en de corresponderende locaties zijn op de RGB orthofoto's als puntlocatie ingetekend. Voor groot zee gras (Plaat van Oude Tonge) zijn naast de pollen groot zee gras ook locaties



ingetekend met bruinwier, zeesla, groen-/draadwier, kaal slik en enkele pollen groot zeegras die half bedekt waren met wier. Er zijn geen snavelruppia groeiplaatsen aangetroffen op de detailfoto's.

Naast de groot zeegras locaties op basis van de detailfoto's zijn er enkele trainingspunten aangemaakt die in het veld zijn ingemeten met een Samsung Galaxy Tab Active (Collector applicatie). Van deze ingemeten locaties zijn de veldfoto's gebruikt om de corresponderende groeiplaats op de RGB orthofoto in te tekenen. Van de 59 groot zeegras locaties (met en zonder wier) zijn er 19 ingetekend op basis van de veldopnamen en 40 op basis van de 3mm detailfoto's.

Voor Krabbendijke zijn de locaties met klein zeegras opgedeeld in punten met een lage bedekking (1-25%), middelhoge bedekking (26-50%) en hoge bedekking (51-100%). Daarnaast zijn punten ingetekend van de klassen bruinwier, zeesla, groen-/draadwier en kaal slik.

Een voorbeeld van deze opzet van het intekenen van deze 'ground truth' punten en detailvoorbeelden van de verschillende bedekkingsklassen voor klein zeegras zijn opgenomen in bijlage II. In de onderstaande tabellen is het aantal trainings- en validatiepunten per klasse per gebied weergegeven.

Tabel 1 Overzicht aantal onafhankelijke trainingspunten en validatiepunten per klasse per gebied.

Oude Tonge

klasse	aantal trainingspunten	aantal validatie punten
groot zeegras	27	25
groot zeegras met wier	4	3
bruinwier	262	102
groen-/draadwier	122	78
kale grond	348	172
zeesla	134	34
totaal	897	414

Krabbendijke

klasse	aantal trainingspunten	aantal validatie punten
klein zeegras 1-25%	165	81
klein zeegras 26-50%	202	62
klein zeegras 51-100%	177	50
bruinwier	67	54
groen-/draadwier	5	4
kale grond	111	114
zeesla	13	11
totaal	740	376



Het aantal trainingspunten voor groot zeegras (deelgebied Oude Tonge) is laag (31 punten, waarvan 4 gedeeltelijk bedekt met wier). Er waren op de detailfoto's niet meer planten te vinden, ondanks dat de detailfoto's genomen zijn in de delen waar de meeste planten zouden moeten staan (volgens de laatst beschikbare zeegraskaart van 2019). Het beperkte aantal trainingspunten is nadelig voor de betrouwbaarheid van de classificaties, met name voor deep learning classificatietechnieken.

3.3 Classificatie dronebeelden

Eerste verkenningen met traditionele classificatietechnieken

Een eerste verkenning is uitgevoerd voor op de multispectrale en RGB orthofoto voor een testgebiedje bij Krabbendijke (zie Bijlage I). De eerste verkenning is uitgevoerd met ISODATA clustering in ENVI.

ISODATA clustering (I3harrisgeospatial.com)

'ISODATA unsupervised classification calculates class spectral means evenly distributed in the data space then iteratively clusters the remaining pixels using minimum distance techniques. Each iteration recalculates means and reclassifies pixels with respect to the new means. Iterative class splitting, merging, and deleting is done based on input threshold parameters. All pixels are classified to the nearest class unless a standard deviation or distance threshold is specified, in which case some pixels may be unclassified if they do not meet the selected criteria. This process continues until the number of pixels in each class changes by less than the selected pixel change threshold or the maximum number of iterations is reached'

Uit deze eerste cluster analyse werd duidelijk dat het multispectrale beeld meer informatie (spectraal) bevat dan het RGB beeld. Echter het werd meteen ook duidelijk dat de (bi)directionele effecten (zichtbaar) in het multispectrale beeld ook effecten hebben op de uiteindelijke classificatie. Een ISODATA clustering van het RGB beeld levert weinig informatie op behalve dan dat onderscheid tussen begroeid en kaal min of meer duidelijk werd. Om deze reden hebben de eerste verkenningen zich vooral gericht op de multispectrale beelden.

Vervolgens is er gekeken naar de resultaten voor verschillende supervised classificatietechnieken op hetzelfde testgebiedje van Krabbendijke (zie ook Bijlage I).

Supervised classificatietechnieken

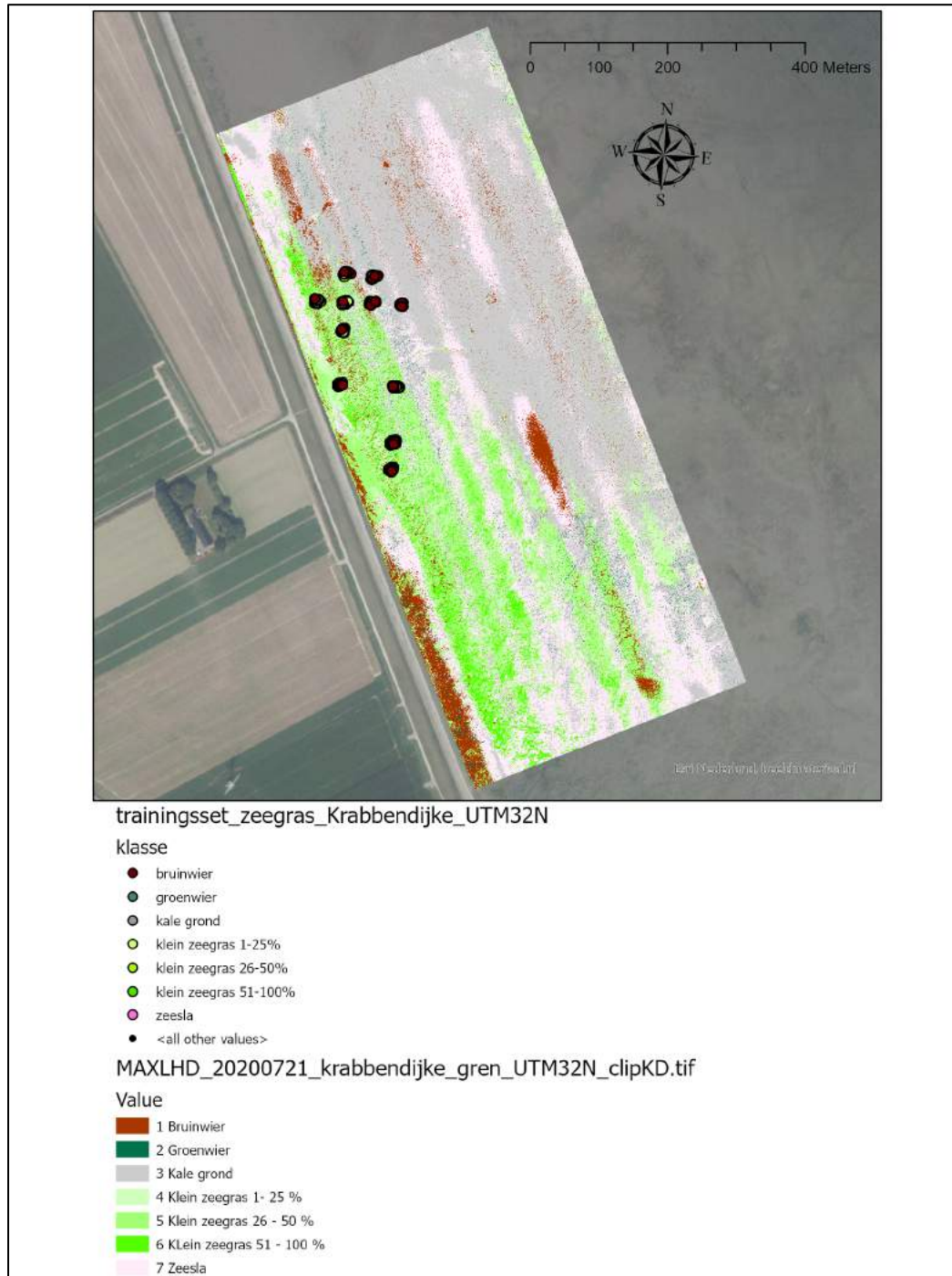
Supervised classification omvat het gebruik van trainingsgegevens die als representatief worden beschouwd voor elke vegetatietype en andere soorten bodembedekking (bijv. kale grond) die geclassificeerd moeten worden op basis van hun spectrale kenmerken.

The ENVI software bevat een groot aantal supervised classificatie technieken waarvan een aantal getest zijn, zoals Neural Net Classification (NNC), Support Vector Machine (SVM), Spectral Angle Mapper (SAM) en Maximum Likelihood Classification (MLC). Zoals te zien

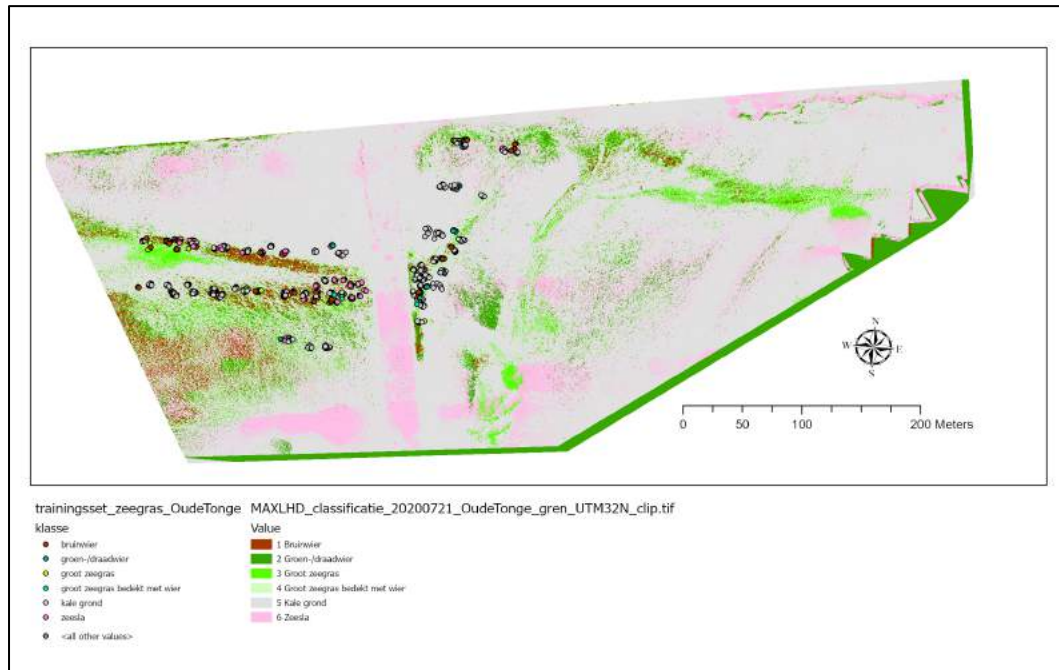


is in Bijlage 1 leverde de Maximum likelihood de beste resultaten op en deze methode is vervolgens toegepast op beide pilot gebieden.

De resultaten van de Maximum Likelihood Classificatie op beide pilotgebieden met behulp van trainingsdata zijn hieronder te zien.



Figuur 9 Maximum Likelihood classificatie op het multispectrale beeld van Krabbendijke. Met daarover heen de trainingsdata die gebruikt zijn als input voor de classificatie.



Figuur 10 Maximum Likelihood classificatie op het multispectrale beeld van Oude Tonge. Met daarover heen de trainingsdata die gebruikt zijn als input voor de classificatie

Echter ook deze resultaten werden door ons niet goed genoeg bevonden. De beste resultaten zijn uiteindelijk gevonden met behulp van deep learning technieken op de RGB-dronebeelden, zoals hieronder beschreven. Dit was enigszins verrassend omdat eerdere resultaten, namelijk de unsupervised clustering classificatieresultaten aangaven dat de RGB-dronebeelden minder informatie bevatten. Grote verschil met deep learning is echter dat deze techniek, in tegenstelling tot de (un)supervised classificatie technieken, niet alleen naar de spectrale waarden kijkt maar ook de patronen uit de omliggende pixels meeneemt in de classificatie.

Resultaten Deep learning classificatie

Image analysis software ENVI heeft sinds vorig jaar een deep learning module, waarmee sinds kort ook multiclass classificaties uitgevoerd kunnen worden. Deep learning is een meer geavanceerde vorm van machine learning waarmee algoritmes automatisch informatie zoals objecten of klassen in gegevens kunnen ontdekken. Deep learning-algoritmen leren patronen herkennen door een reeks lagen in een neurale netwerk om zo conclusies te trekken, in zekere zin vergelijkbaar met hoe onze hersenen informatie verwerken. Er wordt daarbij niet alleen gekeken naar spectrale informatie van de pixels, maar ook naar de ruimtelijke samenhang in de pixels op verschillende schaalniveaus. TensorFlow-modellen vormen daarbij de kern in de ENVI deep learning module. Alhoewel TensorFlow een open-sourcebibliotheek is die ENVI gebruikt om deep learning-taken uit te voeren, is het grote voordeel van ENVI de gebruikersvriendelijke interface om alle stappen in het gecompliceerde proces te doorlopen. Een TensorFlow-model moet worden getraind om naar specifieke kenmerken te zoeken met behulp van een set invoerlabelrasters die



bekende voorbeelden van de kenmerken aangeven (zie ook I3harrisgeospatial.com voor meer informatie).

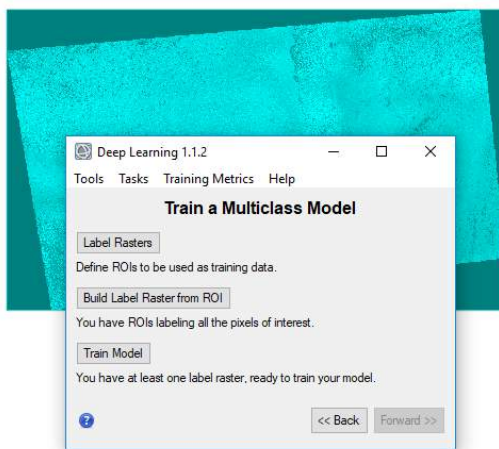
De volgende methodische stappen worden genomen in het proces van deeplearning. Het begint met het trainen van het deeplearning model voor een kleiner gebied waarvoor trainingsdata beschikbaar is. Omdat ENVI niet goed met het RD-projectie over weg kan, wordt wel alle data (drone beelden en trainingsdata) van tevoren omgezet naar UTM32N projectie.



Figuur 11 Maken subset pilot gebied met daarin het RGB-dronebeeld en de trainingsdata op basis waarvan een label Raster gemaakt wordt.

De puntenshapefile met de trainingsdata voor de verschillende klassen kon worden omgezet in ENVI tot een ROI (Region of Interest). Vervolgens kon op basis hiervan een LabelRaster worden vervaardigd.

Train a new model > train a multi-class model > build label raster from ROI

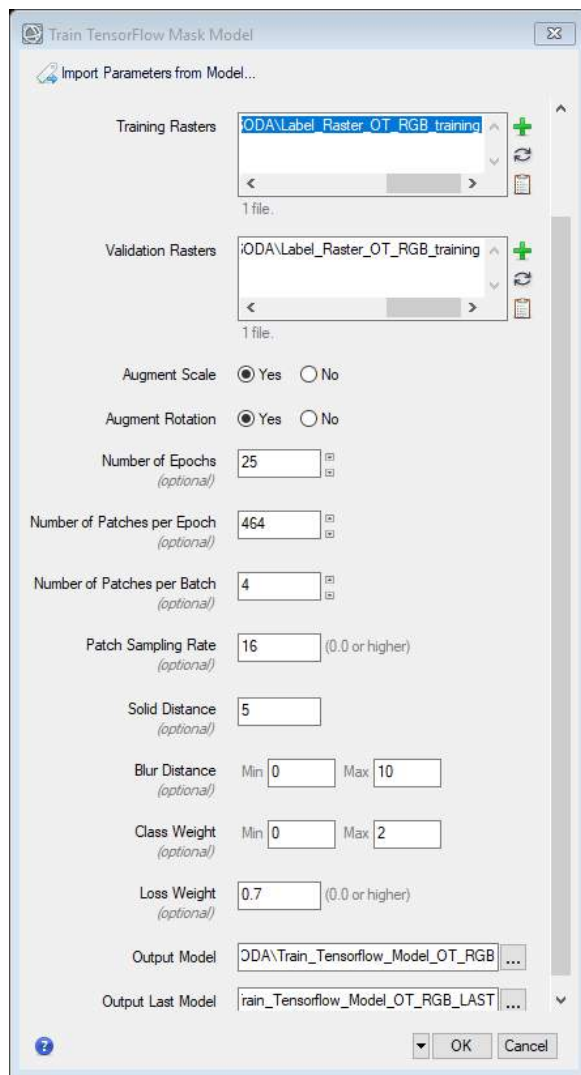


Figuur 13 Maken van een multiclass label Raster op basis van de trainingsset (ROI) en het dronebeeld.



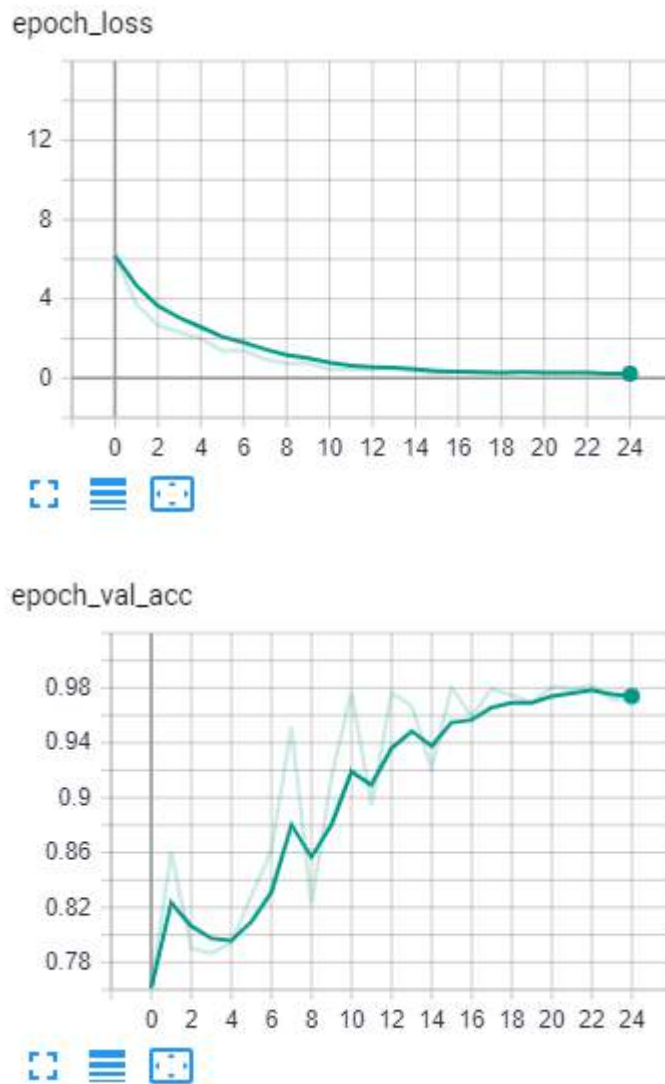
Vervolgens kon een model worden getraind op basis van dit LabelRaster met zeer specifieke parameter settings, die hieronder gespecificeerd worden. Het is echter een lange zoektocht naar de juiste parameters settings. Gelukkig kan daarin gebruik worden gemaakt van de Deeplearning Randomizer die het trainingsmodel runt met vele verschillende parameter settings. Alle classificatieresultaten moeten dan alleen vergeleken worden op het beste resultaat. De parameter settings uit het beste resultaat kunnen dan worden overgenomen.

Train model



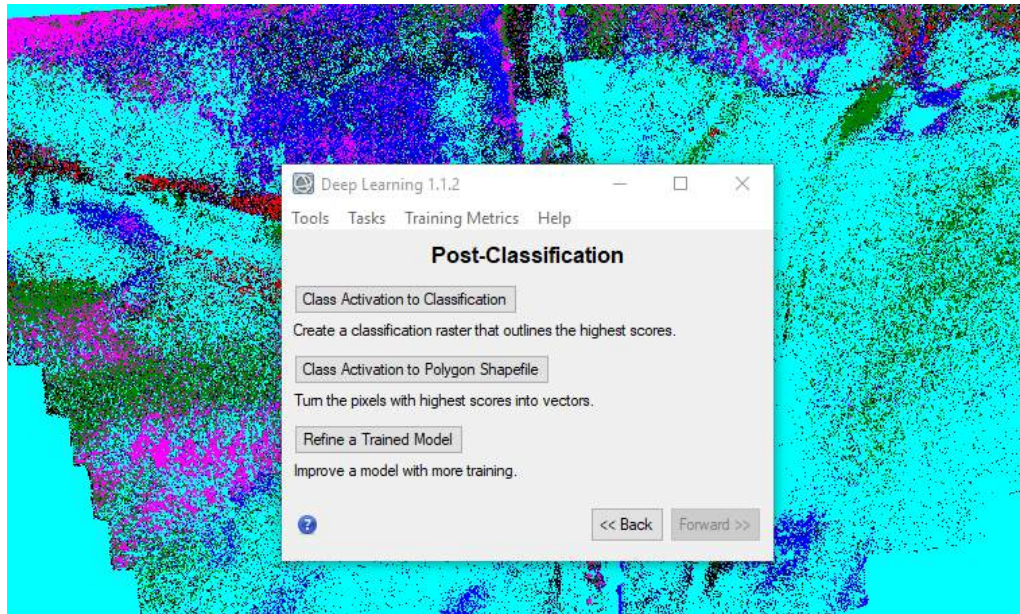
Figuur 14 Parameter setting die gebruikt is om het deeplearning model te trainen.

Terwijl het model 25 gerund wordt (25 epochs) kan men in het Tensor dashboard zien hoe het model zichzelf traint, waaronder de 'epoch_loss' die onder de 1 moet komen en de epoch validation accuracy die rond de 1 moet uitkomen, zie figuur 15.



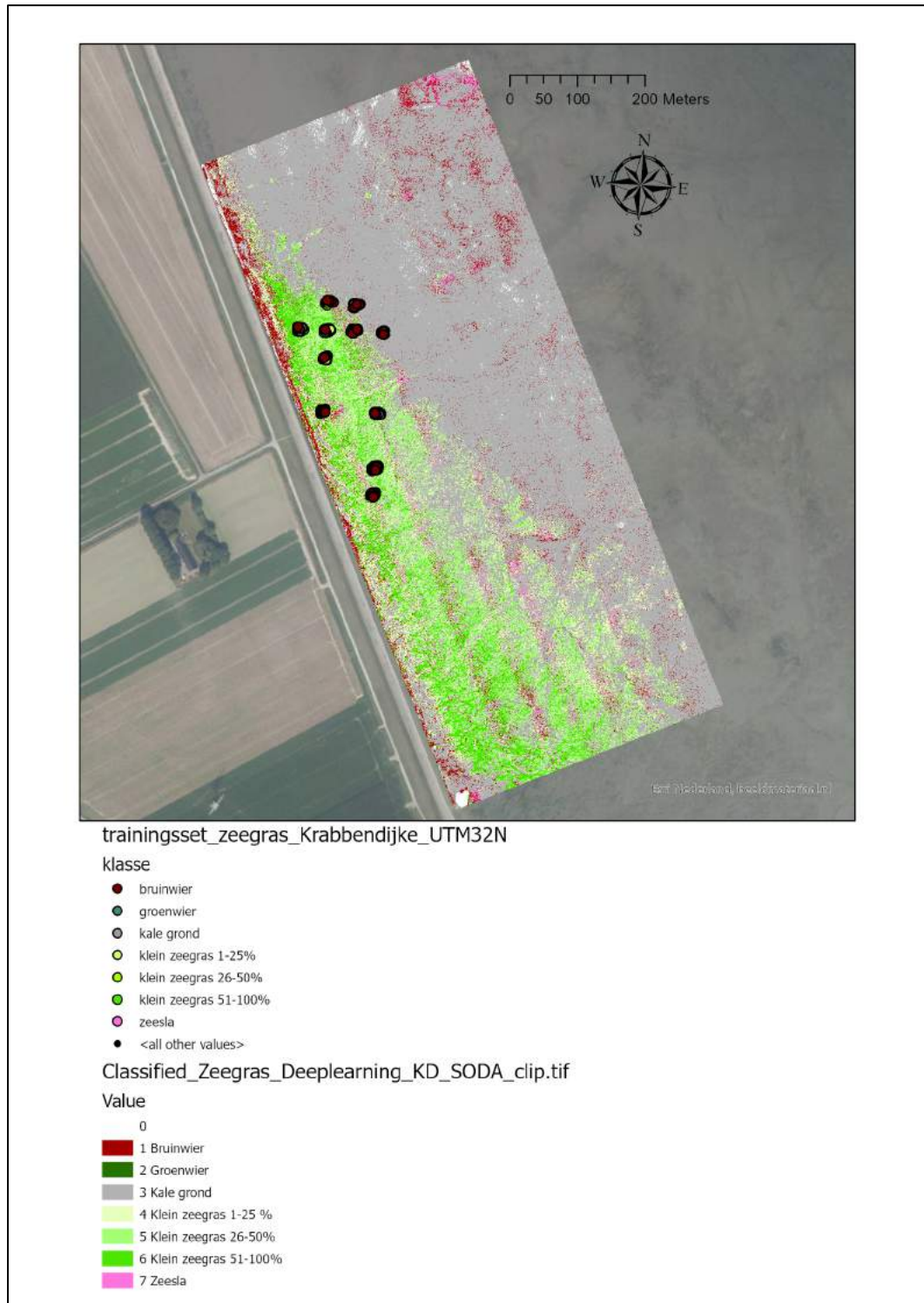
Figuur 15 Voorbeelden uit het Tensorflow dashboard terwijl het model getraind wordt in verschillende epochs.

Als het deeplearning model eenmaal getraind is kan het worden toegepast op andere dronebeelden. Dit gebeurt in de laatste stap 'Classify a Raster using a Trained Model'. Nadat de classificatie klaar is kan men het model nog verder fine-tunen in een post-classificatie.

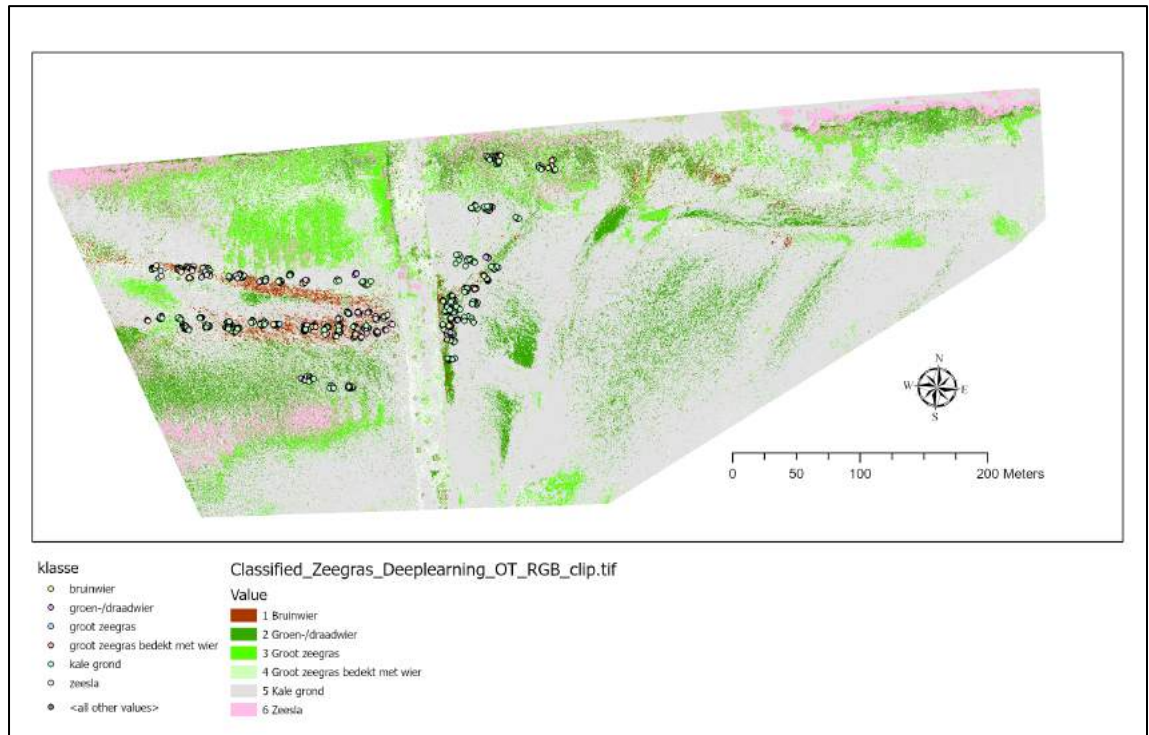


Figuur 16 De uiteindelijke classificatie die op basis van het getrainde deeplearning model gemaakt is kan in post-classification step nog mogelijk verbeterd worden.

Beide pilotgebieden zijn apart getraind op basis van een trainingsset met daarin de specifieke vegetatieklassen. De resultaten van de deeplearning classificatiemethode voor Krabbendijke en Oude Tonge op basis van het RGB-dronebeelden van 21 Juli 2020 en specifieke trainingsdataset worden hieronder getoond.



Figuur 17 Resultaat deeplearning classificatiemethode voor Krabbendijke op basis van het RGB drone beeld van 21 Juli 2020 en een trainingsdataset



Figuur 18 Resultaat deeplearning classificatiemethode voor Oude Tonge op basis van het RGB dronebeeld van 21 Juli 2020 en een trainingsdataset

3.4 Validatie en vergelijking resultaten met MWTL-metingen 2020

Om de resultaten van de classificaties te toetsen is een validatie uitgevoerd op basis van 'ground truth' data (handmatig ingetekende punten op basis van 3mm resolutiedetailfoto's). Een overzicht van deze validatiepunten per klasse is opgenomen in paragraaf 3.2.

Naast deze validatie is er een vergelijking gemaakt met de bedekkingen uit de reguliere zeegraskartering die in beide gebieden in dezelfde week is uitgevoerd. Voor de reguliere kartering worden de bedekkingen van zeegrassen in het veld ingeschat per 20x20 meter gridcel. Voor details over de reguliere kartering wordt verwezen naar de bijbehorende rapportage (Schutter *et al*, 2020). De validatie en vergelijking met de reguliere kartering zijn alleen uitgevoerd op de classificaties met het beste resultaat (deeplearning classificatieresultaat op basis van het RGB-dronebeelden).

Validatie 'ground truth'

Van alle validatiepunten is bepaald tot welke klasse deze locaties zijn geclassificeerd met behulp van de Spatial Analyst functie 'Extract Values to Points' in ArcMap. De attribuuttabel van het resultaat bevat een kolom met de visueel vastgestelde klasse (uit de detailfoto's) en het classificatieresultaat. Door deze kolommen in een kruistabel te combineren kan een 'confusion matrix' worden gecreëerd (zie onderstaand kader voor een toelichting).



Confusion matrix

Een confusion matrix is een tabel die weergeeft welk deel van de validatieset goed en welk deel niet goed wordt geïdentificeerd (en als wat dan wel). In de rijen staan alle punten die vanuit de detailfoto's als een bepaald type benoemd zijn, in de kolommen de bijbehorende pixels die als een bepaald type worden geïdentificeerd. De meest rechtse rij, de producer accuracy, geeft weer welk percentage van de veldpixels juist wordt geïdentificeerd. Andersom laat de onderste rij, de user accuracy, zien welk percentage van geïdentificeerde pixels overeenkomt met het veldtype.

Tabel 2 Confusion matrix classificatie Oude Tonge.

		classificatie								
		bruinwier	groen-/draadwier	groot zeegras	groot zeegras bedekt met wier	kale grond	zeesla	unclassified		totaal
in situ	bruinwier	80	8					14	102	78%
	groen-/draadwier		57	1			19	1	78	73%
	groot zeegras		17				8		25	0%
	groot zeegras bedekt met wier		1				1	1	3	0%
	kale grond		1	14		142	3	12	172	83%
	zeesla		6	1			27		34	79%
	unclassified									0%
	totaal	80	90	16		142	58	28	414	
	100%	63%	0%	0%	100%	47%	0%		74%	

Het classificatieresultaat voor groot zeegras op de Plaat van Oude Tonge is slecht. Geen enkele van de als groot zeegras benoemde punten uit de validatieset is ook als groot zeegras geïdentificeerd. Daarnaast zijn er 16 punten als groot zeegras geïdentificeerd die op basis van de detailfoto's tot een ander type zijn gerekend, met name kale grond (14 punten).



Tabel 3 Confusion matrix classificatie Krabbendijke

		classificatie								
		bruinwier	groenwier	kale grond	klein zeegras 1-25%	klein zeegras 26-50%	klein zeegras 51-100%	zeesla		
in situ	bruinwier	46		1	1		4	2	54	85%
	groenwier	3	0					1	4	0%
	kale grond			98	16				114	86%
	klein zeegras 1-25%	2		15	31	19	2	12	81	38%
	klein zeegras 26-50%	1			5	36	10	10	62	58%
	klein zeegras 51-100%	4				3	43		50	86%
	zeesla	3			4		2	2	11	18%
	totaal	59	0	114	57	58	61	27	376	
		78%	0%	86%	54%	62%	70%	7%		68%

Het classificatieresultaat voor klein zeegras bij Krabbendijke is matig tot goed (38% / 54% voor lage bedekkingen, 70% / 86% voor hoge bedekkingen). Naast dat er verwarring is tussen de verschillende bedekkingsklassen van klein zeegras, is er in de laagste bedekkingsklasse veel verwarring met kale grond. Van de 81 punten uit de validatieset waarop uit de detailfoto's bleek dat er lage bedekkingen klein zeegras aanwezig waren is slechts bij 31 punten de juiste zeegras bedekking geclassificeerd (bij 21 punten is een hogere bedekking geclassificeerd en bij 29 geen zeegras bedekking). De laagste bedekkingen zijn dus niet goed te onderscheiden op basis van de toegepaste technieken en gebruikte fotobeelden. Bij hogere bedekkingen worden de nauwkeurigheden beduidend beter.

Vergelijking reguliere kartering

Voor de vergelijking met de reguliere kartering zijn de classificaties vertaald naar bedekkingen per 20x20m gridcel. Vanuit de classificatie van Oude Tonge is per pixel bekend of deze tot groot zeegras is geclassificeerd. De interne bedekking binnen een groot zeegras plant is ingeschat op 50% (een pol zeegras bestaat dus van boven gezien voor 50% uit blad en 50% uit kale grond). Voor elke pixel is dus de helft van het oppervlak gerekend tot oppervlak zeegras. De bedekking binnen elke gridcel is bepaald met de volgende formule:

$$\frac{\text{Aantal pixels zeegras} * 50\%}{\text{Aantal pixels}}$$

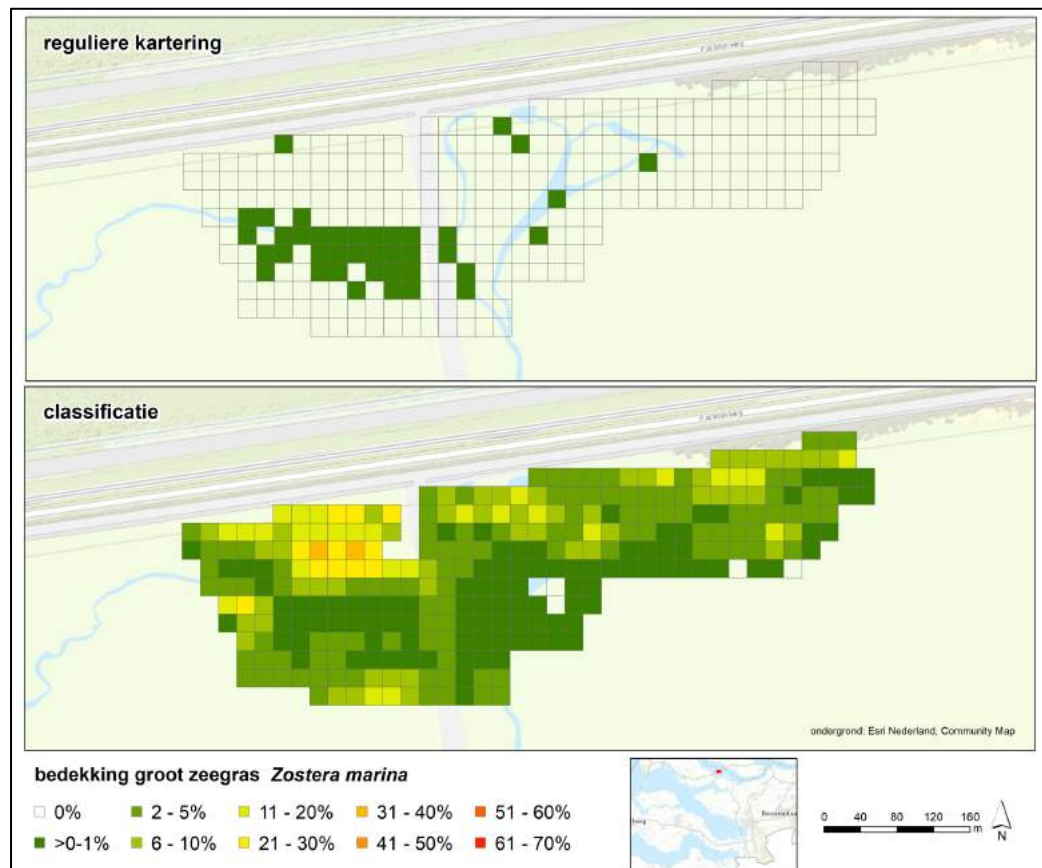
Vanuit de classificatie van Krabbendijke is per pixel bekend of deze tot klein zeegras is geclassificeerd en met welke bedekking (1-25%, 26-50%, 51-100%). Voor de vergelijking met de reguliere kartering is de bedekking op gridcel niveau op twee manieren bepaald: een vertaling naar bedekking op basis van de klasse middens (respectievelijk 13%, 38%



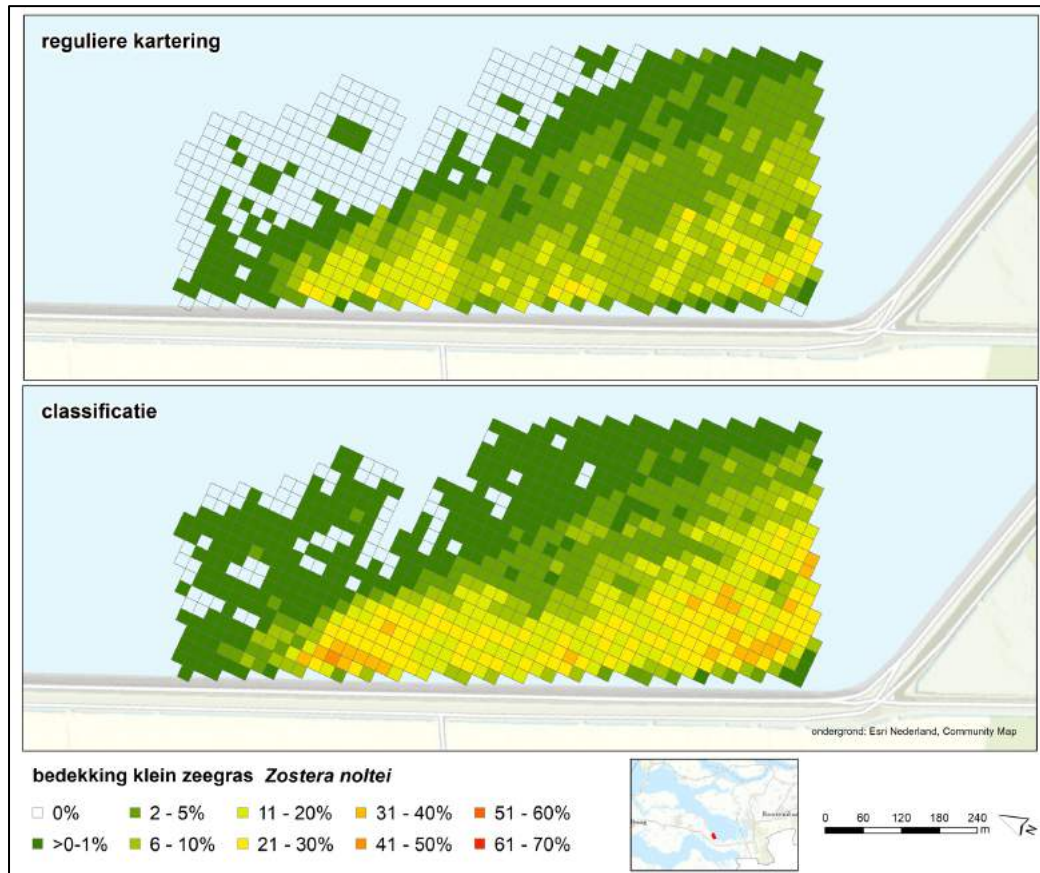
en 75%) en op basis van de klasse minima (1%, 26%, 51%). Hieruit werd duidelijk dat de classificatie een veel hogere bedekking geeft dan de kartering in het veld. Op basis van deze constatering is geconcludeerd dat een vergelijking op basis van de klasse minima beter overeenkomt. De gepresenteerde vergelijkingen voor Krabbendijke zijn dan ook op basis van de klasse minima. De klein zeegras bedekking binnen elke gridcel is bepaald met de volgende formule (Via de ArcGIS Spatial Analyst tools 'Reclassify' en 'Zonal Statistics'):

$$\frac{\begin{aligned} & \text{Aantal pixels '1 - 25%' * 1\%} \\ & \sum \text{Aantal pixels '26 - 50%' * 26\%} \\ & \text{Aantal pixels '51 - 100%' * 51\%} \end{aligned}}{\text{Aantal pixels}}$$

De kaartweergave van de vergelijking van het classificatieresultaat en de reguliere kartering is weergegeven in figuur 19 en 20.



Figuur 19 Vergelijking groot zeegras bedekkingen vanuit de reguliere kartering (boven) en de deep learning classificatie (onder) op 20x20m gridcellen voor Oude Tonge.



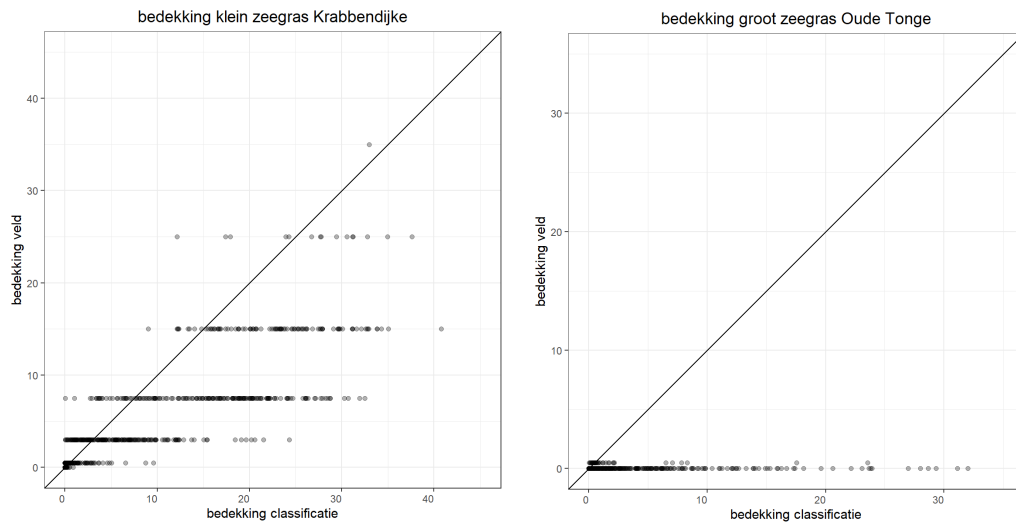
Figuur 20 Vergelijking klein zeegras bedekkingen vanuit de reguliere kartering (boven) en de deep learning classificatie (onder) op 20x20m gridcellen voor Krabbendijkje.

In figuur 21 zijn de bedekkingen vanuit de classificaties en de reguliere kartering voor beide gebieden als scatterplot tegen elkaar uitgezet. De Confusion Matrices met de vergelijking tussen de bedekkingen op basis van de reguliere kartering en de classificaties is weergegeven in tabel 4.

Tabel 4: Confusion Matrices met de vergelijking tussen de veldschatting op basis van de reguliere MWTL-kartering en de berekende bedekking op basis van de classificaties. Links de Confusion Matrix van Krabbendijkje, rechts van Oude Tonge.

		Krabbendijkje (klein zeegras)								
		classificatie								
		0	0,5	3	7,5	15	25	35	45	totaal
veldschatting	0	31	185							216
	0,5	5	152	35	4					196
	3		17	83	66	24	4			194
	7,5		1	13	31	74	48	4		171
	15				1	29	51	14	1	96
	25					3	6	6		15
	35								1	1
	totaal		36	355	131	102	130	109	25	1

		Plaat van Oude Tonge (groot zeegras)						
		classificatie						
		0	0,5	3	7,5	15	25	totaal
veldschatting	0	2	74	106	47	28	13	270
	0,5		33	2	4			39
	totaal	2	107	108	51	28	13	309



Figuur 21 Scatterplots met de vergelijking van zeegras bedekkingen vanuit de reguliere kartering en de deep learning classificaties op 20x20m gridcellen voor Krabbendijke (links) en Oude Tonge (rechts).

Ook in de vergelijking met de reguliere kartering valt direct op dat er vrijwel geen overeenkomst is in het resultaat van de groot zeegras classificatie van Oude Tonge. Er zijn grote delen van het gebied geclassificeerd als groot zeegras waar in het veld geen zeegras bedekking is vastgesteld.

Voor de klein zeegras bedekkingen bij Krabbendijke is de overeenkomst in kaartbeeld een stuk beter. De bedekkingen op basis van de classificaties liggen een stuk hoger dan de geschatte bedekkingen in het veld (zie ook de punt met wolken rechtsonder de diagonale lijn in de grafiek in figuur 21). Cellen met een lage of geen bedekking worden vaak verkeerd geclassificeerd waardoor langs de buitenranden van het zeegrasveld een ander kaartbeeld ontstaat. De classificatie lijkt voor deze lage bedekkingen dus niet goed bruikbaar.

3.5 Analyse spectrometer

Op 21 juli zijn naast de droneopnamen ook spectrometer metingen uitgevoerd met de ASD FieldSpec HandHeld 2. Dit is een draagbare spectroradiometer die snelle en precieze metingen uitvoert zonder het gemeten object te raken of te beschadigen. Het is een spectrometer die in de range van 325 tot 1075 nm meet. Het apparaat levert nauwkeurige en snel beschikbare reflectiemetingen in diverse omstandigheden. Een wit referentiepaneel wordt gedurende de metingen gebruikt om het apparaat te kalibreren. Figuur 22 toont een voorbeeld van hoe de metingen worden uitgevoerd in het veld. In Tabel 5 is het aantal metingen per klasse weergegeven.



Figuur 22 Meting klein zeegras bij Krabbendijke met de handheld Fieldspec Pro

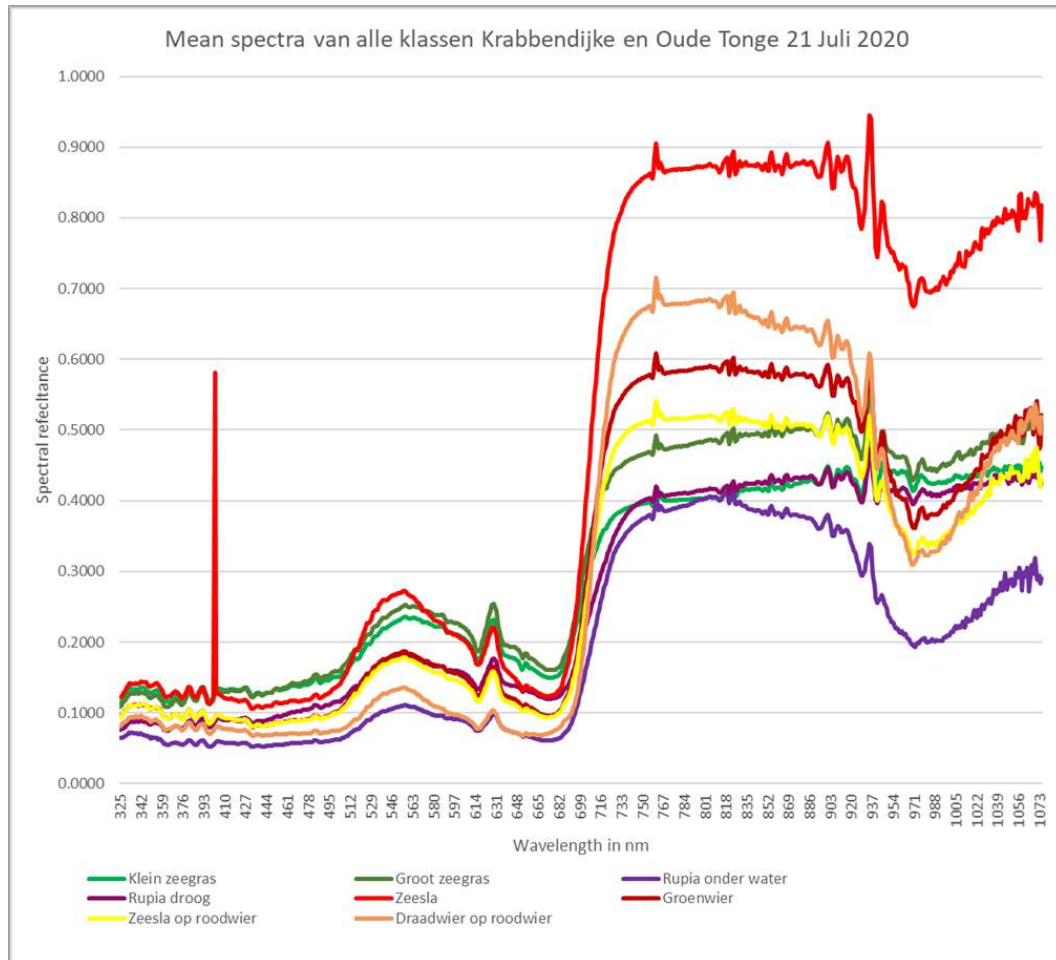
Tabel 5 Overzicht van het aantal Fieldspec Pro metingen per klasse

klasse	Fieldspec metingen
groot zeegras	8
klein zeegras	30
ruppia onder water	8
ruppia droog	7
zeesla	2
zeesla op roodwier	2
groenwier	2

De gemiddelde waarden van gemeten reflecties per klasse is weergegeven in Figuur 23. De losse metingen zijn per klasse als grafieken opgenomen in bijlage III.

Uit deze Fieldspec metingen kunnen een aantal conclusies worden getrokken, met de kanttekening dat voor verschillende klassen het aantal metingen met de handheld ASD Fieldspec vrij beperkt was.

Een eerste voor de hand liggende conclusie is dat als we kijken naar spectra 'ruppia onder water' of 'ruppia droog' is dat een dunne waterlaag al een groot effect heeft op de reflectie in het nabij infrarood. Dit gegeven maakt het dus soms al vrij lastig om bepaalde klassen goed te detecteren omdat van tevoren niet bekend is of de klasse geheel droog staat of nog gedeeltelijk onder water.



Figuur 23 Gemiddelde reflectiewaarden van de verschillende klassen.

Een tweede voor de hand liggende conclusie is dat de gebruikte spectrale kanalen (RGB en multispectraal), blauw (440-460 nm), groen (530-570 nm), rood (640-680 nm), red-edge (730-740 nm), en nabij-infrarood (770-810 nm) belangrijke spectrale banden zijn om een onderscheid te kunnen maken. Ter herinnering, de banden die voor deze pilot met de drone zijn ingemeten zijn groen, rood, Red Edge en Nabij Infrarood op 5cm resolutie en rood, groen, blauw op 1,5cm resolutie.

Zodra de vegetatie onder water staat is alleen de blauwe band (400-500 nm) in staat om tot op grotere diepte door te dringen, en gaat daarmee een grotere rol spelen. Verder zal nabij infrarood een grote rol spelen bij het onderscheid van de vegetatieklassen. Beide soorten zee gras tonen sterke overeenkomst in het visuele spectrum (RGB) met de klasse zeesla. In zowel Red Edge als nabij infrarood onderscheidt zeesla zich wel goed van de andere klassen.

Bij klein zee gras en groot zee gras is het onderscheid duidelijker in het nabij infrarood, dan in het groen of rood. Echter staan de vegetatieklassen onderwater dan kan nabij-infrarood niet meer betrouwbaar worden gebruikt, de reflecties in dit spectrum worden grotendeels geabsorbeerd door water.



4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Inwinning dronebeelden

Door de reflectie van het natte karteeroppervlak bleek het lastig om goede beelden te verzamelen voor automatische classificatie. De fixed-wing Ebee drone heeft als groot voordeel dat er grote oppervlaktes kunnen worden ingewonnen met relatief weinig batterijverbruik. Groot nadeel is dat dit type drone geen gimble heeft waardoor de kijkhoek, en dus de reflectie van natte oppervlaktes zoals bij zeegras, bij elke vliegbaan net even anders is. Dit resulteert in duidelijke kleurverschillen per vliegbaan en maakt de beelden voor betrouwbare automatische verwerking eigenlijk vrijwel onbruikbaar.

Met een multicopter drone met gimble (zoals de Phantom 4 Pro die gebruikt is in deze pilot voor de RGB orthofoto van Oude Tonge) zijn deze patronen veel minder nadrukkelijk aanwezig. Nadeel van dit type drone is dat ze veel minder efficiënt vliegen waardoor het batterijverbruik relatief hoog is. Voor het gebied bij Oude Tonge (18 ha) waren bijvoorbeeld al 2 batterijen nodig om het gebied vlakdekkend in beeld te brengen van 50m hoogte. Met het oog op de opschaalbaarheid van de innovatieve methode wordt daarom aanbevolen te kiezen voor het gebruik van een fixed-wing drone. Het gebruik van een multicopter drone levert namelijk beperkingen op door het aantal benodigde batterijen, de vliegduur per vlucht en daarmee dus extra tijdsinspanning en kosten voor het inwinnen van een groter gebied.

Detectie groot zeegras

Groot zeegras kon in deze pilot niet goed worden gedetecteerd met de verzamelde dronebeelden en toegepaste technieken. Dit komt deels doordat er te weinig trainingsdata beschikbaar was en deels doordat groot zeegras op de resolutie van de gebruikte beelden (ruimtelijk en spectraal) niet goed te onderscheiden is van andere klassen. Met name zeesla toont in het RGB-spectrum sterke overeenkomsten met de eigenschappen van groot zeegras zoals in de spectrometer analyse naar voren komt. De multispectrale beelden konden niet goed worden gebruikt in de classificatie. Door de sterke kleurverschillen in de orthofoto's voor verschillende vliegbanen was betrouwbare classificatie niet goed mogelijk. Naast dat er te weinig planten zijn aangetroffen voor een voldoende grote trainingsset was het voorkomen van de groot zeegras planten erg divers. Veel planten hadden deels overlap met wieren en bijna de helft van de planten stond in ondiep water (in de geul ten oosten van de strekdam). De spectrale eigenschappen van de klasse groot zeegras was dus zo divers dat mede daardoor geen betrouwbare classificatie kon worden gemaakt. Voor het opsplitsen in de klassen 'groot zeegras onder water' en 'groot zeegras droog' waren te weinig punten beschikbaar. De pilotgebieden zijn dus helaas ongeschikt gebleken om de classificatie goed uit te kunnen voeren voor deze soort.

Detectie klein zeegras

Klein zeegras kon op basis van de RGB orthofoto's en deep learning technieken redelijk worden onderscheiden van andere bedekkingstypen. Voor de lagere bedekkingsklassen was de betrouwbaarheid matig (38% / 54% betrouwbaarheid) Vooral het onderscheid



tussen lage bedekkingen klein zeegras en kale grond is moeilijk te maken op basis van de RGB beelden en deeplearning technieken. Bij hogere bedekkingen (>50%) wordt de betrouwbaarheid van de classificatie een stuk hoger (70% / 86% betrouwbaarheid). De patronen van de velden met hogere dichtheden uit de reguliere kartering zijn dan ook goed terug te zien op het classificatieresultaat. Over het algemeen worden de bedekkingen op basis van de classificatie hoger ingeschat dan de bedekkingen die in het veld zijn ingeschat.

Detectie snavelruppia

Voor snavelruppia was te weinig trainingsdata beschikbaar om een classificatie uit te voeren. De pilotgebieden bleken ongeschikt om te onderzoeken of een classificatie van deze soort op basis van dronebeelden mogelijk is.

Onderscheid tussen soorten

Binnen de pilotgebieden komen de verschillende soorten zeegrassen niet gemengd voor. Alleen op de Plaat van Oude Tonge komen zowel groot zeegras als snavelruppia voor, maar in dusdanig lage bedekkingen dat snavelruppia niet kon worden meegenomen in de analyses en voor groot zeegras te weinig trainingsdata kon worden gebruikt om een betrouwbare classificatie uit te voeren. Op basis van de spectrometer analyse lijkt een onderscheid tussen de zeegras soorten in het nabij-infrarode spectrum mogelijk. De multispectrale beelden toonden echter grote kleurafwijkingen tussen de verschillende vliegbanen waardoor deze ongeschikt bleken voor de classificaties.

Reproduceerbaarheid en verifieerbaarheid

De dronebeelden, trainingsdata en spectrometer resultaten die voor deze pilot gebruikt zijn worden als digitale bijlage beschikbaar gesteld om de analyses te kunnen reproduceren. De stappen en de instellingen voor de deeplearning classificaties zijn opgenomen in paragraaf 3.3 en de methode voor het aanmaken van de trainingsset is beschreven in paragraaf 3.4. De opzet van de pilot is hiermee reproduceerbaar en verifieerbaar.

Toepasbaarheid in andere gebieden

In principe is de toegepaste methode ook inzetbaar voor andere gebieden. Het is wel zo dat er aanvullende klassen nodig zijn in de trainingsset als er andere typen bedekkingen binnen een gebied aanwezig zijn (mosselvelden, schorbegroeiing, andere typen wier, etc.). Daarnaast is het voor de fixed-wing drone noodzakelijk dat er in de buurt van het studiegebied een mogelijkheid is om te landen (een strip lage vegetatie of droge kale grond van ca 20 x 20 m). Voor een multi-rotor drone is deze beperking een stuk kleiner. Deze typen drones kunnen vanaf een klein platform (boot of plateau) of een vlak stuk droge ondergrond starten en landen.

Enkele groeiplaatsen van zeegrassen vallen onder gecontroleerd luchtruim (bijvoorbeeld CTR-gebieden Woensdrecht, De Koog). Voor deze gebieden is een aanvullende toestemming vereist (naast N2000 toestemming).



Kostenvergelijking

Aangezien de pilot nog geen voldoende betrouwbare resultaten heeft opgeleverd om als alternatief te worden gebruikt voor de reguliere kartering heeft een uitgewerkte kostenvergelijking in dit stadium weinig zin.

De tijdsinspanning die nodig was voor de inwinning van beide gebieden met 2 typen sensoren (RGB 1,5 cm resolutie en multispectraal 5cm resolutie) is circa 5 uur met twee verschillende dronepiloten, dus in totaal 10 uren. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de twee pilotgebieden een eind uit elkaar liggen (ca 45 minuten rijden). In totaal ging het in de 2 gebieden om 1250 gridcellen van 20 x 20 m (50 ha). Bij de reguliere inwinning in het veld wordt gerekend met ca. 1 minuut per cel, dus in totaal ca. 21 uren. Uiteraard zal de tijdswinst toenemen naarmate het oppervlak van het inwingebied groter is.

Voor het aanmaken van de trainingsset, classificaties en de spectrometer analyse is in deze pilot ca 120 uur besteed. Dit is (veel) meer dan bij de reguliere methode (maar dat is gebaseerd op de verwerking van alle zeegrasgebieden van de Waddenzee en de Delta); ook hiervoor geldt dat bij opschaling dit verschil veel kleiner zal worden en wellicht kan om slaan.

Een eerste grove inschatting om alle karteergebieden in de Oosterschelde met een drone in beeld te brengen is dat dit in circa 5 geschikte vliegdagen moet kunnen met fixed wing drone vanaf 60m hoogte. Met een multi-rotor drone en/of bij een hogere benodigde resolutie is mogelijk meer tijd nodig. Nadeel is dat de opnames alleen rond laagwater genomen kunnen worden bij niet te veel wind en bij voorkeur lichte sluibewolking. In hoeverre de trainingsset van het ene gebied rechtstreeks bruikbaar zijn voor een ander gebied moet dan nader onderzocht worden. Het zal vrijwel zeker nodig zijn aanvullende trainingssets en classificatie modellen te ontwikkelen voor verschillende gebieden (door andere lichtomstandigheden, wellicht andere aanwezige bedekkingstypen). Per afzonderlijke classificatie is ongeveer een dag nodig voor het aanmaken van trainingsdata en het trainen van een deeplearning model.

De pilot heeft aangetoond dat een validatie goed is uit te voeren op basis van de detailopnamen. De zeegrassen zijn op de detailopnamen zeer goed te herkennen en de nauwkeurigheid van de classificaties is dan ook goed te beoordelen op basis van een validatieset uit deze detailopnamen. De eis dat een vergelijking met de regulieren inwinning direct mogelijk moest zijn en dat de pilot binnen 5 dagen van de reguliere inwinning uitgevoerd moest worden was voor de validatie niet nodig. Het bleek een grote beperking ten aanzien van de uitvoerbaarheid van de pilot en was voor het valideren van de innovatieve methode niet noodzakelijk.

4.2 Kansen voor de toekomst en aanbevelingen

De pilot heeft geen betrouwbare methode opgeleverd die direct ingezet kan worden voor de MWTL-monitoring van zeegras. Voor groot zeegras en snavelruppia bleken binnen de pilotgebieden te weinig planten te groeien om voldoende trainingsdata te creëren. Aanvullend onderzoek is nodig in een gebied waar beide soorten in hogere dichtheden voorkomen om uitsluitel te gevel over deze soorten. Balgzand of Griend kunnen hier geschikte gebieden voor zijn.



Voor klein zee gras zijn de resultaten redelijk. Wellicht dat met enkele aanpassingen een betrouwbare methode kan worden ontwikkeld. Een eerste directe verbetering zou zijn om gebruik te maken van hoge resolutie multispectrale beelden voor de classificatie (met banden in de red-edge en nabij-infrarode spectra). Uit de spectrometer analyse is gebleken dat dit de meest onderscheidende banden zijn. Met name voor lage bedekkingen kan dit een grote verbetering zijn om onderscheid te maken tussen kale grond en ijle zee gras vegetatie. In deze pilot is wel gebruik gemaakt van een multispectrale camera, echter bleken de beelden niet bruikbaar door de grote kleurverschillen tussen verschillende vliegbanen. Om in de toekomst de (bi)directionele effecten te verkleinen wordt aanbevolen om altijd met een gimble ophanging op de camera te werken, zodat de camera altijd loodrecht naar beneden kijkt. Hoewel ook bij gebruik van een gimble bij natte oppervlaktes beperkt kleurverschillen binnen losse dronefoto's ontstaan (de weerspiegeling in de ene hoek is anders dan de weerspiegeling in de tegenovergestelde hoek). Bij het mozaïeken naar een dekkend fotobeeld zijn dus vaak, ook bij het gebruik van een gimble, patronen van vliegbanen zichtbaar wat automatische classificatie bemoeilijkt.

Waarschijnlijk zal bij het vliegen onder lichtbewolkte omstandigheden (egaal witte lucht) het probleem met kleurverschillen binnen een orthofotomozaïek niet optreden. De eisen die binnen deze pilot gesteld werden aan de planning van de fotovlucht rond de reguliere kartering stonden het helaas niet toe om aanvullend rekening te houden met de meest optimale omstandigheden.

Verder zou een onderscheid van zee grassen op basis van vorm of structuur mogelijk moeten zijn indien de pixelresolutie van de foto's dit toestaat. Op de detailfoto's met een resolutie van 3mm (opgenomen vanaf 10m hoogte) zijn de zee gras planten goed visueel te onderscheiden. Als visueel onderscheid op foto's goed mogelijk is dan zou dit ook met deep learning technieken mogelijk moeten zijn. Echter, voor opschaling naar grotere gebieden is inwinning op deze hoge resolutie niet realistisch op korte termijn. Ter indicatie; om het pilotgebied bij Oude Tonge (18 ha) dekkend in beeld brengen vanaf een hoogte van 10 meter zouden al meer dan 22 batterijen nodig zijn (en dus 22 losse vluchten). Het zee gras veld bij Groningerkust dat vlakdekkend gekarteerd wordt is ca 575 ha groot (ca 703 batterijen). Naast dat de inwinning op dit detailniveau praktisch moeilijk haalbaar is leidt een dekkend fotobeeld op deze resolutie tot enorme bestandsgroottes. Hierdoor zullen ook voor de beeldverwerking en analyse nieuwe uitdagingen ontstaan. Voor grote oppervlaktes is deze optie in de nabije toekomst dus waarschijnlijk niet realistisch. Voor kleinere gebieden of voor raaien kan dit echter wel op korte termijn worden ingezet, zeker wanneer deze op lastig te bereiken plaatsen liggen (bv westelijk deel noord-Groningen; Hond-Paap) kan dit tijdwinst opleveren ten opzichte van de reguliere methode (en minder risico's!). Hiervoor is wel aanvullend onderzoek nodig. Bovendien kunnen beperkingen ten aanzien van de vliegafstanden een rol spelen.

Verder wordt geadviseerd om de eis over de inwinning van de pilot binnen 5 dagen van de reguliere kartering te laten vervallen. Het uitvoeren van de werkzaamheden onder geschikte omstandigheden is al erg lastig te plannen door het beperkt aantal dagen met de juiste vlieg-omstandigheden. Extra eisen over vergelijkbaarheid met de reguliere inwinning in dit vroege stadium van het onderzoek naar een innovatieve methode is erg beperkend voor de uitvoerbaarheid.



De belangrijkste aanbevelingen voor de knelpunten die er nog liggen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Verbeteroptie	Vervolgonderzoek
Gebruik van betere orthofoto's (hogere resolutie, multispectraal, zonder duidelijke patronen van vliegbanen)	-Inwinning met een drone met gimble en een multispectrale sensor (bijvoorbeeld multi-rotor drone en een Parrot Sequoia camera). -Inwinning tijdens lichtbewolkte omstandigheden zodat er minder directe reflectie is van natte oppervlakten.
Hogere nauwkeurigheid lage bedekkingsklassen klein zeegras	-Gebruik maken van multispectrale dronefoto's. -Hogere pixelresolutie (lagere vlieghoogte of door gebruik van een zeer hoge resolutie camera)
Hogere nauwkeurigheid classificatie groot zeegras / snavelruppia	-Uitvoeren van een pilot in een gebied waar de soorten meer voorkomen (Balgzand, Griend) -Hogere pixelresolutie (lagere vlieghoogte of door gebruik van een zeer hoge resolutie camera) -Gebruik maken van multispectrale dronefoto's. -Nagaan of het vliegen van raaien op verschillende plaatsen in de Waddenzee een optie is

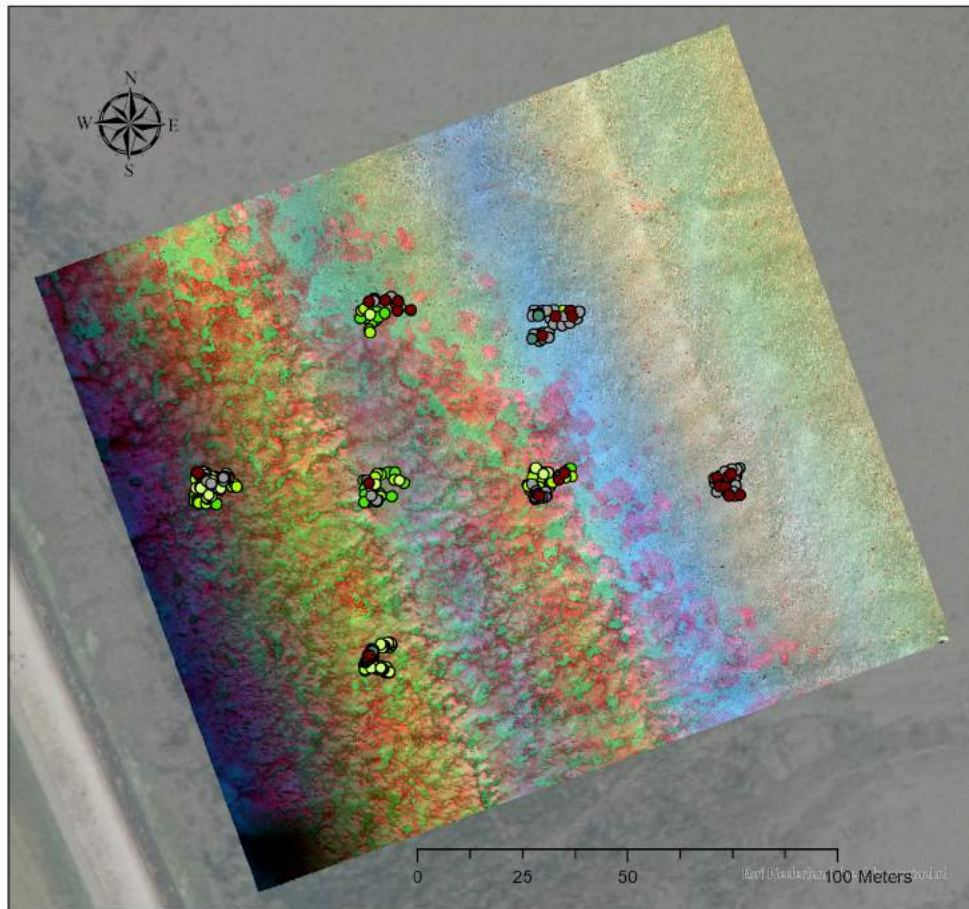


Literatuur

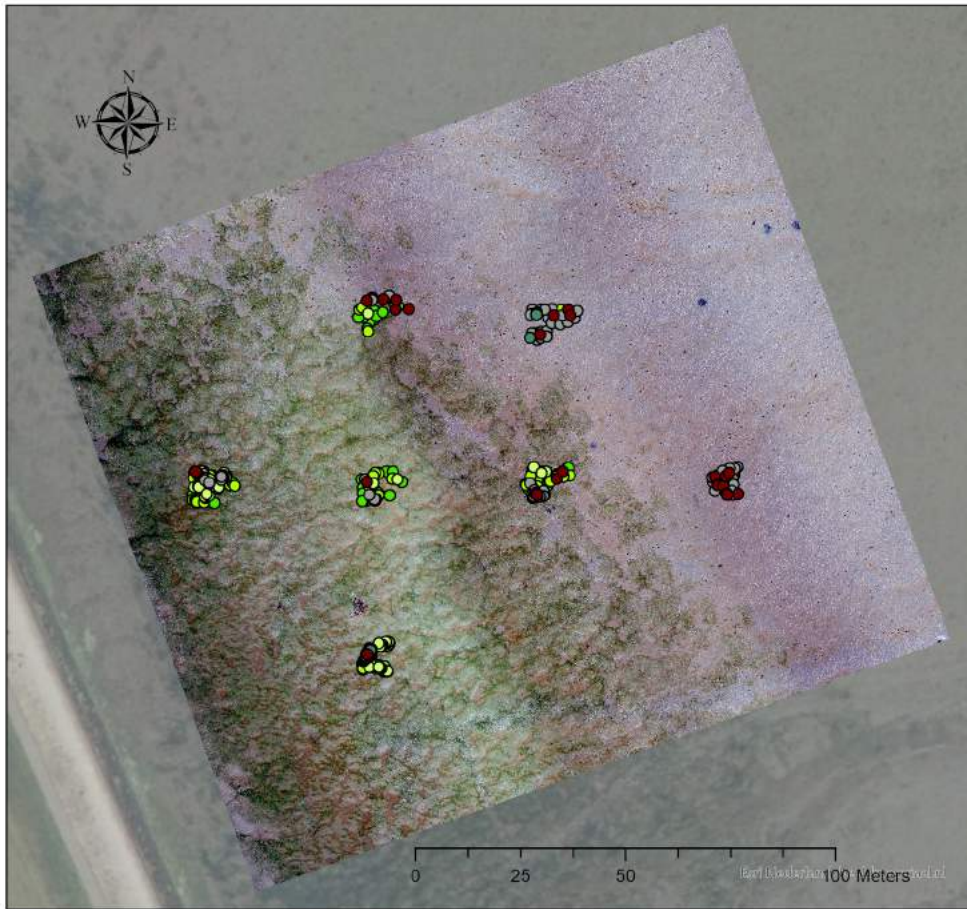
Schutter, M., de Jong, J., van Deelen J.J. 2020. Rapportage Zeegraskartering. Meetjaar 2020.
Bureau Waardenburg Rapportnr. 20-281 Bureau Waardenburg, Culemborg.



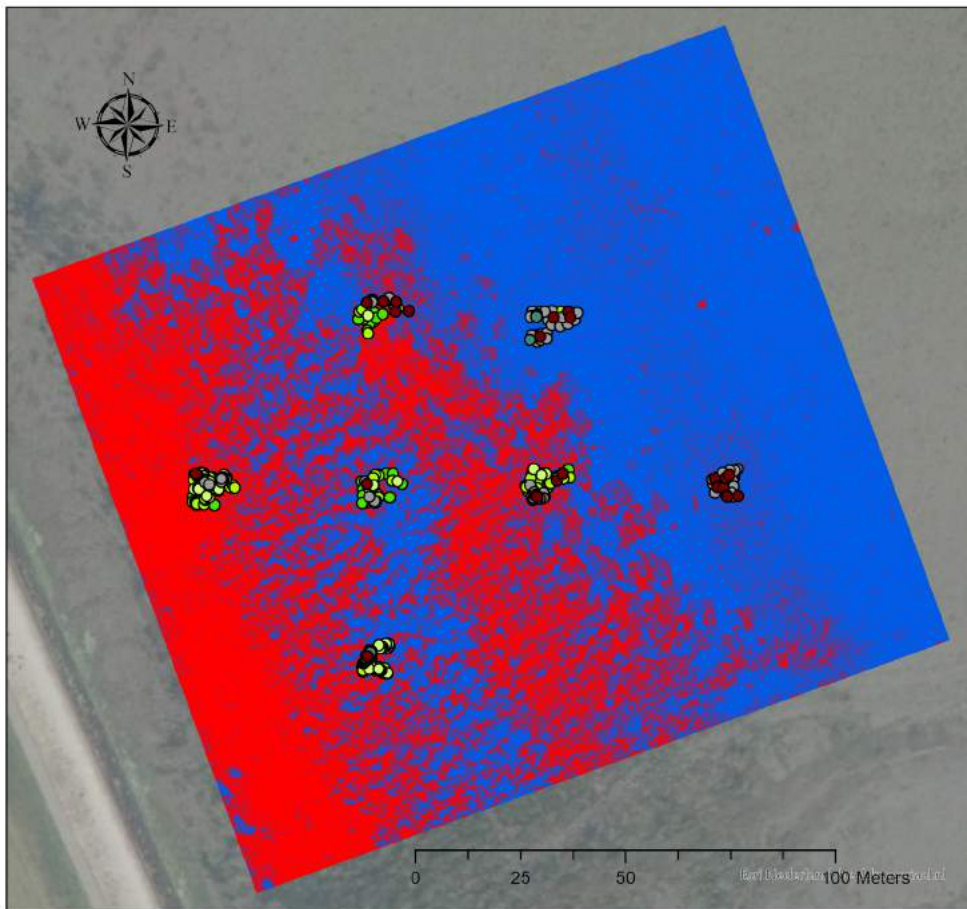
Bijlage I Figuren eerste verkenning classificatie methoden



Figuur multispectraal dronebeeld testgebiedje Krabbendijke met daaroverheen de trainingsdata



Figuur SODA (RGB) dronebeeld testgebiedje Krabbendijke met daaroverheen de trainingsdata



trainingsset_zeegras_Krabbendijke_UTM32N

klasse

- bruinwier
- groenwier
- kale grond
- klein zeegras 1-25%
- klein zeegras 26-50%

● klein zeegras 51-100%

● zeesla

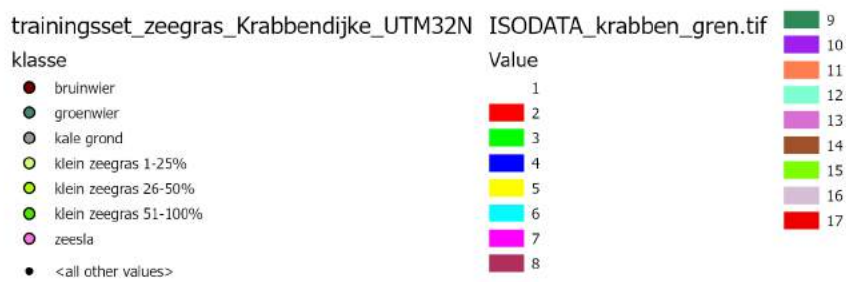
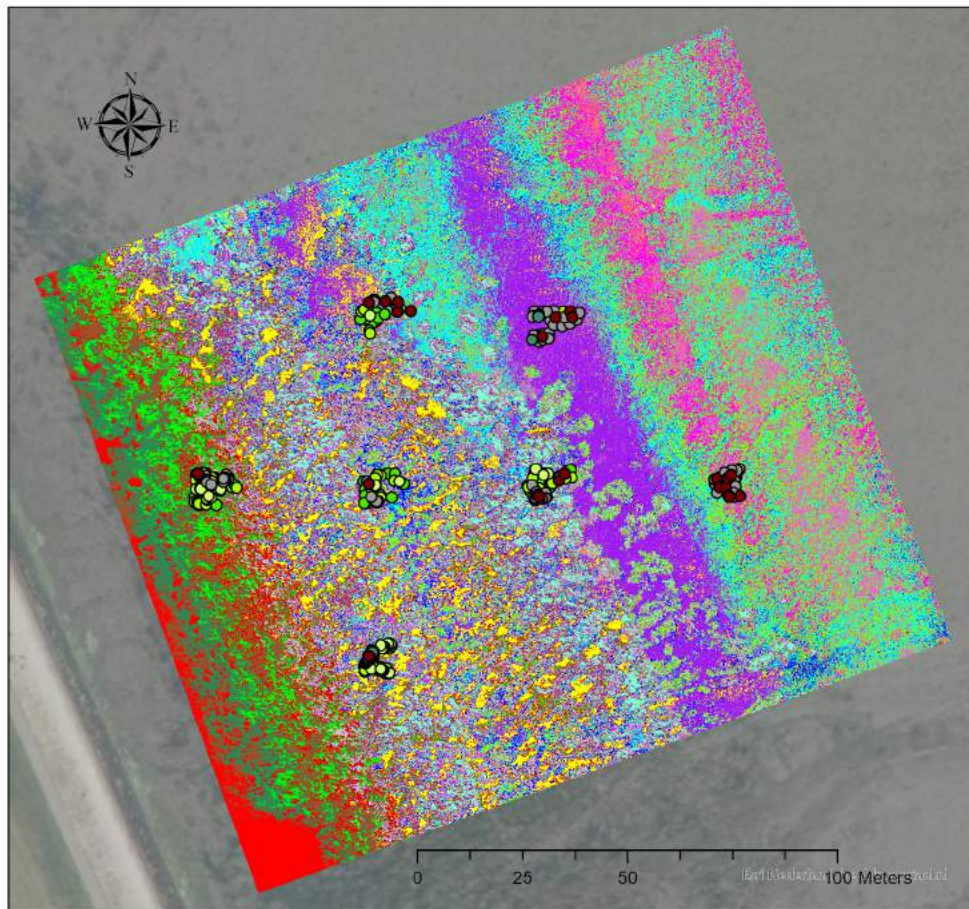
● <all other values>

ISODATA_krabben_SODA.tif

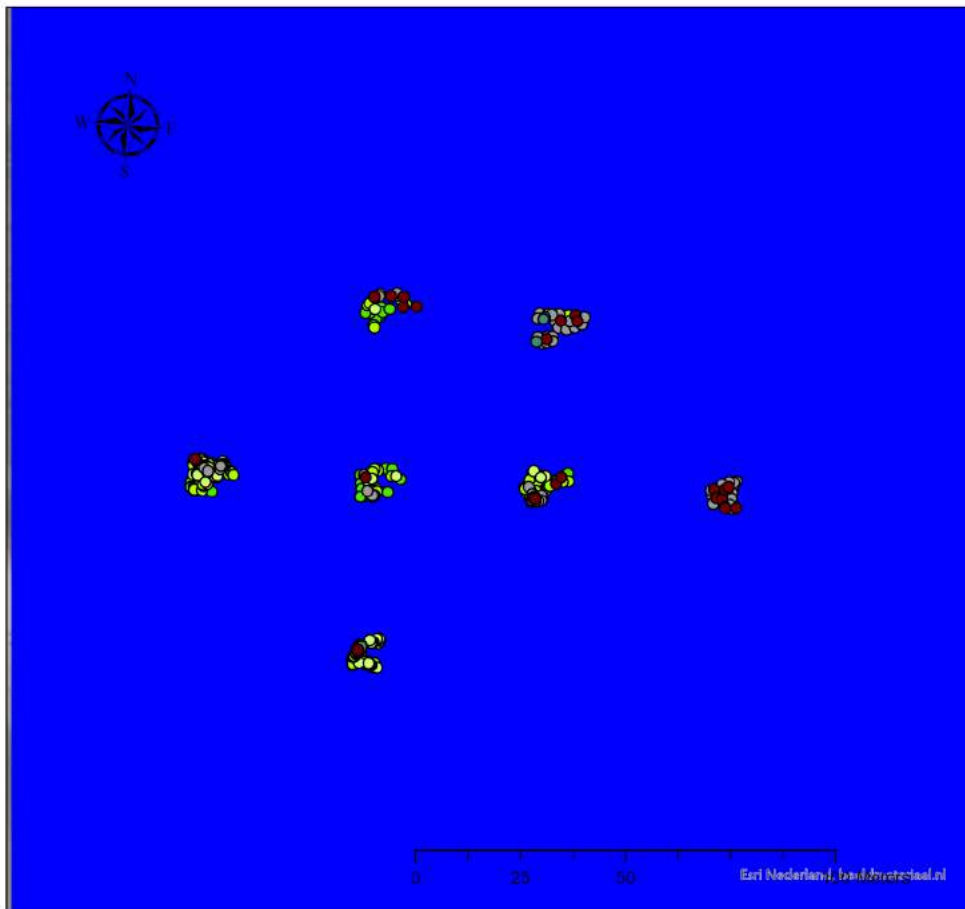
Value

- 1
- 2

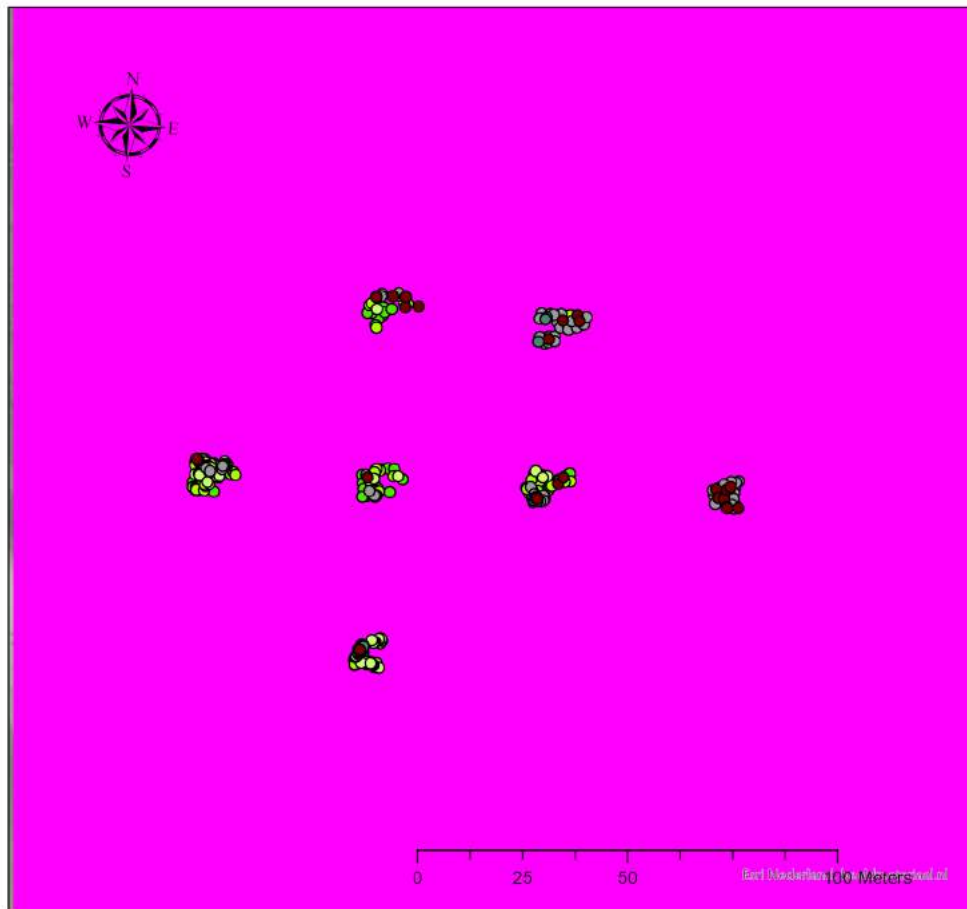
Figuur Unsupervised classificatie mbv ISODATA clustering techniek op het RGB dronebeeld voor testgebiedje Krabbendijke met daaroverheen de trainingsdata



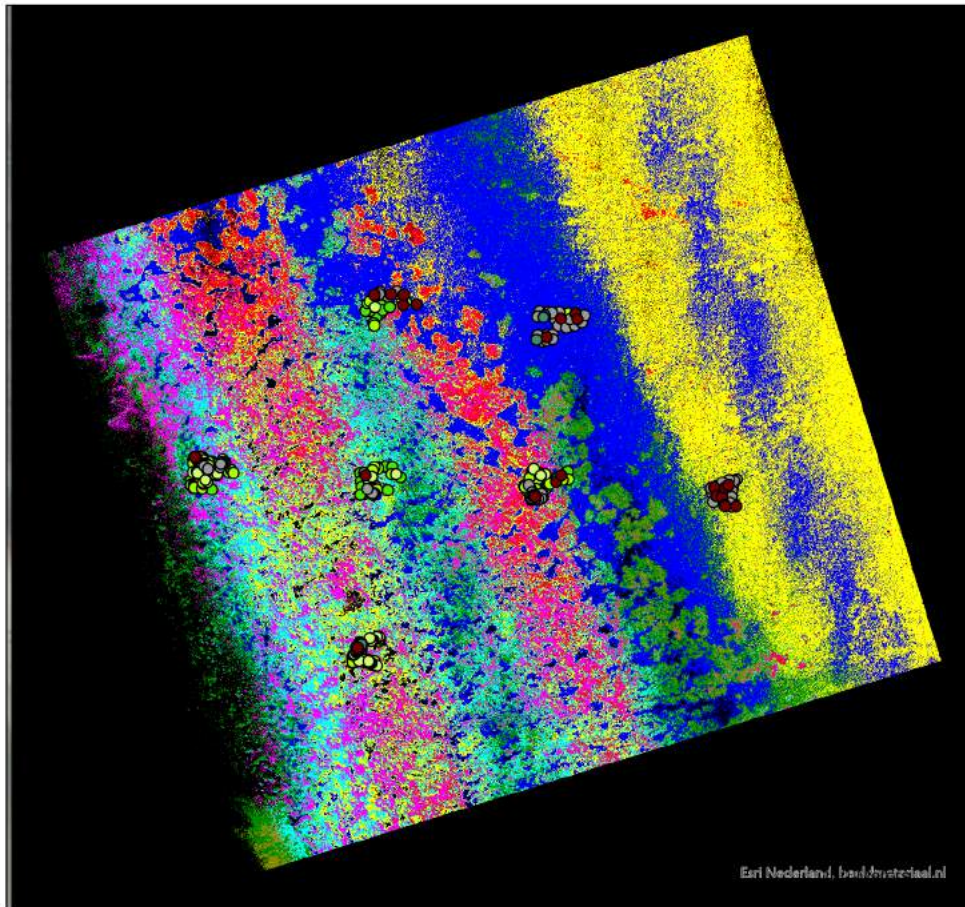
Figuur Unsupervised classificatie mbv ISODATA clustering techniek op het multispectrale dronebeeld voor testgebiedje Krabbendijke met daaroverheen de trainingsdata



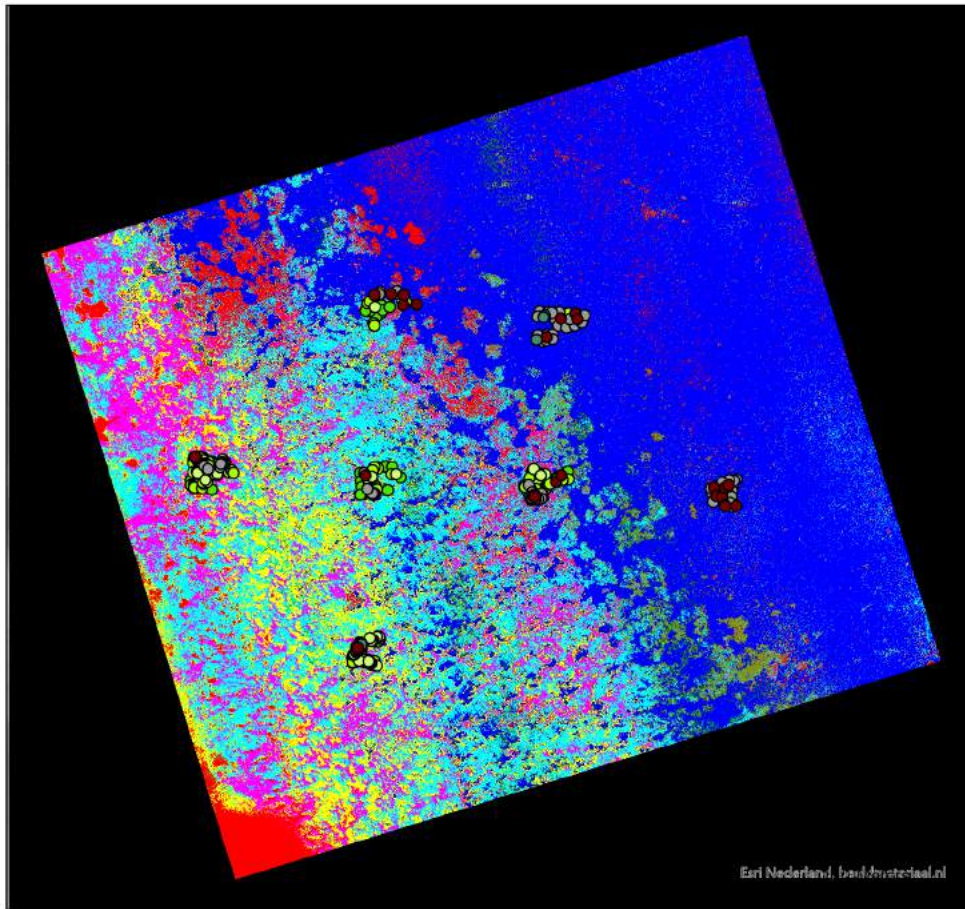
Figuur Supervised classificatie mbv Neural Net Classificatie (NNC) op het multispectrale dronebeeld voor testgebiedje Krabbendijke met daaroverheen de trainingsdata die als input gebruikt zijn.



Figuur Supervised classificatie mbv Spectral Vector Machine (SVM) classificatietechniek op het multispectrale dronebeeld voor testgebiedje Krabbendijke met daaroverheen de trainingsdata die als input gebruikt zijn.



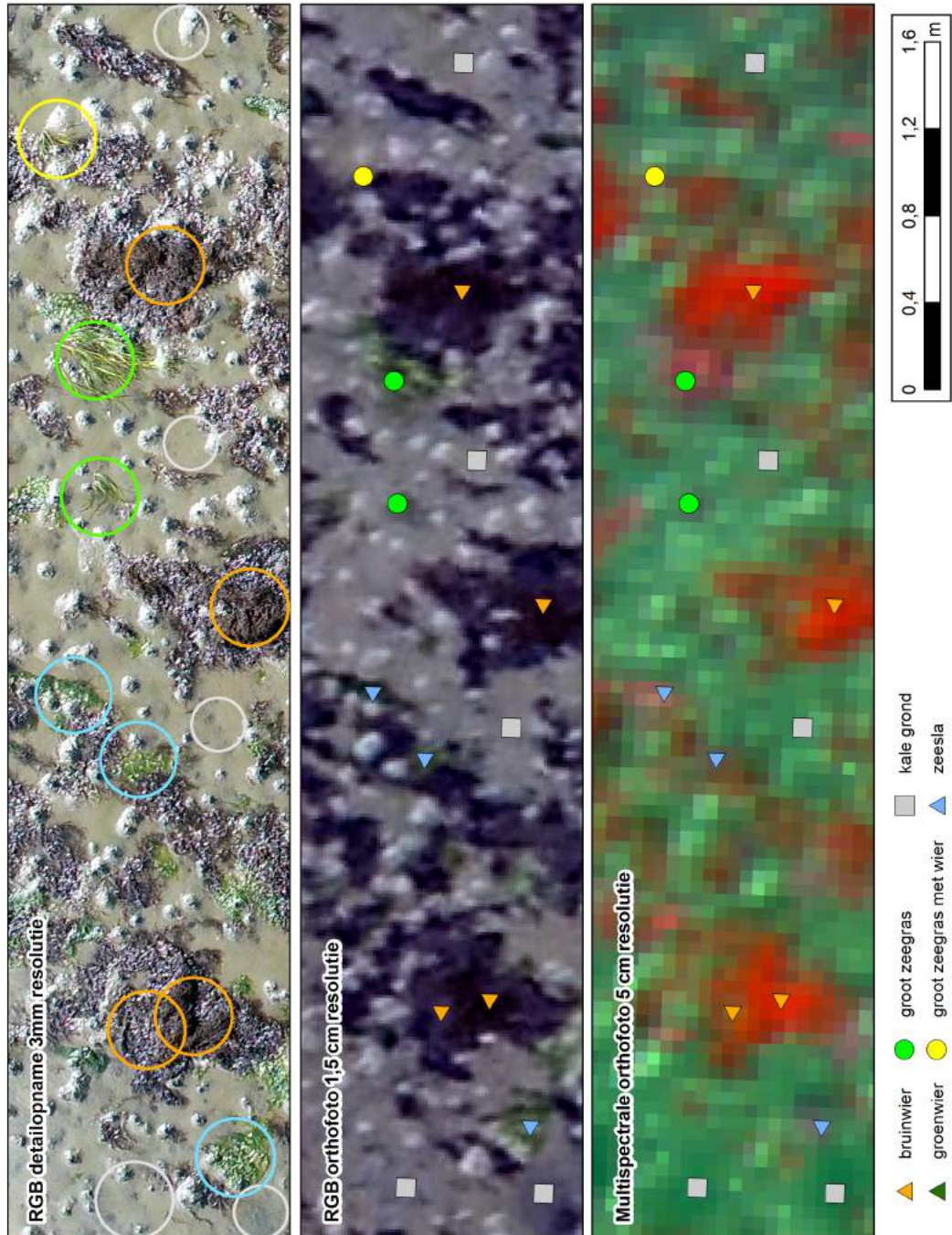
Figuur Supervised classificatie mbv Spectral Angle Mapper (SAM) classificatietechniek op het multispectrale dronebeeld voor testgebiedje Krabbendijke met daaroverheen de trainingsdata die als input gebruikt zijn.



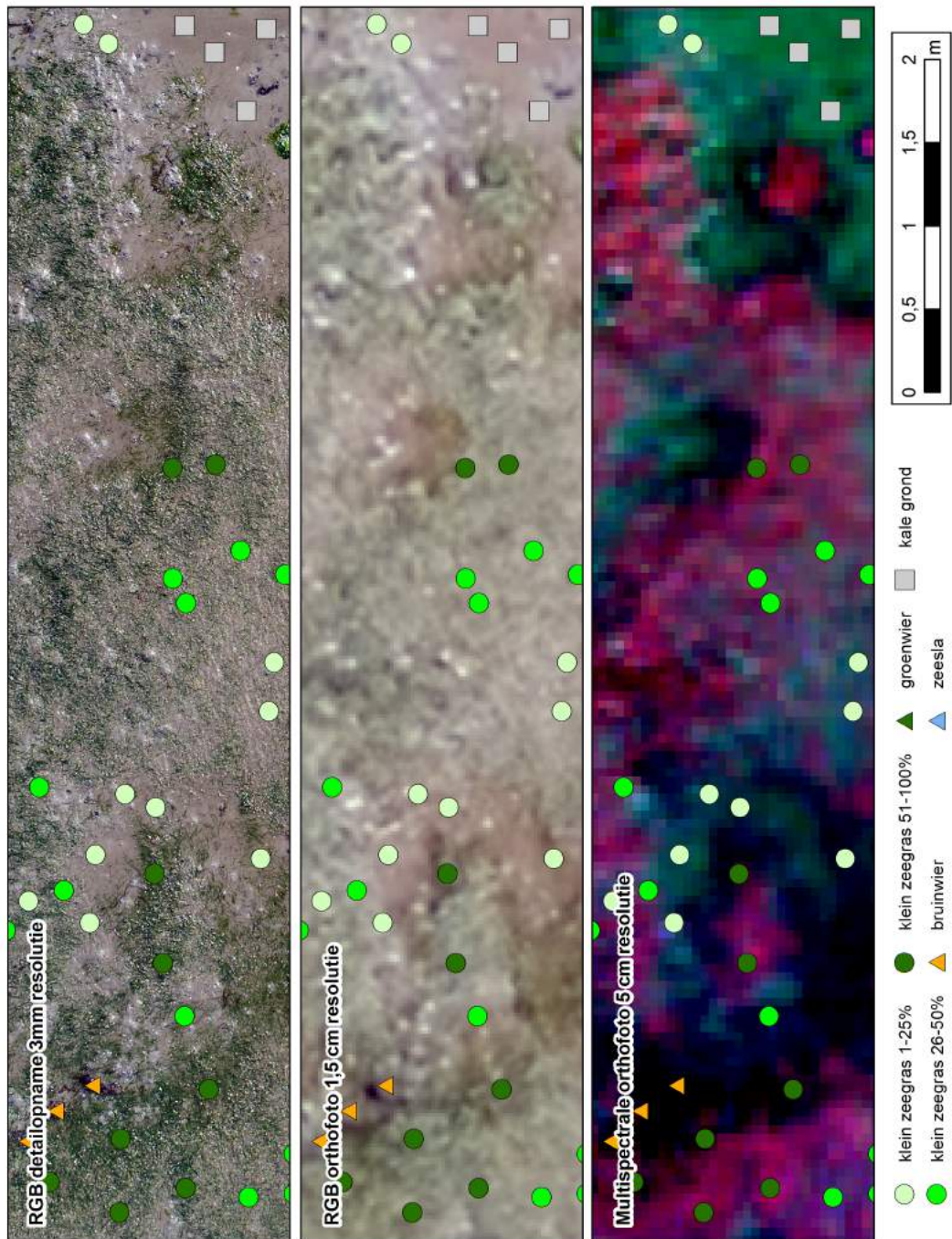
Figuur Supervised classificatie met behulp van Maximum Likelihood Classificatie techniek (MAXLHD) op het multispectrale dronebeeld voor testgebiedje Krabbendijke met daaroverheen de trainingsdata die als input gebruikt zijn.



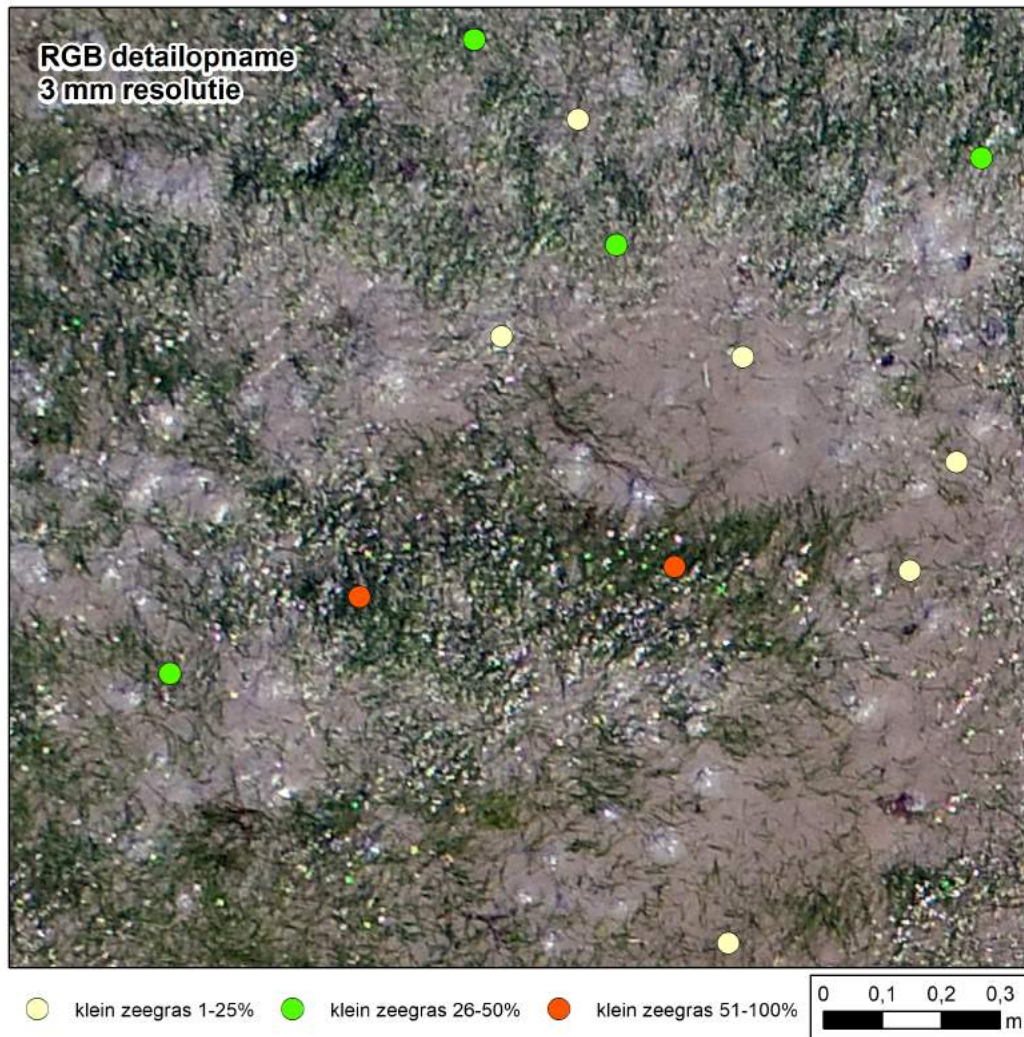
Bijlage II Figuren trainingsset op basis van detailopnamen



Figuur Voorbeeld van trainingpunten van verschillende bedekkingstypen die op basis van de detailopnamen Oude Tonge zijn ingetekend.



Figuur Voorbeeld van trainingpunten van verschillende bedekkingstypen die op basis van de detailopnamen Krabbendijke zijn ingetekend.

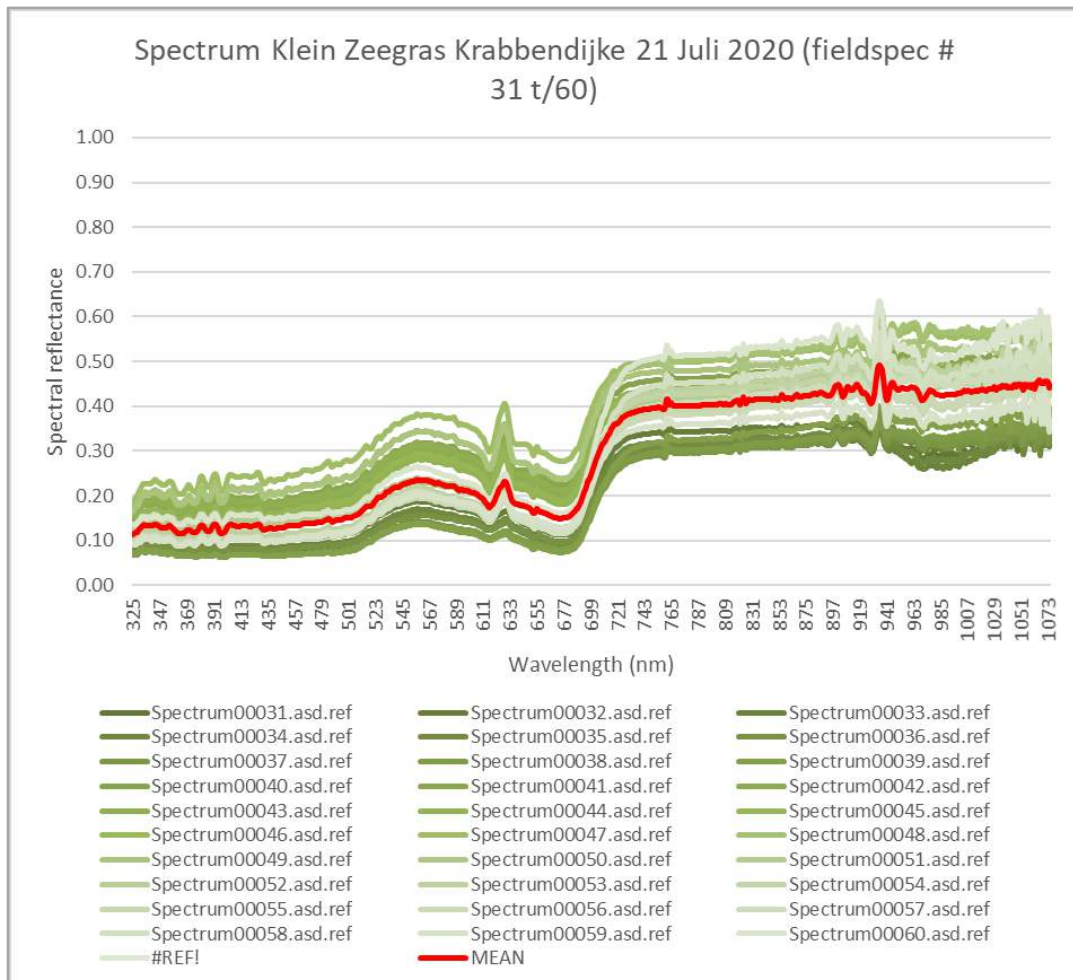


Figuur Detailvoorbeeld van de verschillende bedekkingsklassen van klein zeegras die op basis van de detailopnamen Krabbendijkje zijn ingetekend.



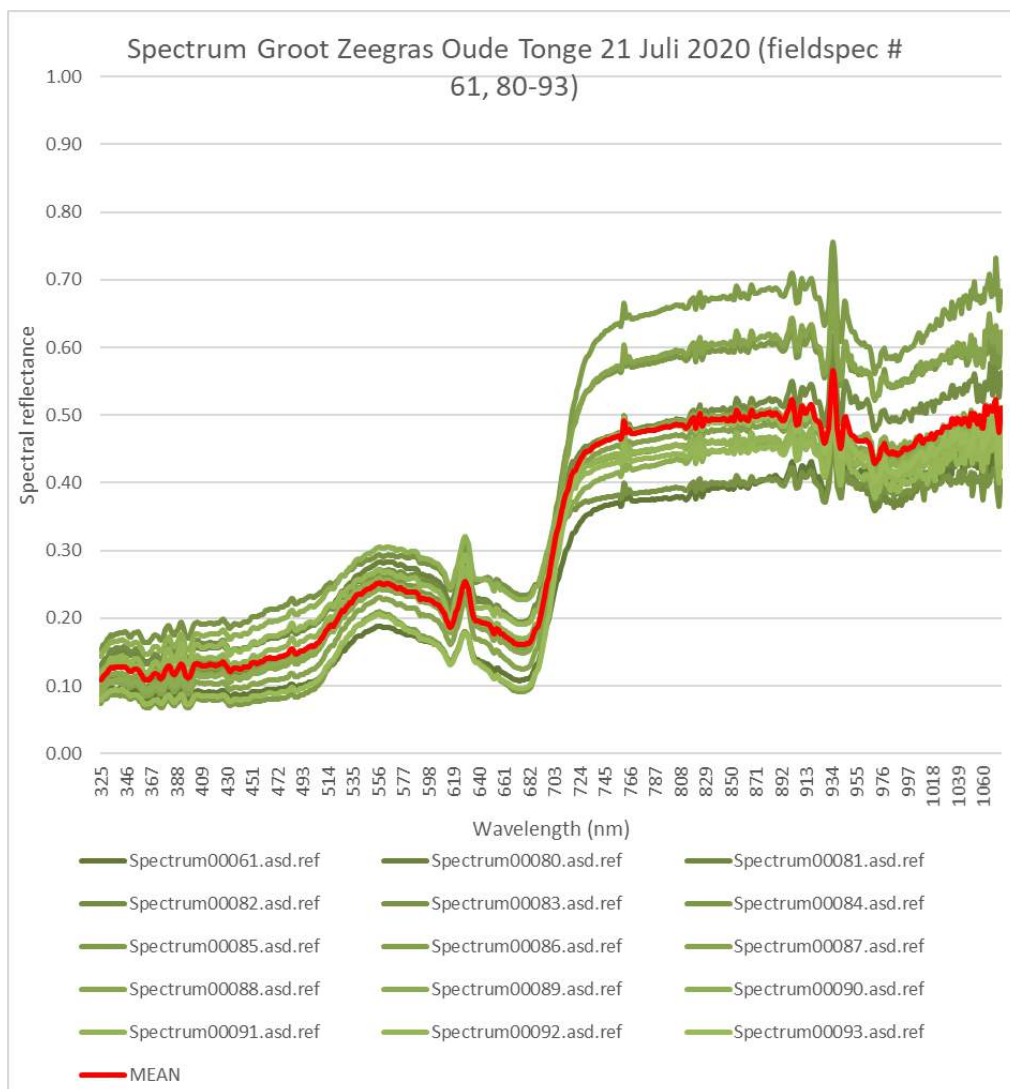
Bijlage III FieldSpec Pro metingen per klasse

Spectrum klein zeegras





Spectrum groot zeegras
62, 80 – 93 (61, 94 outlier)

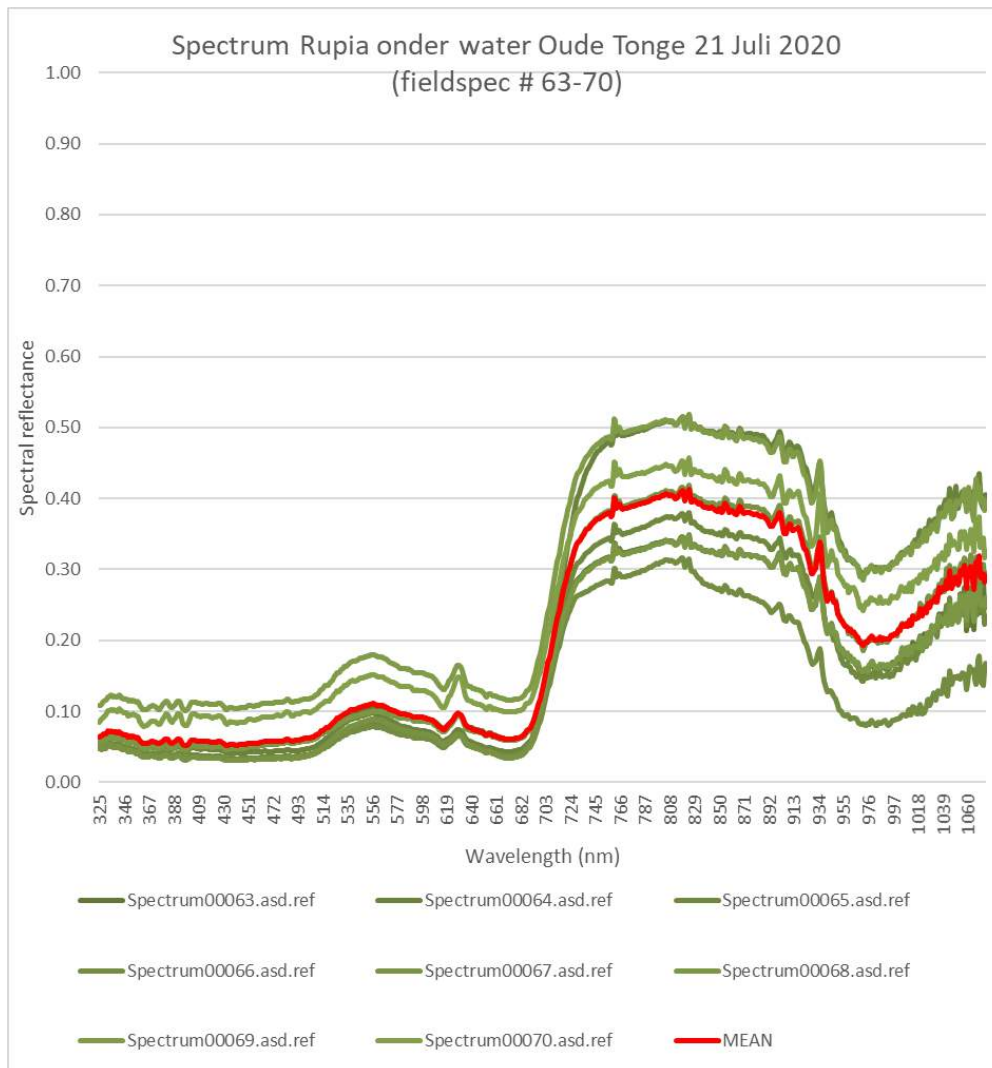
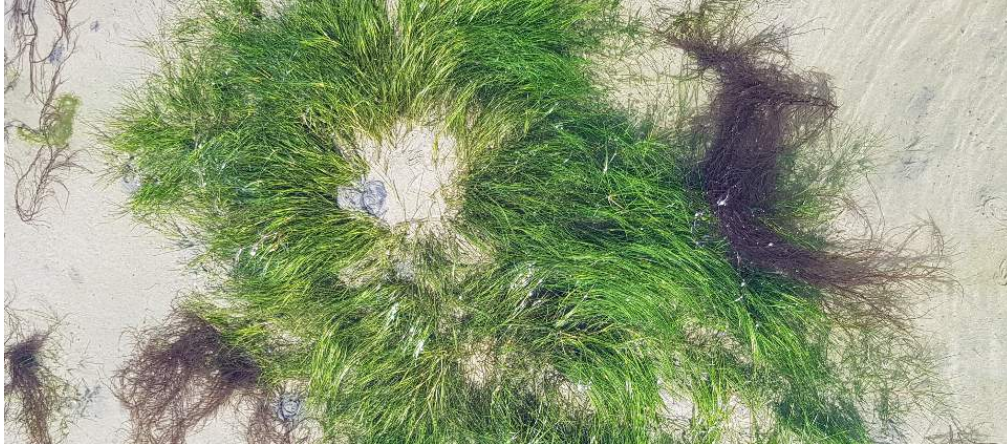




Spectrum Snavelruppia

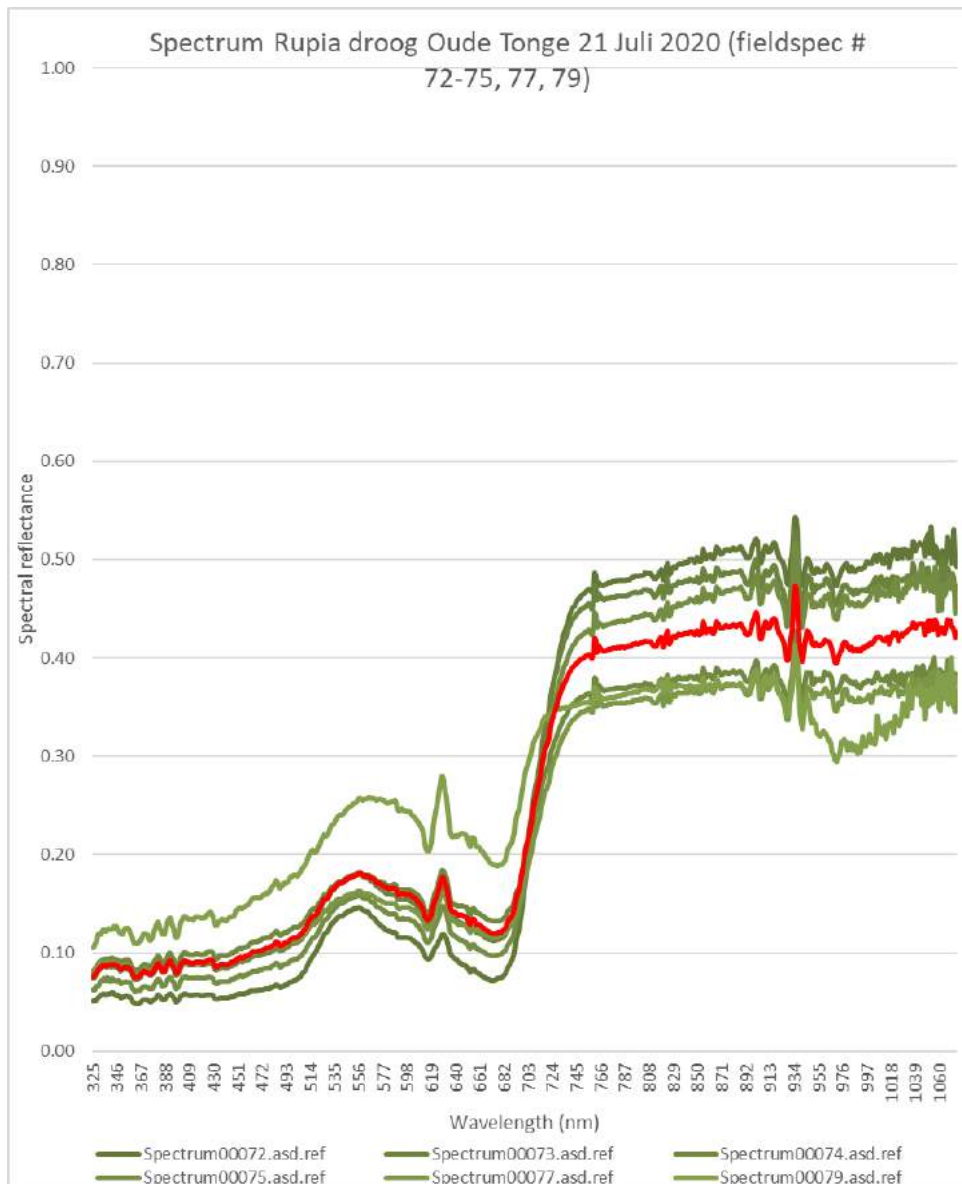
snavelruppia onder water

#63 - 70 (71 outlier)





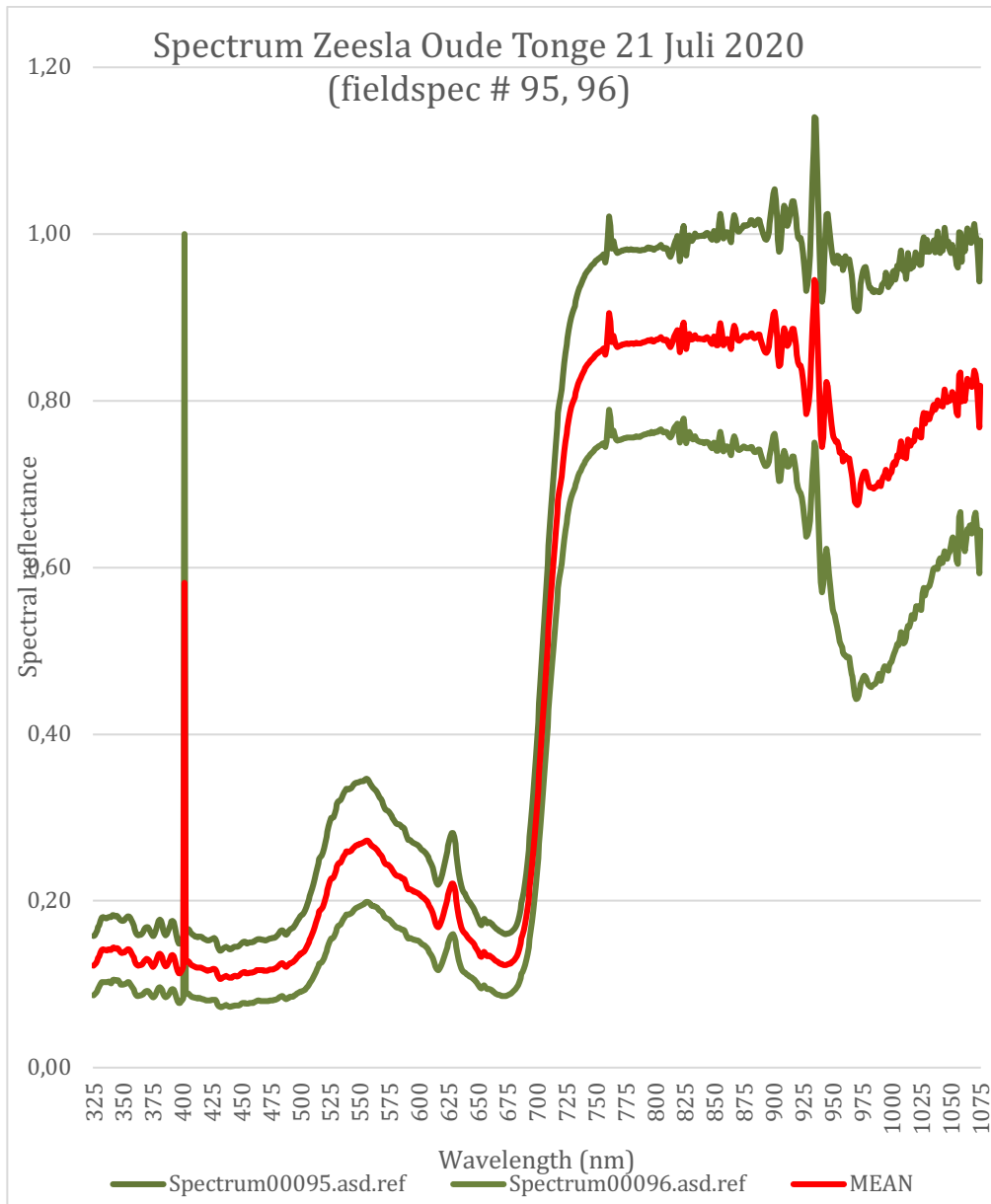
Snavelruppia droog
#72 -79 (76,78 outlier)





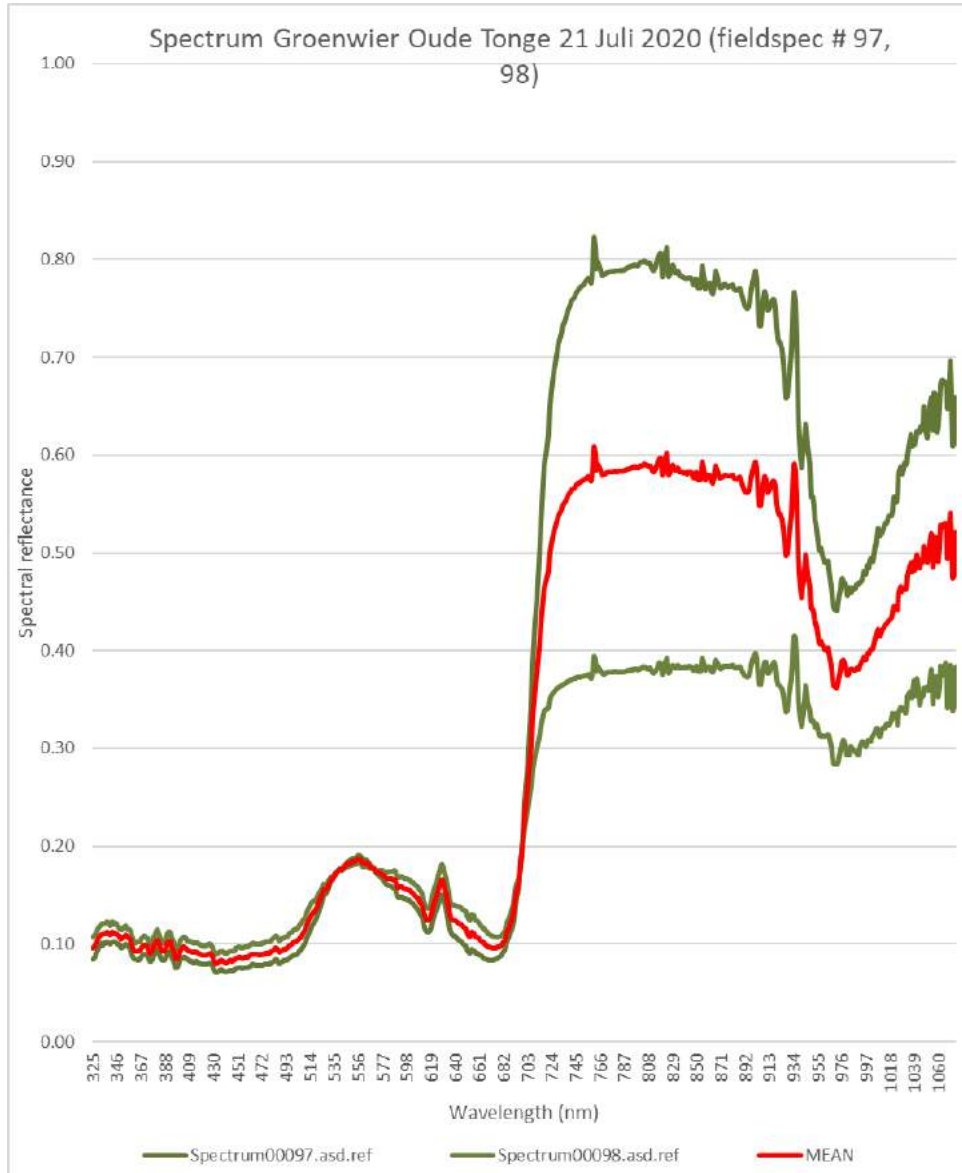
Spectrum Zeesla

#95 - 96 zeesla





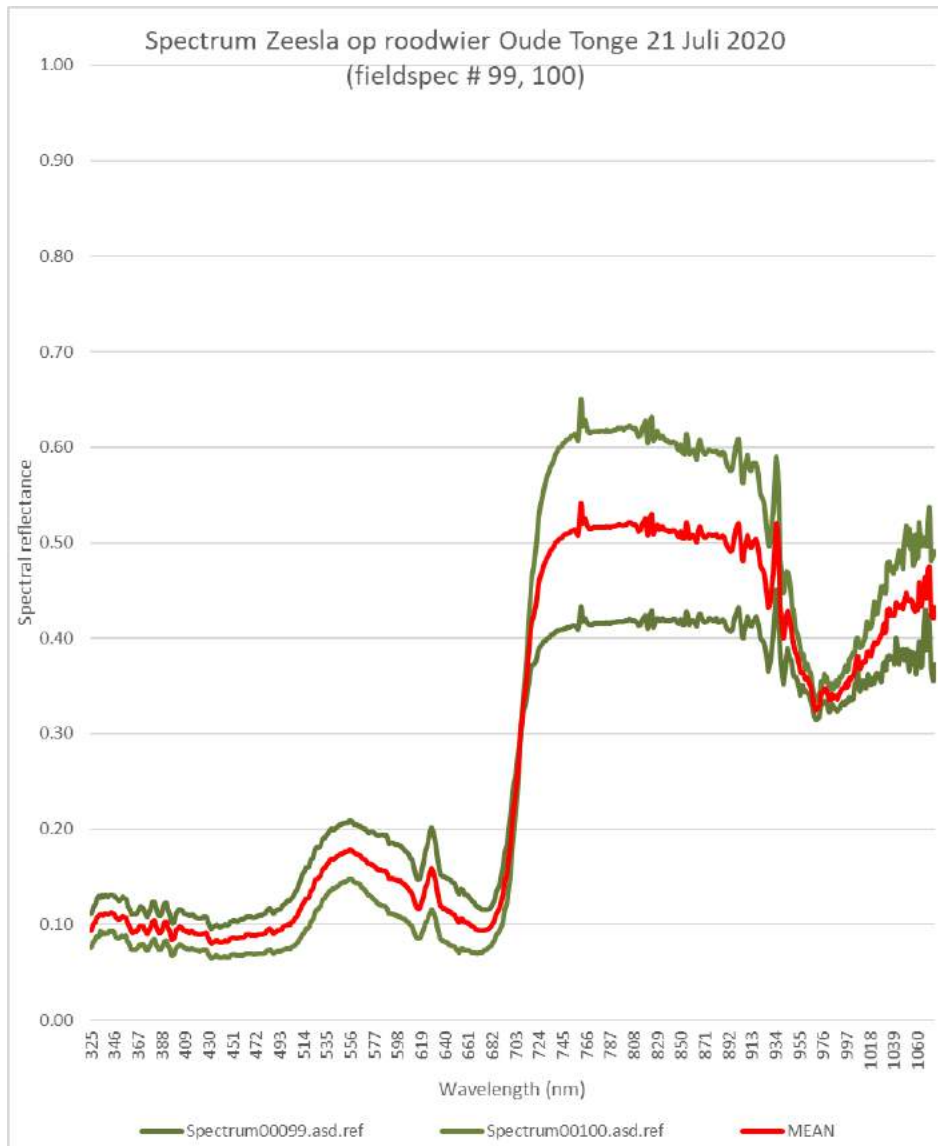
Groenwier
#97 -98





Zeesla op roodwier

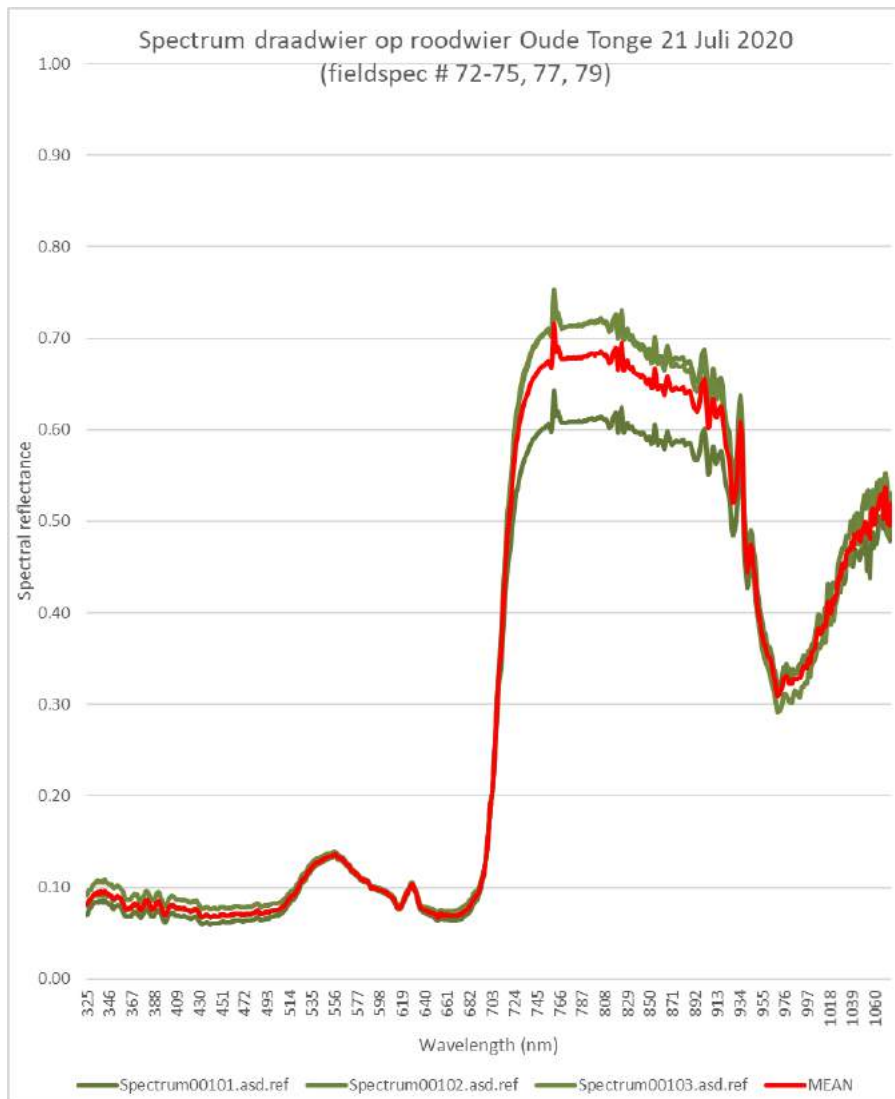
#99 - 100





Draadwier met roodwier

#101 – 103





Bureau Waardenburg bv

Onderzoek en advies voor ecologie en landschap
Varkensmarkt 9, 4101 CK Culemborg
Telefoon 0345-512710
E-mail info@buwa.nl, www.buwa.nl