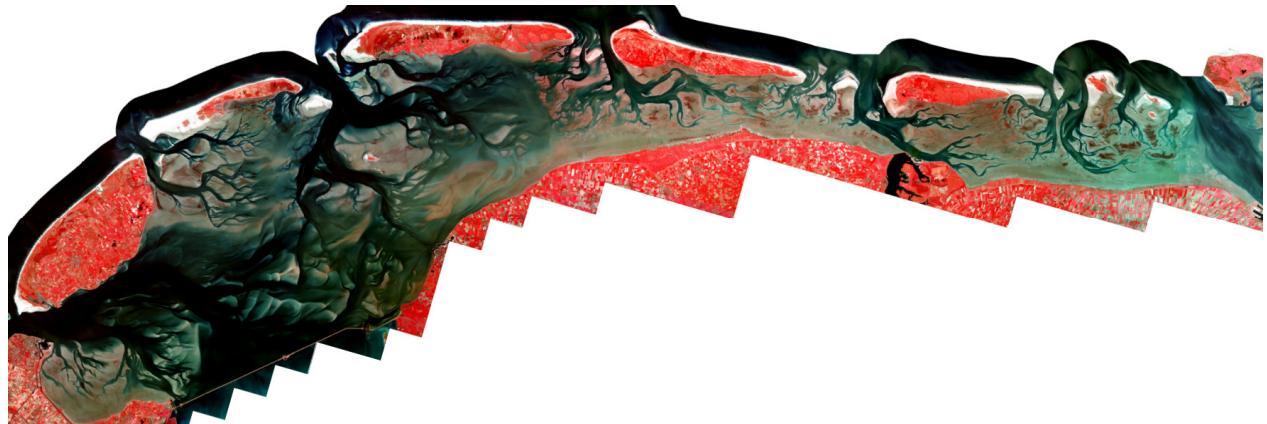


# Nadere uitwerking productie Geomorfologische Kaart met behulp van Object-Based Image Analysis voor de Waddenzee

Harke Douma, Elisabeth A. Addink & Maarten G. Kleinhans

Universiteit Utrecht, Faculteit Geowetenschappen, Departement Fysische Geografie



Universiteit Utrecht

Het copyright van dit rapport is voorbehouden aan UU-DFG. Niets uit dit rapport mag op enigerlei wijze worden vermenigvuldigd zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van UU-DFG, noch mag het zonder voorafgaande schriftelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander doel dan waarvoor het is vervaardigd.

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Douma, H., E.A. Addink & M.G. Kleinhans (2019). Nadere uitwerking productie Geomorfologische Kaart met behulp van Object-Based Image Analysis voor de Waddenzee. Universiteit Utrecht, Departement Fysische Geografie, rapport i.o. Rijkswaterstaat CIV.

# Inhoud

Inleiding .....	1
Methode.....	3
Data en classificatie .....	3
Fotogrammetrie van het Friese Zeegat.....	4
Resultaten .....	5
Aanpassingen aan de Douma et al. (2018b) ruleset .....	5
Test op de Oosterschelde.....	5
Uitvoering op de Waddenzee.....	8
Vergelijking van hoogtevariabelen uit LIDAR en uit stereo-luchtfoto's voor het Friese Zeegat.....	12
Discussie: beantwoording onderzoeks vragen.....	19
Conclusies.....	21
Aanbevelingen.....	22
Literatuur.....	24
Appendices	



## Inleiding

Biogeomorfologische kartering gebeurt ten behoeve van het maken van ecotopenkaarten (Bouma et al. 2005, Kers et al. 2013). De biogeomorfologische kartering op grond van luchtfoto's gebeurt standaard en handmatig elke twee jaar in de Westerschelde en elke zes jaar in de Oosterschelde (zie Cleveringa 2014 voor beschrijving en analyse). Deze kaarten worden bij Rijkswaterstaat de 'geomorfologische kaarten' (GMK) genoemd. Het gaat daarbij om het buitendijkse gebied binnen de landsgrenzen, en voor wat betreft de kartering met luchtfoto's om het getijdengebied (littoriale gebied) met een droogvalduur van minimaal 4% van de tijd en het gehele buitendijkse supragetijdengebied.

Een onderzoek door een Bachelorstudent aan de opleiding Aardwetenschappen in Utrecht (Coumou 2015, onder begeleiding van Addink en Kleinhans), liet zien dat een geautomatiseerde classificatie van de biogeomorfologie op basis van luchtfoto's mogelijk is. Dit is voor het eerst op het schaalniveau van een heel systeem uitgetest voor de Eems-Dollard (Douma et al. 2018a), waarbij de precieze aanpak van Coumou niet is overgenomen, maar de methode opnieuw is opgebouwd met het oog op een generieke toepassing op meerdere gebieden en complete watersystemen.

De toepassing in de Eems-Dollard werd beperkt door de kwaliteit en beschikbaarheid van luchtfoto's en aanvullende data, en een robuuste test van de geautomatiseerde methode was niet mogelijk omdat er geen kaart volgens de handmatige methode met de ZES systematiek (Zoute Ecotopen Stelsel, Bouma et al. 2005) beschikbaar was. Daarna is de methode verder doorontwikkeld voor de Westerschelde (Douma et al. 2018b), waar de datakwaliteit van de afgelopen jaren hoger is en waar wel handmatig geproduceerde biogeomorfologische kaarten beschikbaar zijn ter vergelijking.

Inmiddels wil Rijkswaterstaat ook de biogeomorfologie van de Waddenzee iedere zes jaar volledig in kaart brengen. Hier was nog geen bestaande methodiek en de voor de Eems-Dollard en Westerschelde ontwikkelde methode is nu toegepast op het gehele watersysteem van de Waddenzee (Fig. 1), inclusief de Eems-Dollard. Dit rapport vat de resultaten samen.

Ook wordt een pilot gerapporteerd over gebruik van de overlap tussen luchtfoto's voor een relatieve maat van hoogtevariatie en helling, omdat er geen gebiedsdekkende LIDAR van dezelfde datum beschikbaar is. Het onderzoek vond plaats in 2019 in nauw overleg met Robert Jentink, de opdrachtgever vanuit RWS-CIV. De automatisch geproduceerde kaarten zijn in detail gecontroleerd en aangepast door Robert Jentink, hierna in het rapport 'expert' genoemd, en de analyse van de aanpassingen zijn ook in dit rapport weergegeven. Het onderzoek is gefinancierd door RWS-CIV.

De hoofdvraag was: kan de voor de Westerschelde ontwikkelde systematiek toegepast worden op andere watersystemen, namelijk de Oosterschelde en de Nederlandse Waddenzee? Om deze vraag te beantwoorden, zijn de volgende deelvragen beantwoord:

1. Is de OBIA-methode toepasbaar op meerdere watersystemen, bijvoorbeeld de Oosterschelde en de Waddenzee?
  - a. Zijn de Workflow en OBIA Ruleset van de Westerschelde standaard toepasbaar of moeten deze aangepast worden aan het nieuwe gebied?
  - b. Hoeveel handmatige bijsturing in parameters binnen de Ruleset is nodig binnen het OBIA productieproces? Welke kennis is daarvoor noodzakelijk?
  - c. Hoe goed is de overeenkomst tussen de OBIA-kaart en de bestaande GMK van RWS voor de Oosterschelde op onderstaande criteria?
    - i. arealen van geomorfologische eenheden
    - ii. overeenkomstige arealen (tussen RWS en OBIA) per overeenkomstige geomorfologische klasse
  - d. Is de kwaliteit van de OBIA-kaart voldoende voor inzet op watersystemen waar nog geen bestaande RWS-producten beschikbaar zijn, namelijk de Waddenzee, op onderstaande criteria?
    - i. Zijn er artefacten veroorzaakt door invoerbestanden, bijv. door verloop van beeldkwaliteit en belichting door het gebied en contrast tussen de samenstellende foto's van het mozaïek (postzegeleffect)?
    - ii. Welke mate van overeenkomst tonen de OBIA methode en een steekproef met random objecten verdeeld over alle legenda-eenheden en onzekerheidsklassen in de westelijke en oostelijke Waddenzee door CIV-experts? (*NB in afwijking van de originele opdracht is voor dit rapport niet een steekproef maar de volledige kaart door de CIV-expert gecontroleerd.*)
  - e. Welke eisen worden er gesteld aan de invoerbestanden? (Luchtfoto's en hoogtebestanden)
  - f. Wat is de totale productietijd per watersysteem?
  - g. Welke expertise is nodig om latere productiewerkzaamheden buiten de Universiteit Utrecht te beleggen?
2. Moet er gebruikt worden gemaakt van de laseraltemetrie data voor de hoogte of kan deze gegenereerd worden uit de stereografische foto's? We evalueren de luchtfotomethode in vergelijking met LIDAR op minimaal één plaat in de Westerschelde (NB na overleg met CIV is dit veranderd in Friese Zeegat) op:
  - i. Kaartbeeld van hoogtes en puntendichtheid
  - ii. Standaarddeviatie en helling binnen objecten en tussen legenda-eenheden

## Methode

### Data en classificatie

Voor het uitvoeren van dit onderzoek heeft Rijkswaterstaat bij het begin van de opdracht de volgende data geleverd voor de Oosterschelde en alle komgebieden van de Waddenzee (Fig. 1):

- de geogerefereerde TIFF beelden, LIDAR-data en GMK van RWS van de Oosterschelde uit 2016
- de geogerefereerde TIFF beelden uit 2017 en LIDAR-data uit 2015 van het Marsdiep
- de geogerefereerde TIFF beelden en LIDAR-data uit 2017 van het Eierlandse Zeegat
- de geogerefereerde TIFF beelden en LIDAR-data uit 2017 van de Vliestroom
- de geogerefereerde TIFF beelden en LIDAR-data uit 2017 van het Amelander Zeegat
- de geogerefereerde TIFF beelden uit 2017 en uit 2018 en LIDAR-data uit 2018 van het Friese Zeegat
- de geogerefereerde TIFF beelden uit 2017 en LIDAR-data uit 2013 van het Huibertgat
- de geogerefereerde TIFF beelden en LIDAR-data van de Eems-Dollard uit 2014



Figuur 1. Beeld van de komgebieden in de Waddenzee met de overlap waarvoor de analyses zijn verricht.

De classificatie wordt gedaan met objectgerichte beeldverwerking (*object-based image analysis*: OBIA, onderstaande beschrijving overgenomen uit Douma et al. 2018a,b). Dit betekent dat er, in plaats van met pixels, gewerkt wordt met objecten. Spectraal vergelijkbare buurpixels in een beeld worden gegroepeerd tot objecten. Het voordeel van werken met objecten ten opzichte van pixels is dat er naast spectrale waarden ook gebruik wordt gemaakt van vorm, textuur en context. Daarnaast wordt in deze classificatie gebruik gemaakt van meerdere segmentatieniveaus waar de objecten op het laagste niveau klein zijn, en op het hoogste niveau groot. De objecten van verschillende niveaus zijn genest, zodat de grotere objecten alleen complete objecten van de lagere niveaus omvatten. De informatie van een object in een hoger niveau bevat daardoor ook de eigenschappen van de subobjecten. Het gebruik van meerdere lagen helpt bij het bepalen van textuur en samenstelling van de objecten. De analyses zijn verricht met eCognition versie 9.4. Zie voor gedetailleerde voorbeelden Douma et al. (2018a).

De classificatie wordt in stappen gedaan volgens een ruleset. De methode is niet ongevoelig voor verschillen in belichting en kwaliteit van luchtfoto's binnen een opnamegebied en tussen de verschillende

opnamejaren. Omwille van generieke toepassing zijn alle classificatiestappen afhankelijk gemaakt van een paar grenswaarden voor NDVI (tussen -1 en 1) en Brightness (tussen 0-255) aan het begin van de ruleset, die kunnen worden bijgesteld om de verschillen in belichting en kwaliteit te verdisconteren. Aan het begin van de resultaten worden de aanpassingen aan de ruleset ten opzichte van Douma et al. (2018b) op de opbouw en techniek van de classificatiemethode met de ruleset beschreven.

De volgende legendaklassen worden onderscheiden, waarbij een aantal klassen uit de GMK (geomorfologische kaart van Rijkswaterstaat) bij elkaar is gevoegd in de automatische analyses, net als in Douma et al. (2018a,b):

Legendaklasse in dit rapport	Legendaklasse in de GMK
Schor	S1a
Schor Open Plek	S1c
Schor Pionier	S2a en S2b-
Schor Meanderende Kreek	S3a
Plaat Laag Energetisch	P1-, K1-
Plaat Megaribbel	P2b-, P2a, K2a, K2b-
Plaat Hoog Vlak	P2c, K2c, P2d-
Antropogeen	H2-
Overig	O-, H1-

## Fotogrammetrie van het Friese Zeegat

De rulesets uit Douma et al. (2018b) kunnen gebruik maken van hoogtedata voor een betere classificatie van onbegroeid plaatoppervlak. Er is echter meestal geen LIDAR hoogtedata beschikbaar voor hetzelfde moment als de luchtfoto's, maar de stereoluchtfoto's bevatten ook informatie over hoogte. Voor mogelijke toepassing van hoogtegegevens in de ruleset zijn met name variatie van hoogte en van helling nodig binnen elk object, wat betekent dat de absolute hoogte niet hoeft te kloppen. Dat betekent dat er geen controlepunten nodig zijn met positie en hoogte.

Met behulp van de door RWS geleverde stereofoto's van het Friese Zeegat uit 2018 is met Agisoft Metashape een hoogtemodel gemaakt. De gebruikte stereofoto's waren ingewonnen voor een orthofoto van 12.5 cm resolutie met 60% voorwaartse overlap en 30% overlap tussen de vlieglijnen in. De resultaten zijn vergeleken met hoogtedata van LIDAR in hetzelfde jaar ingewonnen. Met LAS-tools is de 'dense cloud' gefilterd zodat de meeste ruis eruit is gehaald. Dit zijn met name water punten en punten die duidelijk boven of onder het oppervlak zitten.

De data zijn met name voor de hoogtevariabelen binnen elk object vergeleken die in eerdere rulesets werden gebruikt in de classificatie, namelijk gemiddelde hoogte en standaarddeviatie van hoogte, en gemiddelde helling en standaarddeviatie daarvan. Ten behoeve van de vergelijking zijn de beelden, die een hogere resolutie en een andere opnamedatum hebben dan de beelden die we voor classificatie gebruikten, opnieuw gesegmenteerd. Beide hoogtedatasets werden voor deze objecten geanalyseerd.

## Resultaten

### Aanpassingen aan de Douma et al. (2018b) ruleset

Gezien de ervaringen bij de Westerschelde zijn de volgende aanpassingen aan de ruleset gedaan:

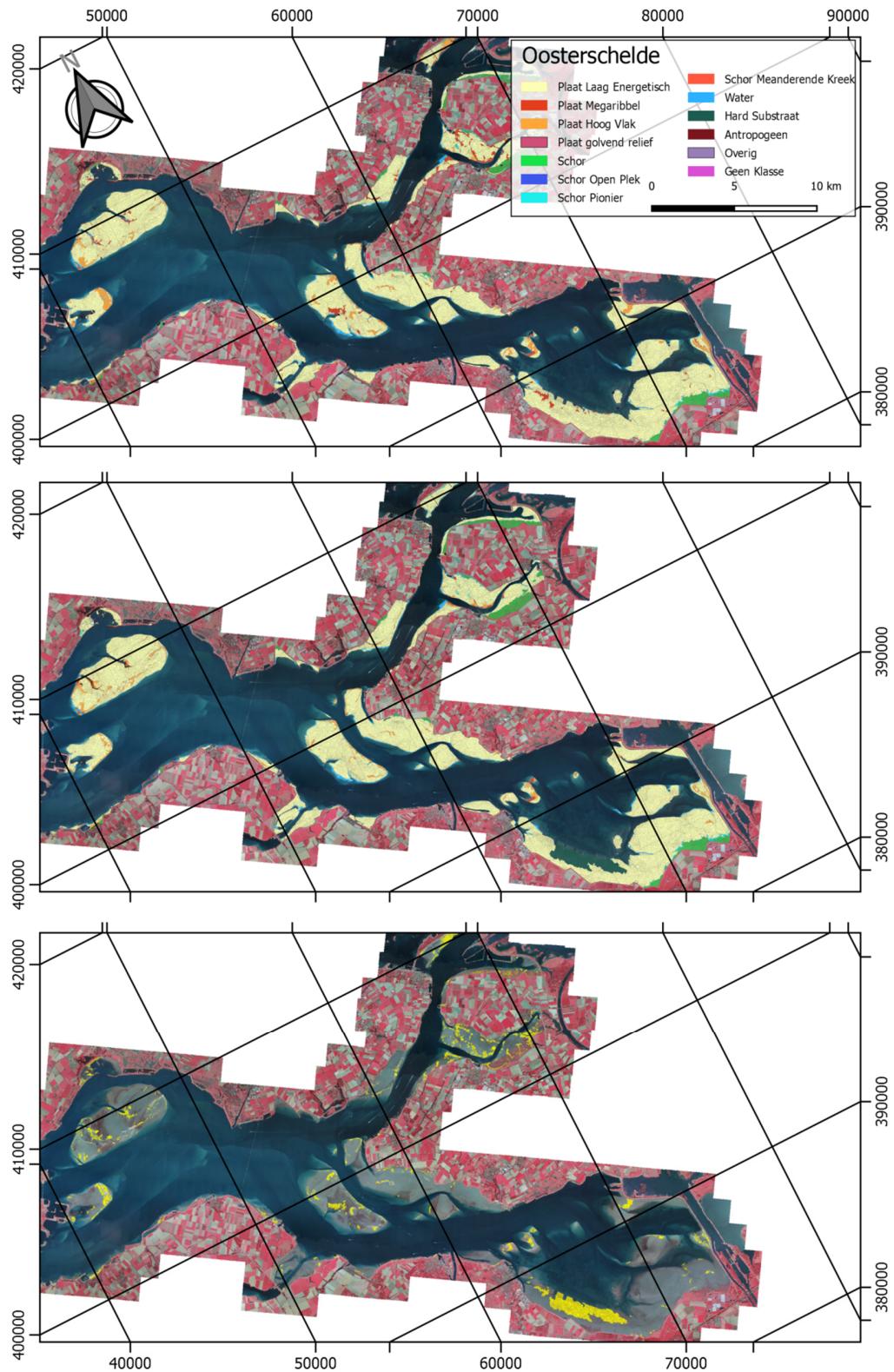
- Er is in de OBIA een kleiner schaalgetal genomen om de beelden te segmenteren om zowel kleinschaliger fenomenen als grenzen beter te kunnen detecteren.
- De schorgebieden zijn nu ook in objecten opgeleverd ten behoeve van de mogelijkheid om de klasse van elk object door een expert aan te kunnen laten passen.
- Pionervegetatie wordt nu eerst herkend op basis van een NDVI-drempelwaarde, waarmee objecten kleiner dan de karteergrens van  $400\text{ m}^2$  worden herkend, welke vervolgens zijn gebruikt in een soortgelijke segmentatie als de rest van het oppervlak zodat grote objecten met <60% pionervegetatie-objecten erin als pionierschor worden geclasseerd.
- Daarnaast zijn een paar kleine dingen aangepast:
  - er is geen gebruik gemaakt van hogegegevens voor classificatie van megaribbels, met name omdat het onderscheid tussen megaribbels en kleine geultjes mis ging,
  - de classificatie-eisen voor megaribbels zijn aangescherpt, zodat minder fout-geclasseerde megaribbels worden gevonden (zie de discussie).

### Test op de Oosterschelde

De aangepaste methode is allereerst getest op de Oosterschelde, waarvoor ook de GMK beschikbaar was (Fig. 2). Uit de vergelijking bleek dat de automatische methode het in dit gebied veel beter doet dan in de Westerschelde (Douma et al. 2018b). Dit komt ondermeer omdat de variatie in biogeomorfologie kleiner is en omdat de beelden uniformer en van hoge kwaliteit waren. Daardoor konden de variabele drempelwaarden in de classificatie beter worden bepaald dan bij de Westerschelde. De Westerschelde is daarna met deze nieuwe grenzen ook opnieuw geclasseerd en ter beschikking gesteld aan Rijkswaterstaat, maar hier wordt in dit rapport verder niet over gerapporteerd.

Bij de kwantitatieve vergelijking tussen automatische methode en GMK zijn zowel de percentages als de absolute arealen informatief (Fig. 3). De vergelijkingsmatrix van absolute waarden benadrukt dat verreweg het meeste areaal op de diagonaal ligt en goed is geclasseerd als laag-energetisch vlak, schor en hoog-energetisch vlak. Met name het laag-energetisch vlakke areaal lijkt beter geclasseerd dan in de Westerschelde door de betere fotokwaliteit. Aan de andere kant laten de relatieve getallen zien dat er, net als in de Westerschelde en Eems-Dollard, vooral verwisselingen optreden tussen de onbegroeide plaatklassen.

De meest opvallende fouten ontstonden in het meest zuidelijke en landwaartse deel. Hier komt natuurlijk hard substraat voor, dat als klasse niet in de automatische methode zit. Ook zijn verschillen te zien op de platen, waar diatomieën voorkomen die gedeeltelijk onder water liggen. Dit betekent veel variatie in kleur en aanwezigheid van water, waardoor meer oppervlak als megaribbels werd geclasseerd dan in de GMK. Aan de andere kant zijn grotere megaribbels door de kleinere objecten soms weer gemist.



Figuur 2. Biogeomorfologische kaarten van de Oosterschelde voor 2016 volgens de automatische methode (boven), de bestaande, door experts gemaakte geomorfologische kaart (GMK) en de vergelijkende kaart, met in geel aangegeven waar verschillen bestaan tussen de kaarten. De gele verschilobjecten worden overdreven afgebeeld wegens de dikte van de omlijning.

	OS_16												Total row (ha)	Total diagonal (ha)	Producer's Accuracy (%)	Overall Accuracy (%)	
	S1a	S1c	S2	S3a	P1	P2b	P2c	P3	H1	H2	O	Water					
Class UU	S1a	391.8	0.0	0.6	0.1	0.2		0.0			0.4	7.7	401.0		97.7		
	S1c	0.3	0.3								0.0		0.6		43.6		
	S2	23.6	0.0	76.5	5.7	14.1		2.0		0.2	1.2	1.1	124.5		61.4		
	S3a	10.3	0.1	2.3	35.8	0.2				0.2	0.4		49.3		72.5		
	P1	0.8		9.7	12.6	8492.9	7.7	123.7	0.1	323.7	2.3	1.1	0.6	8975.3		94.6	
	P2b	0.2		2.4	1.1	272.6	41.0	49.4	0.1	9.7	0.6	0.0	0.3	377.5		10.9	
	P2c	2.3		0.8	0.1	216.7	3.7	261.9		1.2	0.4	1.6		488.5		53.6	
	P3																
	H1																
	H2	0.2		0.0		0.1		0.0			360.6	0.0		360.9		99.9	
	O																
Water						2.5	2.4		8.8	2.6			397.1	413.4		96.1	
	Total column (ha)	429.4	0.4	92.3	56.4	8999.4	54.8	437.1	9.0	337.5	365.7	12.0	398.0				
	Total diagonal (ha)													10057.8			
	User's Accuracy (%)	91.2	65.8	82.8	64.5	94.4	74.9	59.9			98.6		99.8				
															89.9		

	OS_16												Class RWS			
	S1a	S1c	S2	S3a	P1	P2b	P2c	P3	H1	H2	O	Water				
Class UU	S1a	97.72	0.01	0.16	0.03	0.04		0.00			0.11	1.93				
	S1c	48.85	43.58									7.58				
	S2	18.93	0.02	61.44	4.59	11.37		1.64		0.15	0.98	0.90				
	S3a	20.97	0.19	4.64	72.53	0.51					0.34	0.82				
	P1	0.01		0.11	0.14	94.62	0.09	1.38	0.00	3.61	0.03	0.01	0.01			
	P2b	0.05		0.62	0.29	72.23	10.87	13.09	0.02	2.58	0.15	0.00	0.09			
	P2c	0.47		0.17	0.02	44.35	0.75	53.60		0.25	0.08	0.32				
	P3															
	H1															
	H2	0.04		0.01		0.02		0.01			99.91	0.01				
Water						0.61	0.57		2.12	0.64			96.06			

Figuur 3. Vergelijking voor de Oosterschelde voor 2016 van de automatische methode (verticaal) met de GMK (horizontaal) in absolute oppervlaktes (boven) en in percentages van het droogvallend oppervlak (onder, rijen tellen op tot 100%). Voor uitleg van klassen zie methodensectie.

De conclusie van de toepassing op de Oosterschelde is dat de automatische methode ongeveer 90% goed classificeert, wat heel erg goed is voor automatische methoden, en dat de oplevering van de objecten een snelle handmatige verbeterslag mogelijk maakt voor een expert, waarbij alleen de klasse en niet de grenzen hoeven worden aangepast. Dit is dan ook de aanpak geweest voor de classificatie van de gehele Waddenzee.

## **Uitvoering op de Waddenzee**

De op de Oosterschelde geteste ruleset is ongewijzigd toegepast op alle komgebieden van de Waddenzee. Omdat hier geen handmatig gemaakte GMK beschikbaar is, heeft een expert handmatig de volledige kaart gecontroleerd. Voor dit doel zijn alle oppervlakten als objecten aangeleverd, waaronder ook water en antropogeen, zodat deze handmatig aangepast konden worden.

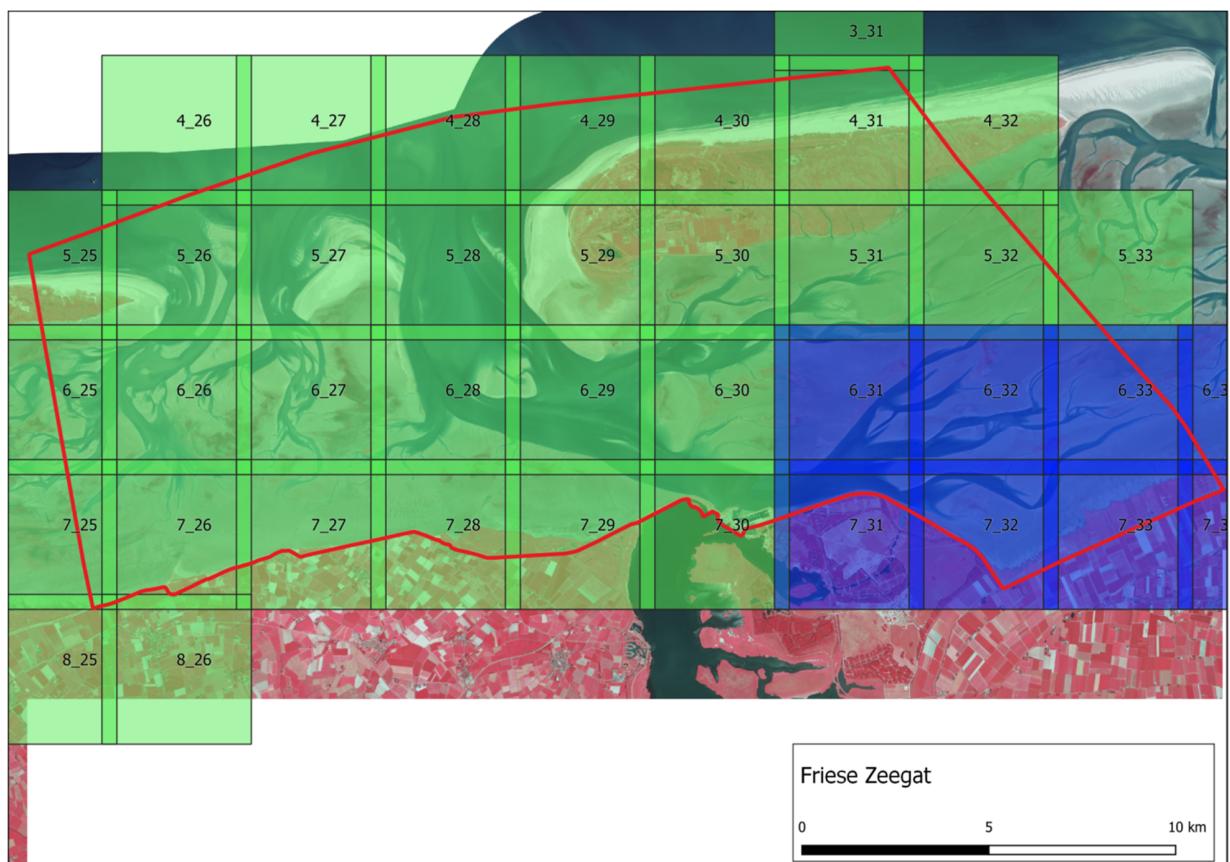
De waterklasse is daarbij meegenomen omdat er geen accurate droogvalduurgrens kon worden aangeleverd voor de Waddenzee omdat er geen voldoende nauwkeurig waterbewegingsmodel met bathymetrie is. Omdat water een makkelijk te onderscheiden klasse is, leidt dit tot een hogere nauwkeurigheid dan wanneer de nauwkeurigheid zonder water bepaald wordt.

De drempelwaarden voor NDVI en Brightness zijn in eerste instantie per komgebied aangepast. Het bleek echter dat er toch zoveel verschillen in belichting van de foto's binnen komgebieden zaten op de vlieglijnen en door verschillen in sedimentconcentratie, dat de drempels voor subgebieden zijn aangepast (Fig. 4 voor voorbeeld, zie ook Appendix).

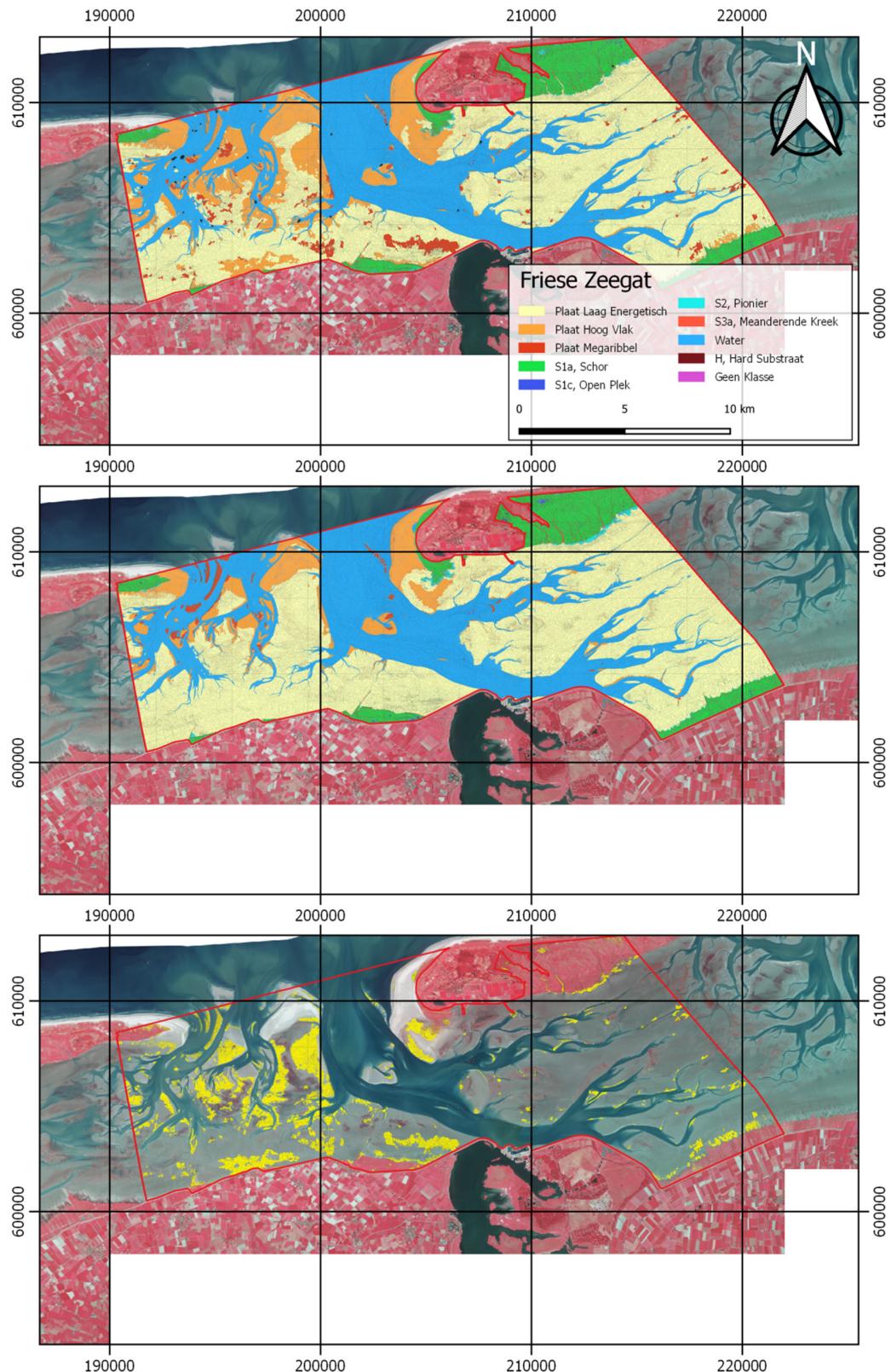
De resultaten zijn over het algemeen buitengewoon goed te noemen (Tabel 1). Als voorbeeld zijn hieronder de resultaten voor het Friese Zeegat afgebeeld (Fig. 5, voor alle komgebieden zie appendix) voor absolute arealen, aantallen objecten en relatieve oppervlakten (Fig. 6, voor alle komgebieden zie appendix). Net als bij de Oosterschelde zijn de grootste verschillen vooral te vinden bij de onbegroeide plaatklassen. De verschillen bij de schorklassen zijn kleiner en vooral opvallend bij de aantallen objecten en veel minder bij de oppervlakte. Dit geeft aan dat dit om kleine objecten gaat.

*Tabel 1. Overeenkomsten tussen de automatische en door de expert gecorrigeerde kaart per komgebied.*

Komgebied	incl. water	excl. water
Marsdiep	98,2%	90,3%
Eierlandse Zeegat	93,5%	88,9%
Vliestroom	95,9%	89,3%
Amelander Zeegat	91,9%	88,8%
Friese Zeegat	90,8%	87,1%
Huibertgat	91,6%	89,8%
Eems-Dollard	97,2%	95,2%



*Figuur 4. Kaart van subgebieden in het Friese Zeegat waar aparte drempelwaarden nodig waren in de ruleset wegens verschillen in belichting en sedimentconcentratie.*



Figuur 5. Biogeomorfologische kaarten van het Friese Zeegat. Boven: automatische methode, midden: de door de expert gecorregeerde kaart en onder: de vergelijkende kaart, met in geel locaties waar gecorregeerd is. De gele verschilobjecten worden overdreven afgebeeld wegens de dikte van de omlijning.

Friese_Zeegat														Total row (ha)	Total diagonal (ha)	Producers Accuracy (%)	Overall Accuracy (%)
Class UU	S1a	S1c	S2	S3a	P1	P20	P2c	P3	H1	H2	O	Water	GK				
S1a	1874.6	2.8	8.8							0.2			1886.3		99.4		
S1c	8.9	13.3	0.8										23.0		57.7		
S2	15.3	10.7	74.8	0.6	0.7		0.1			1.4			103.6		72.2		
S3a	8.0	0.7	6.9	47.4						0.1			63.0		75.2		
P1			37.7	11.6	11299.1	7.0	101.6			3.1	11.5		11471.6		98.5		
P2b					468.1	65.5	13.7			0.8			548.1		11.9		
P2c	2.9	0.2	5.8	0.1	1392.0	134.0	1785.1			0.0			3320.1		53.8		
P3																	
H1																	
H2																	
O																	
Water																	
GK																	
Total column (ha)	1909.9	27.6	134.9	59.7	13160.6	226.2	1902.5			23.6	7381.9		7387.8		99.8		
Total diagonal (ha)														22547.2			
User's Accuracy (%)	98.2	48.2	55.4	79.3	85.9	28.9	93.8			74.8	99.8						
Overall Accuracy (%)																90.8	

Friese_Zeegat																
Class UU	S1a	S1c	S2	S3a	P1	P20	P2c	P3	H1	H2	O	Water	GK			
S1a	30897	47	209							8						
S1c	342	621	42													
S2	419	200	1880	26	16								46			
S3a	319	28	279	2017									3			
P1			242	152	52848	108	876						62			169
P2b					3240	776	146						10			
P2c	47	4	60	3	6725	1894	10801						7			
P3																
H1																
H2													1998			
O																
Water																66975
GK	2			3	1	6	44	8					4			17

Friese_Zeegat																
Class UU	S1a	S1c	S2	S3a	P1	P20	P2c	P3	H1	H2	O	Water	GK			
S1a	99.38	0.15	0.46							0.01						
S1c	38.77	57.71	3.52													
S2	14.80	10.33	72.18	0.55	0.63				0.12				1.39			
S3a	12.71	1.05	10.94	75.19									0.11			
P1			0.33	0.10	98.50	0.06	0.89						0.03			0.10
P2b					85.40	11.94	2.50						0.15			
P2c	0.09	0.01	0.17	0.00	41.93	4.03	53.77						0.00			
P3																
H1																
H2													100.00			
O																
Water									0.00	0.22	0.02					99.76
GK	2.09		4.47	1.20	7.31	57.40	12.04						5.21			10.28

Figuur 6. Resultaten voor het Friese Zeegat. Vergelijking van de automatische methode (verticaal) met de door de expert gecorrigeerde methode (horizontaal) in absolute oppervlaktes (boven), aantal objecten (midden), en percentages van het droogvallend oppervlak (onder). Voor uitleg van klassen zie methodensectie. Overige bekvens staan in de appendix. De klasse GK betekent 'geen klasse'.

## Vergelijking van hoogtevariabelen uit LIDAR en uit stereo-luchtfoto's voor het Friese Zeegat

Ten behoeve van een vergelijking van hoogtedata uit LIDAR en uit stereo-luchtfoto's zijn in 2018 in het Friese Zeegat zowel nieuwe, extra hoge resolutiefoto's als LIDAR geschoten. De foto's zijn eerst geklassificeerd met de ruleset om de vergelijking van hoogtevariabelen uit beide datasets per object te kunnen vergelijken.

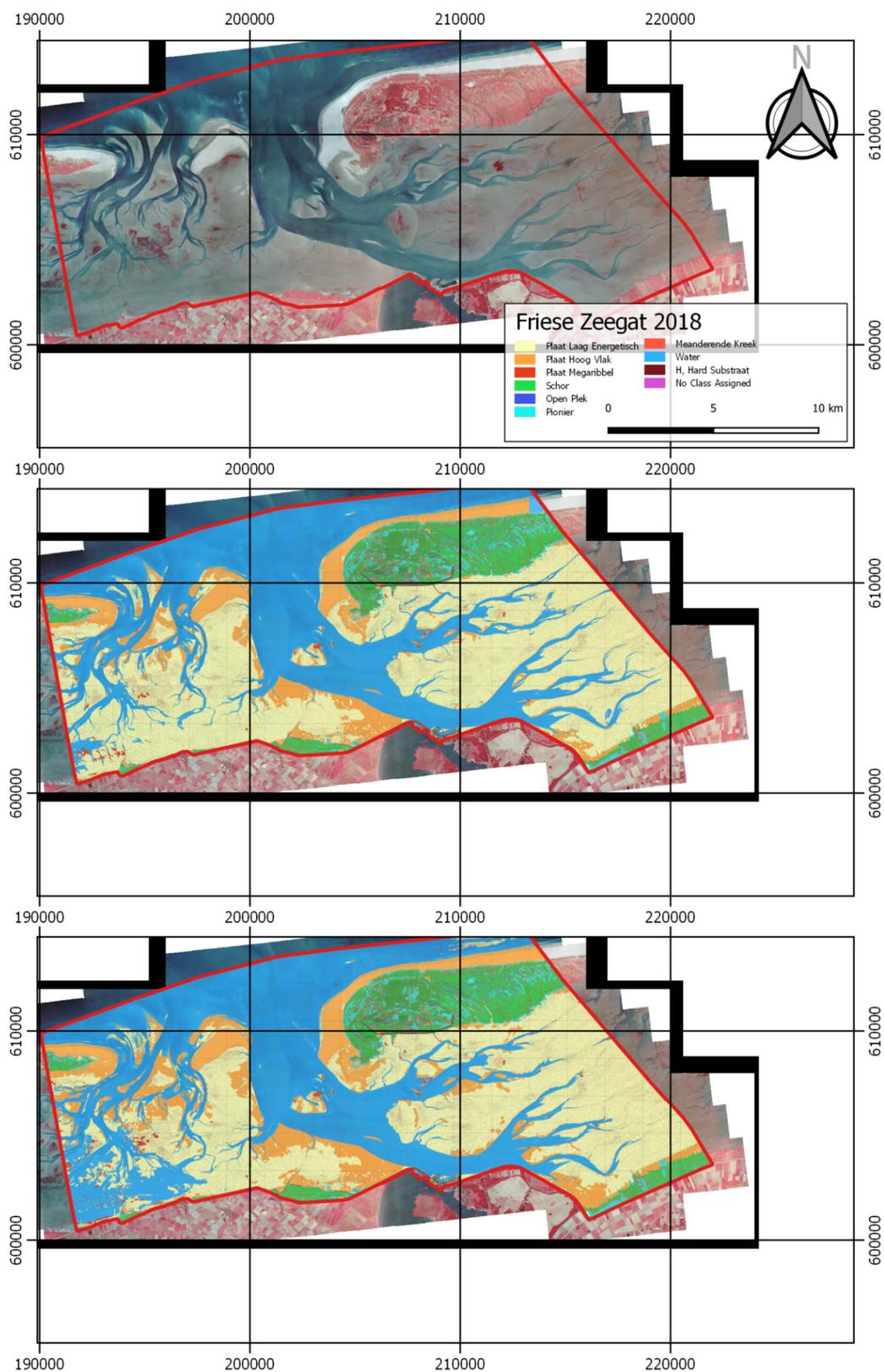
De resolutie van de beelden was tweemaal zo hoog als die van de beelden elders in dit rapport gebruikt, waardoor de rekentijd voor het Friese Zeegat van 44 naar 144 uur ging. Bij 1 tegel per keer was de totale tijd voor classificatie met de ruleset meer dan 6 dagen, en voor 2 tegels per keer de helft. Binnen het komgebied moest er met meerdere parameter sets gewerkt worden om de classificatie gelijk te trekken (Appendix). Daarnaast is het resultaat van de classificatie overeenkomstig met het resultaat van de andere classificaties op luchtfoto's van 25 cm resolutie (Fig. 7).

De moeilijkheden van fotogrammetrie in het buitendijkse gebied is het ontbreken aan ground control points, aanwezigheid van veel water, en weinig textuur in de oppervlaktes die boven water liggen. Door het gebrek aan ground control points was het lastig om de foto's goed aan elkaar te koppelen en de absolute hoogte goed te bepalen, in het bijzonder daar waar de textuur op de platen ook niet hoog is. Dit laatste leverde duidelijk meer ruis op, die eruit is gefilterd voordat een hoogtemodel werd gemaakt.

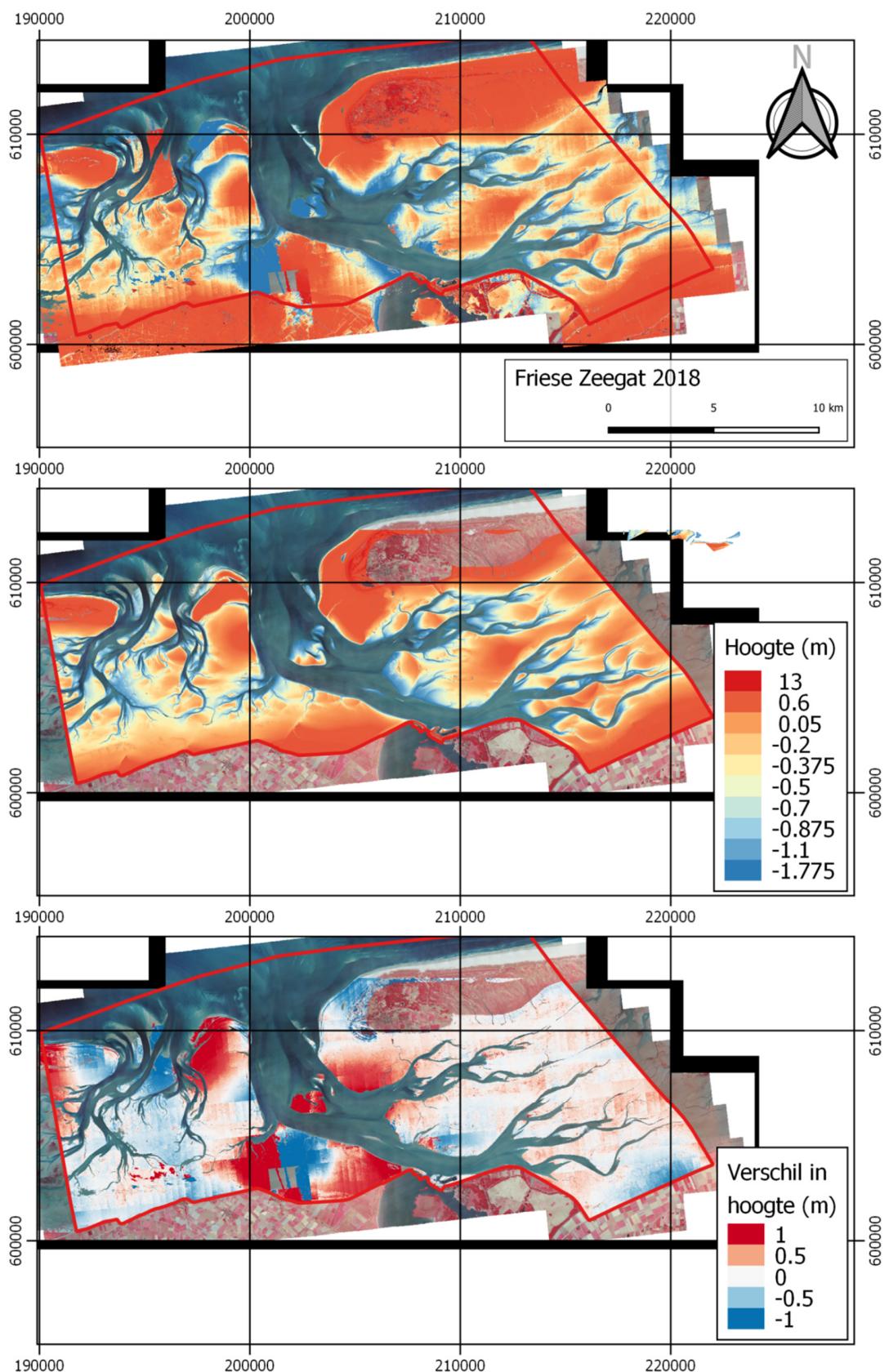
Ondanks de moeilijkheden zijn de foto's redelijk goed aan elkaar gekoppeld. Ook de resulterende dense cloud was redelijk vlakdekkend over het hele gebied heen. De uiteindelijk DEM is ondanks de ruis in grote lijnen overeenkomstig met de LIDAR (Fig. 8). Toch zijn er ook plekken waarbij de fotogrammetrisch bepaalde hoogte duidelijk afwijkt van de LIDAR (Fig. 8 voor overzicht en Fig. 9 voor vier voorbeelden in detail). Dit is in overeenstemming met de verwachting dat de absolute hoogte niet goed met deze data is te bepalen. Wel is op de hoogtedata uit foto's veel meer detail te zien door de grotere puntendichtheid (Fig. 10), en worden ondermeer megaribbels opgelost die ook in de beelden zelf goed te zien zijn.

De ruleset gebruikt echter relatieve hoogteverschillen binnen objecten, waardoor fouten in absolute hoogte wellicht geen probleem zijn. De hoogtedata voor elk object worden vergeleken (Fig. 11) voor hoogte binnen een object, standaarddeviatie daarvan, helling, en standaarddeviatie van de helling. Tussen de kansverdelingen van deze vier variabelen zijn wel verschillen te zien, maar geen duidelijke contrasten die kunnen worden gebruikt voor een eenduidige classificatie in de ruleset. De LIDAR heeft wat smallere verdelingen, wat komt omdat er minder kleinschalige hoogtevariatie wordt opgelost met deze methode dan met de luchtfoto's.

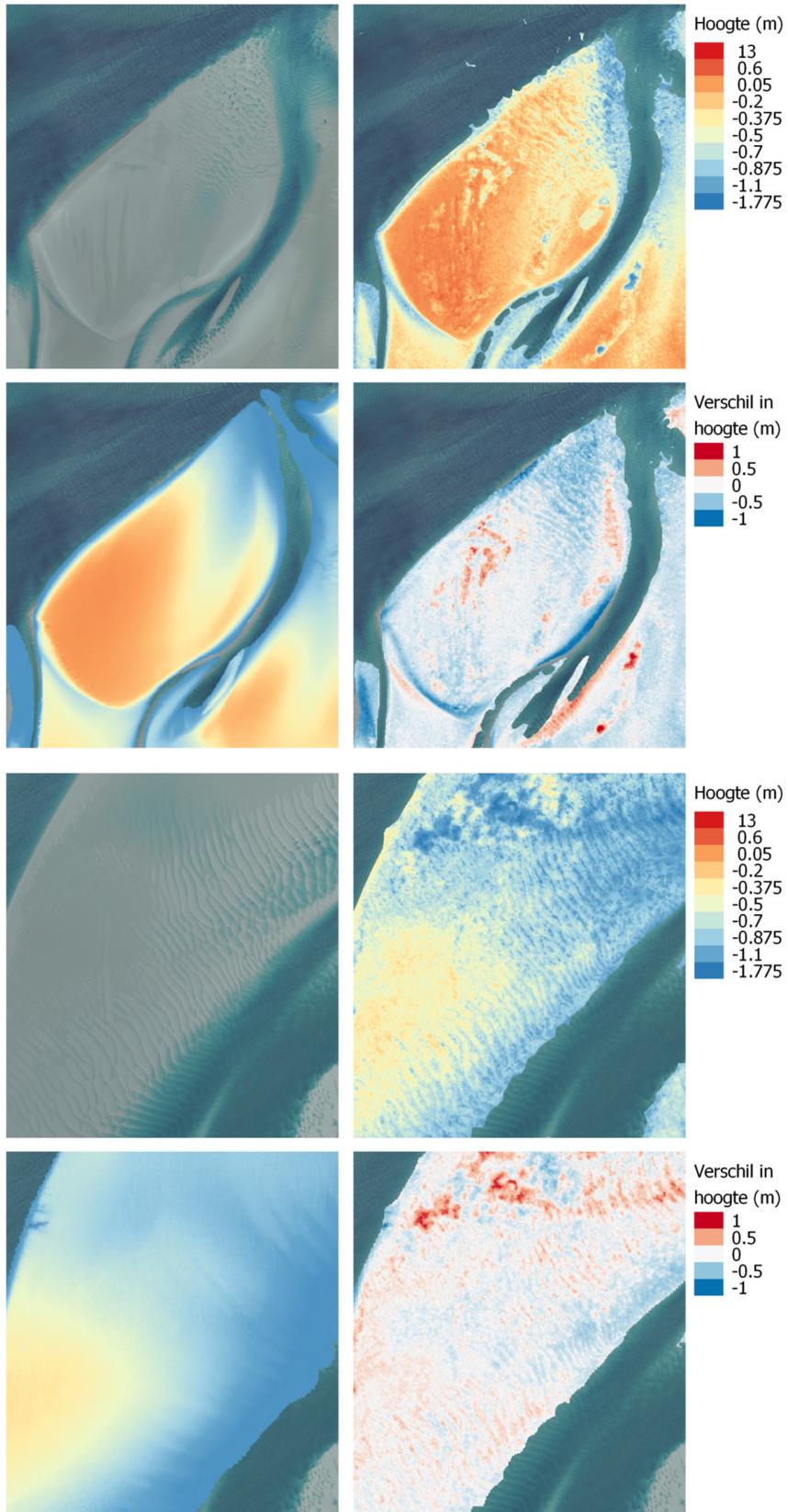
De verschillende variabelen zijn tegen elkaar geplot om te zoeken naar combinaties die contrasten tussen de drie plaatklassen ten behoeve van classificatie. Dit levert een vergelijkbaar beeld op bij beide methoden en geen eenduidig en bruikbaar resultaat.

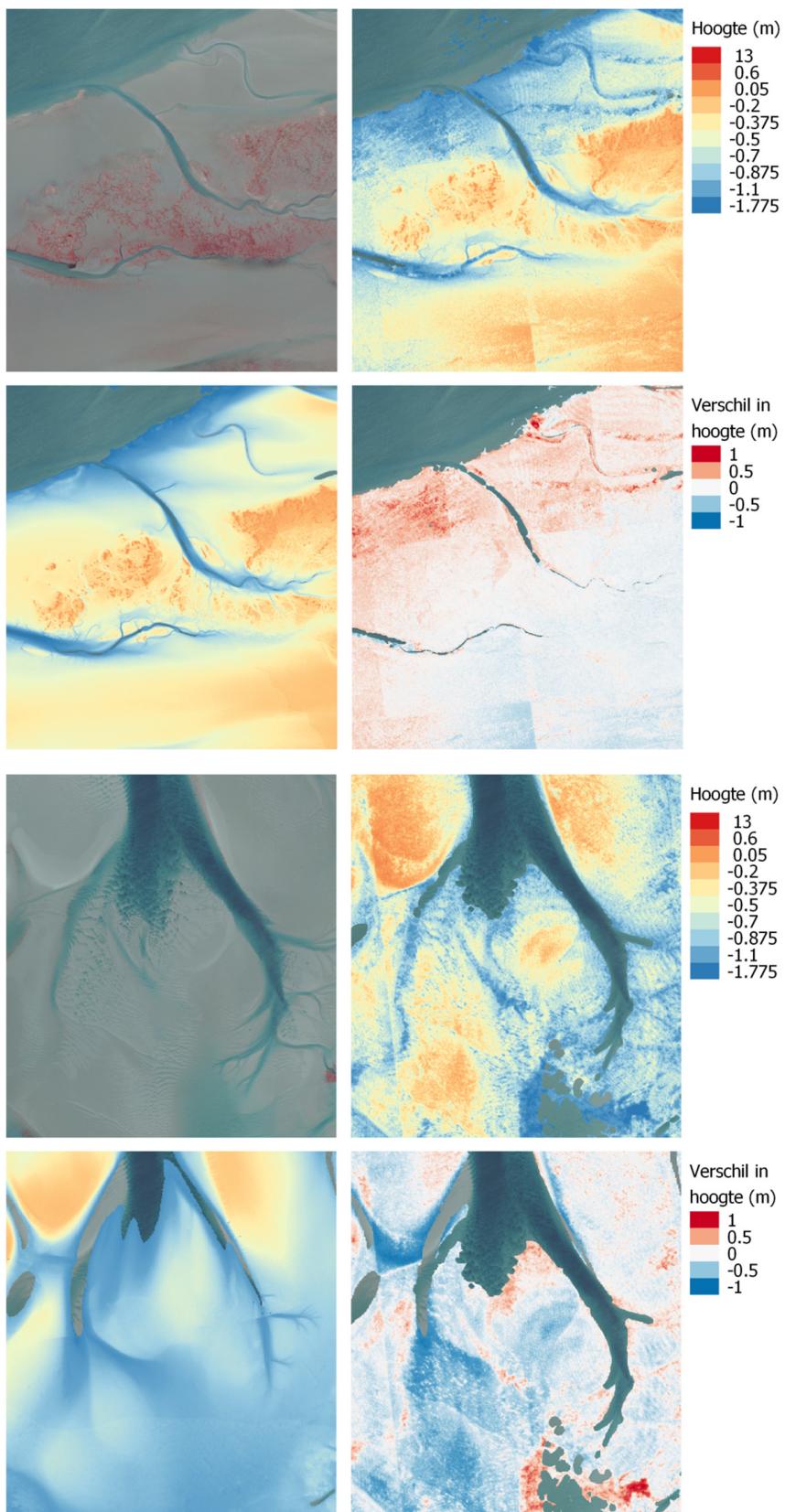


Figuur 7. Classificatie het Friese Zeegat in 2018 met de nieuwe luchtfoto's. Middelste plot laat resultaat zien met 3 parameter sets. Onderste plot geeft het resultaat wanneer er met 1 parameter set geclassificeerd wordt. Hier is met name te zien het verschil in water classificatie te zien.

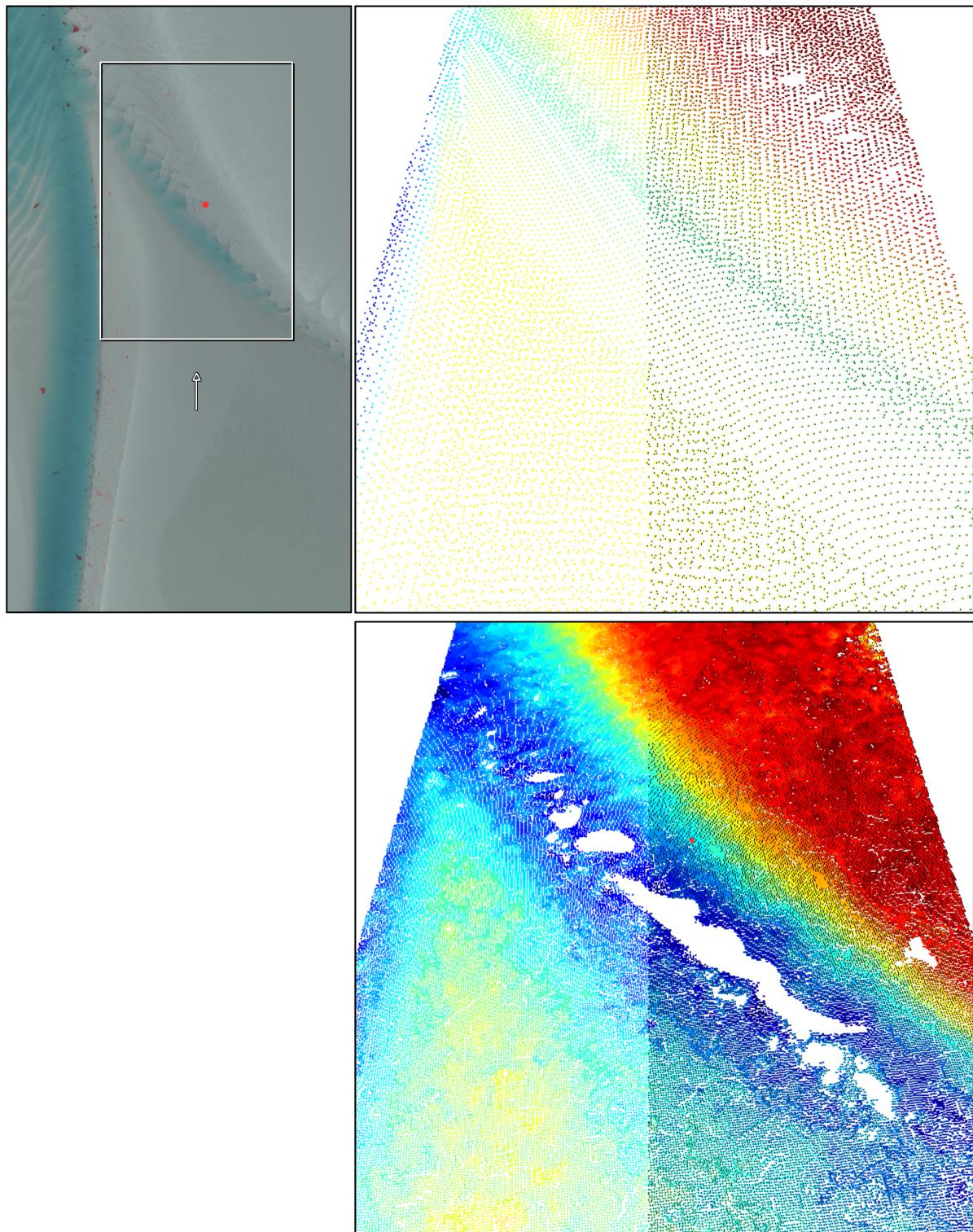


Figuur 8. Hoogtekaarten van het Friese Zeegat uit de luchtfoto's (boven), de LIDAR (midden) en het verschil (onder).

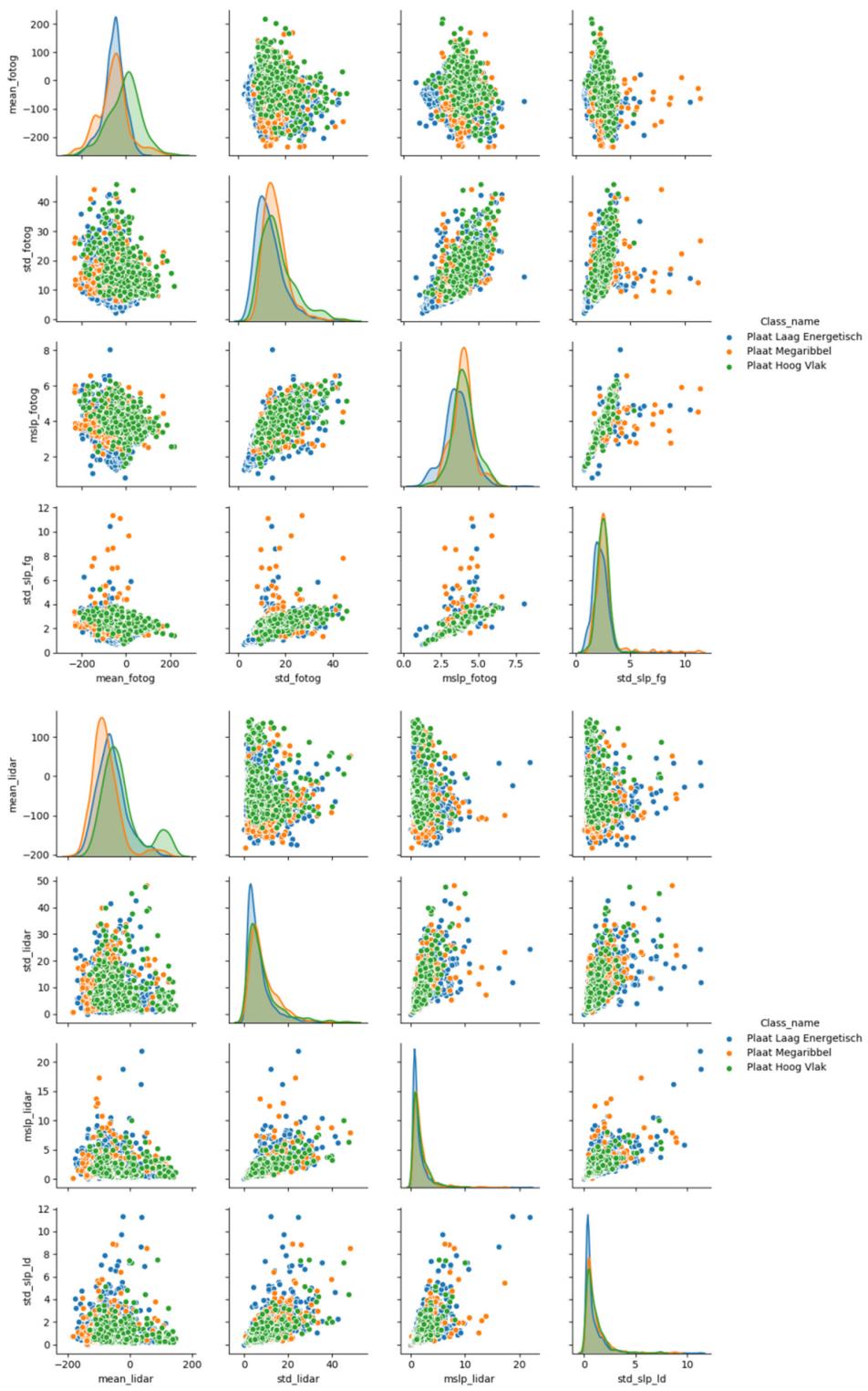




*Figuur 9 (over twee pagina's). Vergelijking van beelden, hoogtedata uit luchtfoto's (gedetailleerd maar met artefacten) en LIDAR (met minder detail), en de hoogteverschillen op vier plaatgebieden.*



Figuur 10. Impressie van het verschil in puntendichtheid van LIDAR (boven) en fotogrammetrie (onder) voor een gebiedje aangegeven op de luchtfoto (links).



Figuur 11. Verdelingen en vergelijkingen van hoogte (mean), standaarddeviatie (std) van hoogte, gemiddelde helling (mslp) en standaarddeviatie (std\_slp) van helling voor hoogtedata uit luchtfoto's (boven) en uit LIDAR (onder) voor drie plaatklassen. Elk object is als één punt afgebeeld.

## Discussie: beantwoording onderzoeksvragen

In deze paragraaf worden de onderzoeksvragen beantwoord (voor vraagnummers tussen haken zie de inleiding).

De OBIA-methode is toepasbaar op het hele watersysteemniveau van de Oosterschelde en de Waddenzee voor het gehele buitendijkse gebied binnen de landsgrenzen, inclusief de Eems-Dollard (**1**), waarbij alleen de belangrijkste parameters (drempelwaarden voor *brightness* en NDVI) binnen de Ruleset moeten worden aangepast aan de kwaliteit en belichting van de luchtfoto's (**1b**). Vergelijking van de automatisch geproduceerde kaarten met de door de expert gecorrigeerde kaarten resulteerden in een overeenkomst van net 90% in de Oosterschelde (**1c**) en ruim meer dan 91 tot 98% inclusief water en 87 tot 95% exclusief water in alle deelgebieden in de Waddenzee (**1abc**). De overeenkomst tussen de OBIA-kaart en de bestaande GMK van RWS voor de Oosterschelde was beter dan in de Westerschelde (**1a**). De vergelijking van de automatisch geproduceerde kaart en de nabewerking door de expert van de gehele kaart (niet een steekproef) laat zien dat de kwaliteit van de OBIA-kaart voldoende is voor inzet op watersystemen waar nog geen bestaande RWS-producten beschikbaar zijn, namelijk de Waddenzee (**1a**).

Bovendien betekent de oplevering van de data met aparte objecten en grote tijdwinst in de correctie van de kaarten door experts omdat er geen nieuwe grenzen hoeven te worden getekend. Deze correctie kostte voor de hele Waddenzee circa 100 uur. Daarbij werd ook een kleine minderheid gecorrigeerd op artefacten, maar het merendeel hiervan is ondervangen door verschillende drempelwaarden in te stellen in de ruleset voor subgebieden (**1d**). Dit kan in de toekomst worden verbeterd door hogere eisen aan de luchtfoto's te stellen voor belichting en getijfase (**1e**).

De rekentijd was beperkt tot dagen per komgebied (Tabel 2), afhankelijk van computercapaciteit (**1f**). Het vergt echter wel ervaring met Object-Based Image Analysis en kennis van het gebied om de drempelwaarden van de ruleset in te stellen (**1g**).

Tabel 2. Rekentijd per deelgebied voor het geval dat 1 tegel van 2 bij 2 km tegelijk wordt geanalyseerd, en voor het geval dat 2 tegels tegelijk worden gedraaid als de capaciteit van de computer dat toelaat.

Deelgebied	1 tegel per keer dagen + uren:minuten	2 tegels per keer (bij benadering)
AM_Zeegat	1 dagen 06:11	0 dagen 15:05
EemsDollard	2 dagen 05:15	1 dagen 02:37
EI_Zeegat	1 dagen 11:54	0 dagen 17:57
Friese_Zeegat	1 dagen 20:17	0 dagen 22:08
Huibertgat	1 dagen 21:13	0 dagen 22:36
Marsdiep	4 dagen 23:50	2 dagen 11:55
Vliestroom	4 dagen 08:42	2 dagen 04:21

Deze goede resultaten suggereren dat de methode ook toepasbaar is voor de gehele Trilaterale Waddenzee en daarmee als basis zou kunnen dienen voor de ecotopenkaart voor dit gehele gebied (dit gaat verder dan **1a** en **1d**). De recentste ecotopenkaart (Baptist et al. 2019) is nu nog gebaseerd op data en modellering zonder gebruik van een biogeomorfologische kaart en heeft daarmee een andere aard dan

die in de Westerschelde en Oosterschelde. Het verdient aanbeveling de twee methoden te vergelijken en te integreren.

We hebben getest of in plaats van laseraltemetrie-data voor de hoogte gebruik kan worden gemaakt van hoogtedata gegenereerd uit de stereografische foto's met Agisoft (**2**). Dit is voor het Friese Zeegat getest door vergelijking van het kaartbeeld en door vergelijking van vier variabelen per object per plaatoppervlakteklasse, namelijk gemiddelde hoogte en standaarddeviatie hiervan, en helling en standaarddeviatie hiervan. Hieruit bleek dat er met de hoogtedata uit luchtfoto's wel veel meer detail wordt opgelost, waardoor ook megaribbels goed worden gevonden in de hoogtedata, maar dat dit ten koste gaat van veel artefacten door het gebrek aan ground control points en ruis (**2**). Het is maar de vraag of verhoging van de beeldresolutie tot verbetering leidt; het lijkt waarschijnlijker dat grotere overlap tussen de beelden tot betere resultaten kan leiden gezien ervaringen met de methode.

Voor de vergelijking van de drie plaatklassen is weliswaar gebruik gemaakt van de classificatie zonder hoogtegegevens, maar deze was al zodanig goed na vergelijking door de expert dat de overlap in hoogtevariabelen tussen diezelfde klassen niet kan worden geweten aan foute classificatie. Dit betekent waarschijnlijk dat de klassen niet van elkaar te onderscheiden zijn op basis van deze hoogtedata, ondanks dat het voor de hand ligt dat er een hoogteverschil en hellingverschil is tussen laagdynamische en hoogdynamische vlakke gebieden, en dat in objecten van megaribbels veel meer hoogtevariatie en hellingvariatie wordt verwacht. Wellicht dat dit met een expert analist van hoogtedata nog kan worden verbeterd, maar in de huidige analyse zijn geen aanwijzingen dat de gedetailleerdere hoogtedata aan een betere classificatie van plaatoppervlak met de ruleset kan bijdragen.

## Conclusies

We hebben op basis van eerder werk in de Eems-Dollard en Westerschelde een methode ontwikkeld om biogeomorfologische kaarten te maken op watersysteemniveau ten behoeve van ecotopenkaarten op grond van luchtfoto's in kleur met nabij-infrarood. Deze methode maakt niet alleen gebruik van de spectrale informatie, maar ook van de structuur van het landschap boven water. Omdat de fotokwaliteit voor ieder gebied en ieder moment (net iets) varieert, begint de methode met een calibratiestap voor NDVI en Brightness. Alle volgende besliswaarden in de methode zijn gekoppeld aan deze startwaarden, en na de calibratie kan de methode zonder enige aanpassing worden toegepast en wordt een biogeomorfologische kaart geproduceerd voor het hele gebied.

Het studiegebied in dit rapport is de Oosterschelde en het Nederlandse deel van de Waddenzee, inclusief de Eems-Dollard. Het resultaat is een vlakdekkende kaart met biogeomorfologische eenheden die passen in het zoute-ecotopenstelsel. De automatisch geproduceerde kaarten zijn door een expert nagelopen en waar nodig zijn objecten van klasse veranderd, zonder overigens nieuwe grenzen te trekken. Het opleveren van de kaarten met de objecten maakt het mogelijk dat een expert snel aanpassingen in de classificatie doet omdat er geen nieuwe grenzen hoeven te worden getrokken. De kaarten van de automatische methode hebben 90 tot 98% overeenkomst met de door de expert gecorrigeerde kaarten, wat voor automatische methoden buitengewoon goed is. De kale rekentijd varieert van minder dan een dag tot bijna 5 dagen per komgebied afhankelijk van de capaciteit van de computer. Daarmee is de methode toepasbaar op alle zoute watersystemen, en vermoedelijk ook voor de gehele Nederlandse, Duitse en Deense Waddenzee.

Hoogtedata afgeleid uit stereoluchtfoto's geven meer detail dan LIDAR, maar ook meer artefacten door gebrek aan ground control points, en meer ruis. Vergelijking van de afgeleide variabelen van hoogte, namelijk helling en de standaarddeviatie van hoogte en van en helling, gaf geen duidelijk onderscheid tussen de drie plaatklassen. Dit betekent dat de hoogtedata vooralsnog geen meerwaarde lijkt te hebben.

## Aanbevelingen

De huidige methode is stapsgewijs ontwikkeld door toepassing op verschillende getijdesystemen op basis van proceskennis. Het streven is telkens geweest om een generieke methode te ontwikkelen waarin de specifieke eigenschappen van de verschillende systemen werden meegenomen. Het verdient aanbeveling om een data-mining analyse uit te voeren om zo relevante variabelen te identificeren die kunnen worden toegevoegd aan de ruleset om de resterende fout te verkleinen. In de huidige methode zijn de variabelen geselecteerd op basis van systeemkennis. Bovendien biedt dit wellicht de mogelijkheid om het aantal klassen uit te breiden. In de huidige methode is het aantal klassen lager dan in de geomorfologische kaart van RWS en uitbreiding zou bijvoorbeeld het onderscheid tussen zandig en slibrijk mogelijk kunnen maken, wat voor ecologie belangrijk is.

Ten behoeve van betere hoogtedata is niet een hogere resolutie van de foto's gewenst, maar een grotere overlap tussen de opeenvolgende foto's. Het is, gezien ervaring met andere gebieden en data van drones, waarschijnlijk dat dit een groot deel van de artefacten op zal lossen. Ofschoon de hier geanalyseerde hoogtedata nog niet tot een verbetering van de classificatie leidde, verwachten we dat dit wel zo zal zijn als de variabelen worden gebruikt in bovengenoemde data-mining analyse, niet alleen voor de individuele objecten maar ook voor grotere SUPERobjecten.

Met het huidige en voorgaande projecten hebben we een methode ontwikkeld om de handmatige kartering van biogeomorfologie uit luchtfoto's te automatiseren. Naast de biogeomorfologie is er vraag naar andere eigenschappen die uit luchtfoto's worden afgeleid zoals bijvoorbeeld de vegetatiekartering in de kwelders of de ecotopenkartering in de uiterwaarden. Het opzetten van een vergelijkbare methodiek voor deze toepassingen zal leiden tot een verdere automatisering van luchtfoto-interpretatie om in de kennisbehoefte binnen Rijkswaterstaat te voldoen.

Naast kwalitatieve producten zoals thematische kaarten is de methodiek ook geschikt om kwantitatieve producten te maken. Een eerste pilot voor de Waddenacademie om korrelgrootte met OBIA te karteren in de Waddenzee gaf een nauwkeurigheid van 57%; hier zijn nog veel verbetermogelijkheden en een combinatie met de thematische kartering dient ook overwogen te worden. De resultaten van de automatische methode voor biogeomorfologische kaarten zou ook moeten worden vergeleken en wellicht gecombineerd met de methode voor ecotopenkaarten van Baptist et al.

De biogeomorfologische kaarten worden momenteel geproduceerd op basis van één fotoset en representeren vervolgens het volledige jaar van opname. In dynamische systemen zoals estuaria en getijdesystemen is de situatie echter constant aan verandering onderhevig en het is daarom niet realistisch één moment een vol jaar weer te laten geven. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken wat de variatie is bij meerdere karteringen per jaar, wellicht voor een enkel deelgebied op basis van aanbevelingen van de beheerder.

Indien in de toekomst weer luchtfoto's uit de landelijke voorziening gebruikt zullen worden, is het belangrijk de eisen voor buitendijkse gebieden strenger te maken. Dit gaat ondermeer om vliegen bij zo laag mogelijke waterstanden en in zo min mogelijk vliegdagen omdat dit spectrale verschillen oplevert met bijbehorende classificatieproblemen. In de huidige studie veroorzaakte dit grote problemen bij het Huibertgat, dat in zes afzonderlijke delen geklassificeerd moest worden.

Bij het creëren van hoogtedata uit overlappende luchtfoto's dient de analist ruime ervaring te hebben op dit vlak. Het getijdenlandschap biedt in vergelijking met andere landschappen weinig goed herkenbare punten die in overlappende foto's teruggevonden kunnen worden. Wellicht dat een expert op het gebied van dit soort data nog betere hoogtebestanden kan creëren.

## Literatuur

- Addink, E. A., F. M. B. Van Coillie, en S. M. de Jong, 2012. Introduction to the GEOBIA 2010 special issue: From pixels to geographic objects in remote sensing image analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 15:1-6.
- Baptist, M.J., J.T. van der Wal, E.O. Folmer, U. Gräwe en K. Elschot 2019. An ecotope map of the trilateral Wadden Sea. Journal of Sea Research 152, <https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.05.003>.
- Bouma. H., D.J. de Jong, F. Twisk en K. Wolfstein, 2005. Zoute wateren EcopenStelsel (ZES.1) voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ/2005.024.
- Cleveringa, J. 2014. Ecopen in de Westerschelde. LTV Veiligheid en Toegankelijkheid. Arcadis.
- Coumou, L. 2015. Biogeomorphological Evolution of the Tidal Flat ‘Plaat van Walsoorden’ (Western Scheldt, NL) from 2004 to 2014 by Object-Based Image Classification of Aerial Photographs. Unpublished but over-abundantly distributed BSc-thesis Earth Sciences Utrecht University, supervision E.A. Addink and M.G. Kleinhans
- Douma, H., E.A. Addink en M.G. Kleinhans 2018a. Automatische classificatie en analyse van luchtfoto's van het Eems-Dollard estuarium. Universiteit Utrecht, Departement Fysische Geografie, rapport i.o. Rijkswaterstaat WVL ten behoeve van het ED2050 programma.
- Douma, H., E.A. Addink en M.G. Kleinhans 2018b. Verkenning productie Geomorfologische Kaart met behulp van Object Based Image Analysis. Universiteit Utrecht, Departement Fysische Geografie, rapport i.o. Rijkswaterstaat CIV.
- Kers, A.S., L. Walburg, J. Bakker, A.H. Daane, D.J. de Jong, M. Schrijver, P. Lievense, L. Dekker en J. de Klerk. 2013. Dienstbeschrijving Zoute ecopenkarteringen. Rijkswaterstaat CIV/ZD, Delft / Middelburg.
- Ysebaert, T.J.W., J.T. van der Wal, M. Tangelder, A.V. de Groot en M.J. Baptist, 2016. Ecopenkaart voor het Eems-Dollard estuarium. IMARES Wageningen UR Rapport C059/15.

## Appendices

1. Beschrijving eCognition classificatie
2. Annotated Rule Set
3. Overzicht classificaties met details en nauwkeurigheidstabellen
4. Classificatie van het Friese Zeegat met hogere resolutie
5. Fotogrammetrie van het Friese Zeegat



# Appendix 1

## Beschrijving eCognition classificatie

# eCognition classification ruleset

De classificatie in eCognition wordt uitgevoerd op tiles van 4x4 km, welke uitkomen op 16000x16000 pixels. Deze grootte is gekozen om het processen mogelijk en snel genoeg te houden. Grottere tiles zorgen voor veel langere process tijden vanwege de manier waarop eCognition met grote files omgaat. Voor deze tiles is een overlap van 10% gekozen. 400 meter overlap per tegel moet er voor zorgen dat op de het midden van de overlap de segmentatie hetzelfde is voor beide tegels. Dit zorgt er voor dat na de classificatie de tegels weer tegen elkaar aan geplakt kunnen worden.

## Input data

De methode heeft als input:

- Luchtfoto, 0.25x0.25 m
  - In tegels van 4x4 km (16000 x 16000 pixels)
- Hoogte data, 2x2 m
  - In zelfde tegels als luchtfoto
- Geomorfologische kaart
  - Classificatie extent, buitengrenzen op basis van droogvalduur
  - Antropogeen extent

## Ruleset structure

De ruleset heeft verschillende secties die hij doorloopt.

- 1) Check of de tile data heeft
- 2) Zet variabelen en parameters
- 3) Toevoegen van vector lagen en classificatie extent bepalen
- 4) Classificatie
  - a. Water
  - b. Antropogeen
  - c. Schor
  - d. Plaat
    - i. Megaribbel
    - ii. Rest van de plaat
- 5) Export

In de ruleset worden op verschillende moment gesegmenteerd op verschillende niveaus met verschillende parameters. Dit wordt gedaan omdat de verschillende oppervlaktes verschillende objecten nodig hebben om optimaal gesegmenteerd te kunnen worden. Water, antropogeen en schor hebben kleinere objecten nodig als basis segmenten dan bijvoorbeeld plaat oppervlaktes. Objecten om megaribbel objecten te segmenteren hebben andere parameters nodig dan de objecten om meer homogene plaat oppervlaktes te segmenteren. Deze verschillen worden later nog verder besproken.

## Check of tile data heeft

Deze check wordt gedaan omdat de westerschelde luchtfoto een gedeelte heeft waar er no-data aanwezig is. De tiles worden zo geknipt en ingeladen dat er tiles tussen kunnen zitten waar geen raster data aanwezig is. Daarom wordt deze stap uitgevoerd om te kijken of de tile verwerkt moet worden. Als er geen data aanwezig is wordt de tile geskipt en wordt de volgende tile verwerkt.

## Zet variabelen en parameters

De variabelen en parameters worden gebruikt in de classificatie algoritmes om de objecten te classificeren. Hierbij zijn de variabelen de waardes die tussen beelden zeker aangepast moeten worden. De parameters daarentegen zouden in de meeste gevallen niet aangepast hoeven worden.

## Toevoegen van vector lagen

De classificatie werd uitgevoerd binnen het extent van de geomorfologische kartering (GMK). Deze kaart wordt hier ingeladen en verwerkt zodat een vector laag overblijft met de uiterste grens waarbinnen geclasseerd gaat worden. Een eerste segmentatie wordt hier uitgevoerd om de extent te bepalen van binnen of buiten karteer grenzen. Dit wordt verder toegelicht in sectie 2.1.

## Berekenen van aanvullende raster lagen

Op basis van de lagen in de luchtfoto worden extra raster lagen berekend om te gebruiken voor de classificatie. Dit zijn met name een NDVI laag op basis van de nabij infrarood (nir) en rood banden (respectievelijk band 1 en 2 in de luchtfoto).

$$NDVI = \frac{nir - rood}{nir + rood}$$

En een Brightness raster met de gemiddelde raster waarde op basis van de luchtfoto banden.

$$Brightness = \frac{nir + rood + groen}{3}$$

## Classificatie

De classificatie wordt uitgevoerd in 4 hoofdgroepen:

- 1) Water
- 2) Antropogeen
- 3) Schor
- 4) Plaat

Water wordt geclasseerd omdat het doel van de ruleset niet is om onder het wateroppervlak te classificeren.

Antropogeen wordt geclasseerd met behulp van de vector data. Deze klasse is lastig te onderscheiden door verschillende spectrale eigenschappen. Omdat antropogene oppervlaktes grotendeels vastliggen en niet verplaatsen is de keuze gemaakt om de klasse te baseren op een externe vector laag welke polygonen bevatten van antropogene oppervlaktes.

Het schor wordt geclasseerd op basis van de NDVI. Een fijne segmentatie niveau samen met een NDVI grenswaarde bepaalt de begroeide oppervlaktes. Onderscheid tussen pionier en schor wordt gemaakt op basis van het oppervlakte aan aaneengesloten vegetatie objecten.

Classificatie van de plaat oppervlakten (megaribbels, laag energetisch en hoogenergetisch) worden geclasseerd in 3 stappen.

1. In de eerste stap worden de objecten geselecteerd op basis van duidelijke kenmerken. Denk hierbij aan spectrale waardes als NDVI en brightness, of hoogte/helling gegevens uit een hoogte model.
2. In de tweede stap worden naastgelegen objecten van de objecten geclasseerd in de eerste stap aan deze klasse toegevoegd met versoepelde grenswaarden die in de eerste stap gebruikt zijn.

- Alle objecten die zijn overgebleven worden in de derde stap aan een klasse toegewezen die spectraal het meest overeenkomt.

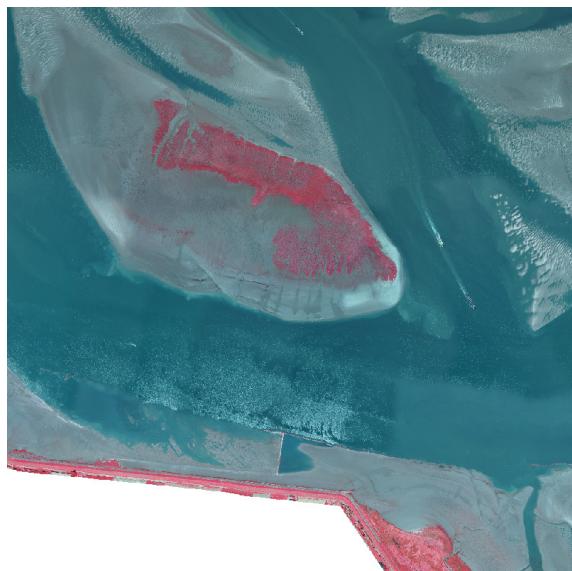
## Export

De classificatie wordt geëxporteerd als vector met de objecten waar de classificatie mee uitgevoerd is. Op deze manier kan de classificatie nog aangepast worden met bestaande objecten zodat er geen handmatige grenzen getekend hoeven worden.

In de vector worden per object 3 klassen opgeleverd. De hoofdklasse, de subklasse en een context klasse. De eerste is de klasse hoe het object uiteindelijk geïnterpreteerd is. De subklasse geeft weer hoe en wanneer het object geclassificeerd is. Dit geeft aan wanneer en op welke eigenschappen een object geclassificeerd is. Dit kan inzicht geven in de kans dat een object goed geclassificeerd is.

## Classificatie beschrijving

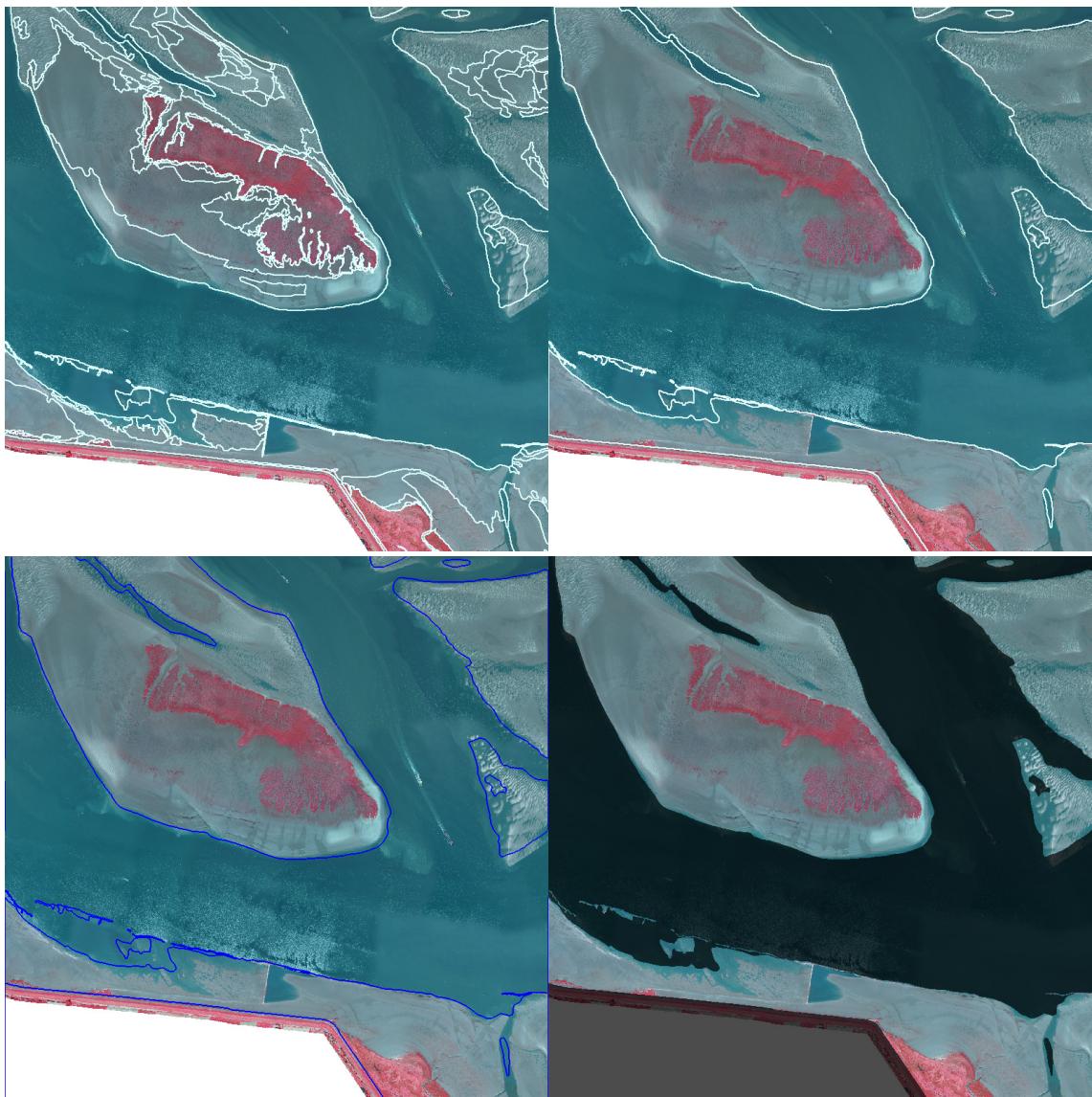
De waardes die voorkomen in de volgende tekst zijn gebruikt in de classificatie van de luchtfoto's van 2016.



## Bepalen classificatie extent

De GMK wordt ingeladen als vector laag (Figuur 0.1 links boven). Op deze laag wordt vervolgens een dissolve uitgevoerd zodat de buitengrenzen overblijven (Figuur 0.1 rechts boven). Met deze buitengrenzen als segmentatie input wordt het extent gesegmenteerd (Figuur 0.1 links onder). De objecten buiten deze grenzen wordt een ‘No-Data’ klasse toegewezen (Figuur 0.1 rechts onder). Deze objecten worden voor de volgende stappen buiten beschouwing gelaten.

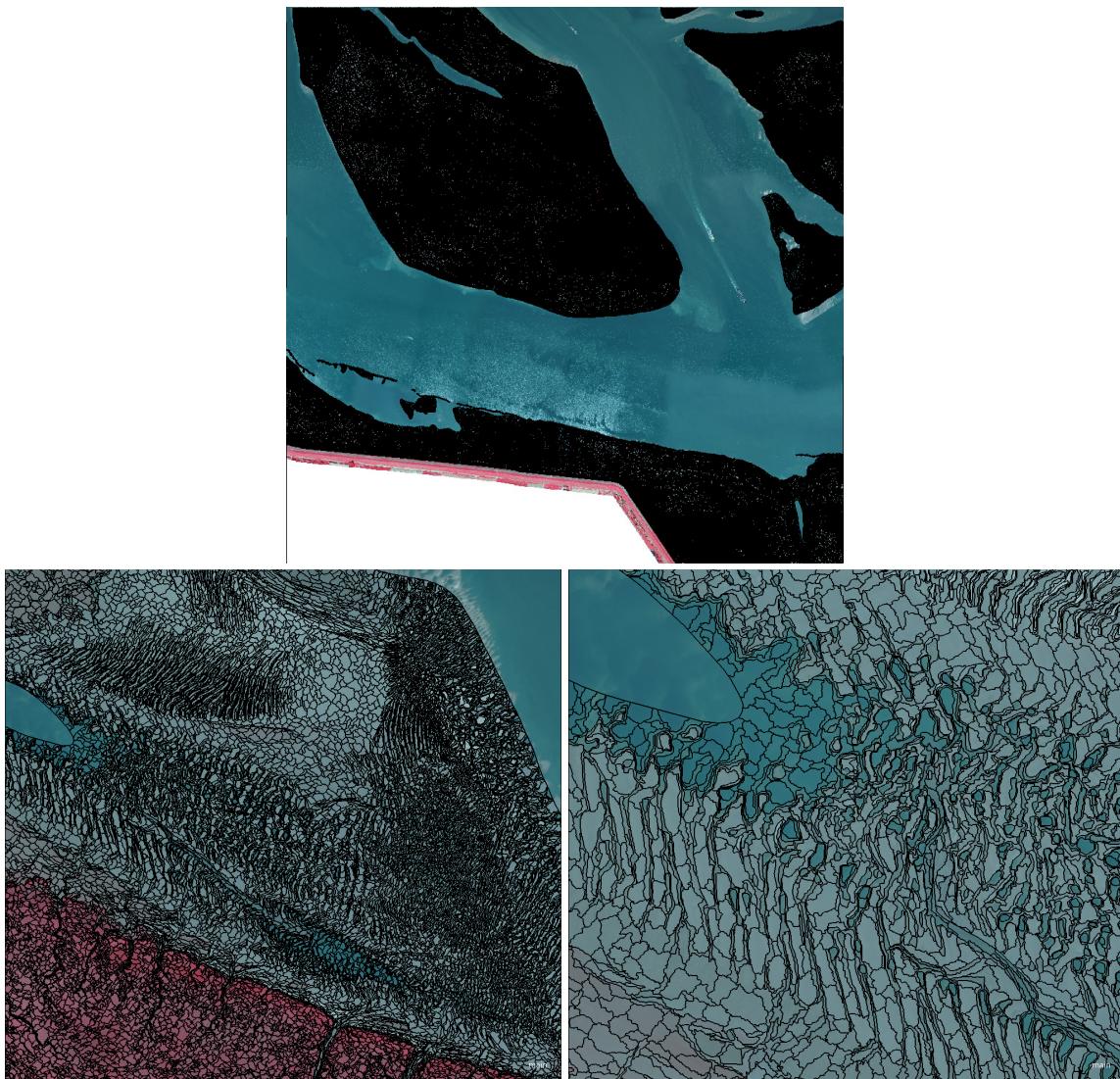
Als er geen droogvalduur grens beschikbaar is wordt deze stap overgeslagen en doorgegaan met water classificatie.



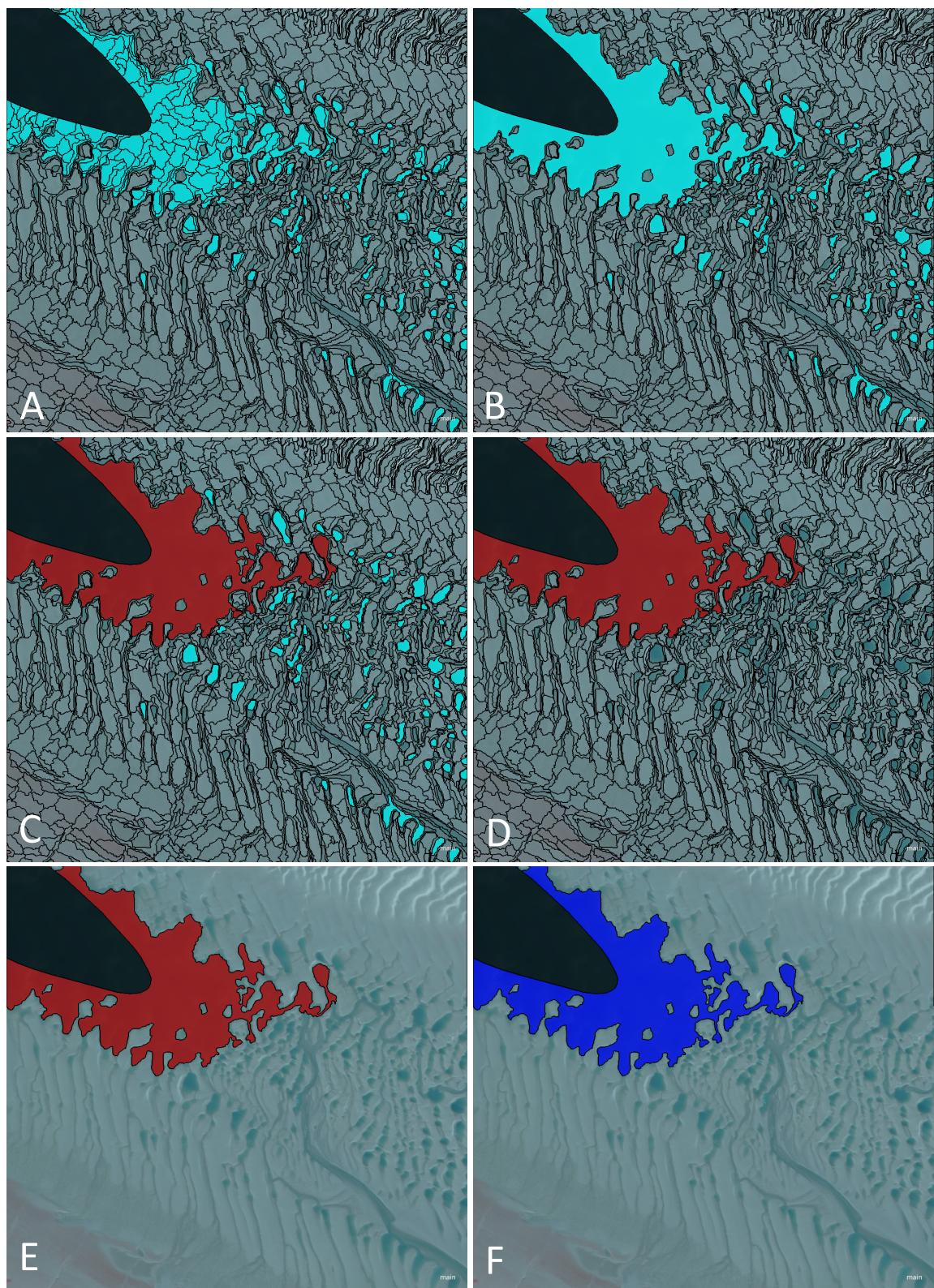
**FIGUUR 0.1 BEPALEN VAN HET CLASSIFICATIE EXTENT. INLADEN VAN DE GMK LINKS BOVEN. DISSOLVE VAN DE GMK RECHTS BOVEN. SEGMENTATIE OP BASIS VAN DE DISSOLVED GMK LINKS ONDER. CLASSIFICATIE VAN OPPERVLAKTE BUITEN DE CLASSIFICATIE EXTENT RECHTS ONDER. DE DONKERE STUKKEN ZULLEN IN DE VOLGENDE STAPPEN NIET MEEGENOMEN WORDEN.**

## Water

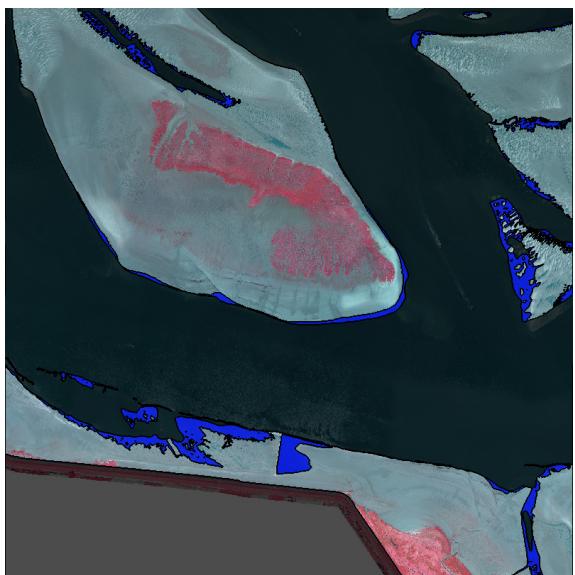
Water wordt gesegmenteerd met een kleine schaal waarde van 20 (Figuur 0.2). Hierbij worden kleine objecten gevormd waarbij gekeken wordt naar spectrale waarden. Objecten die beneden de ndvi threshold vallen worden geclassificeerd als water en met elkaar samengevoegd (Figuur 0.3 A en B). Omdat water als klasse niet wordt meegenomen in de vergelijking met de GMK wordt alleen water tussen plaat en buitengrens gehouden (Figuur 0.3 C en D). Dit betekent dat van de water objecten die niet meteen grenzen aan de buitengrens de klasse wordt weggenomen. Op deze manier blijven alleen de waterobjecten over die tussen plaat en buitengrens liggen. Alle objecten zonder klasse worden weer samengevoegd (Figuur 0.3 E en F). Wanneer er geen droogvalduur grens aanwezig is wordt het overige water op dezelfde manier bepaald als binnen de droogvalduur grens.



**FIGUUR 0.2 SEGMENTATIE VOOR WATER CLASSIFICATIE**



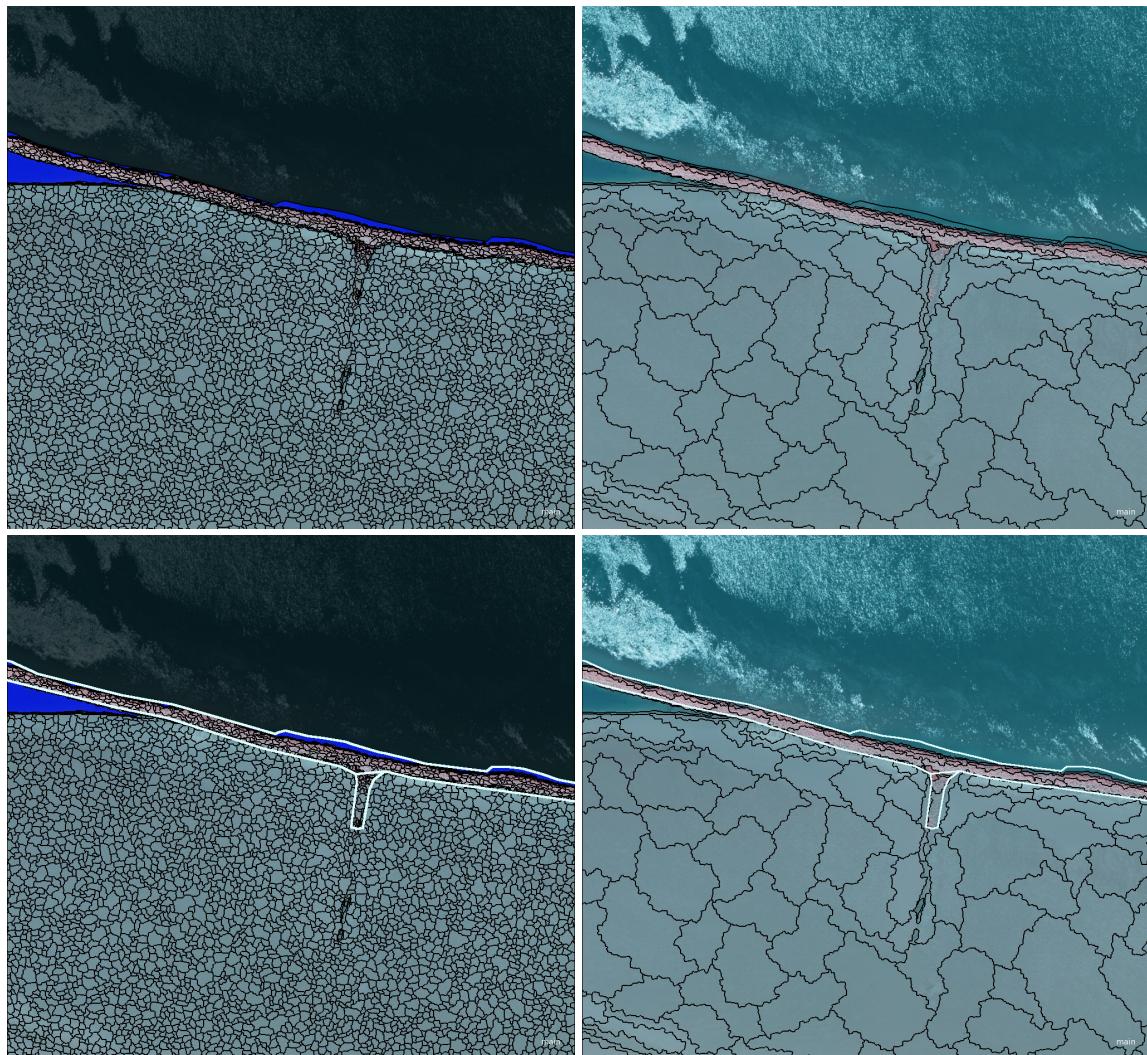
**FIGUUR 0.3 CLASSIFICATIE VAN WATER LANGS DE PLAAT.**



**FIGUUR 0.4 RESULTAAT NA CLASSIFICATIE VAN HET WATER LANGS DE PLAAT.**

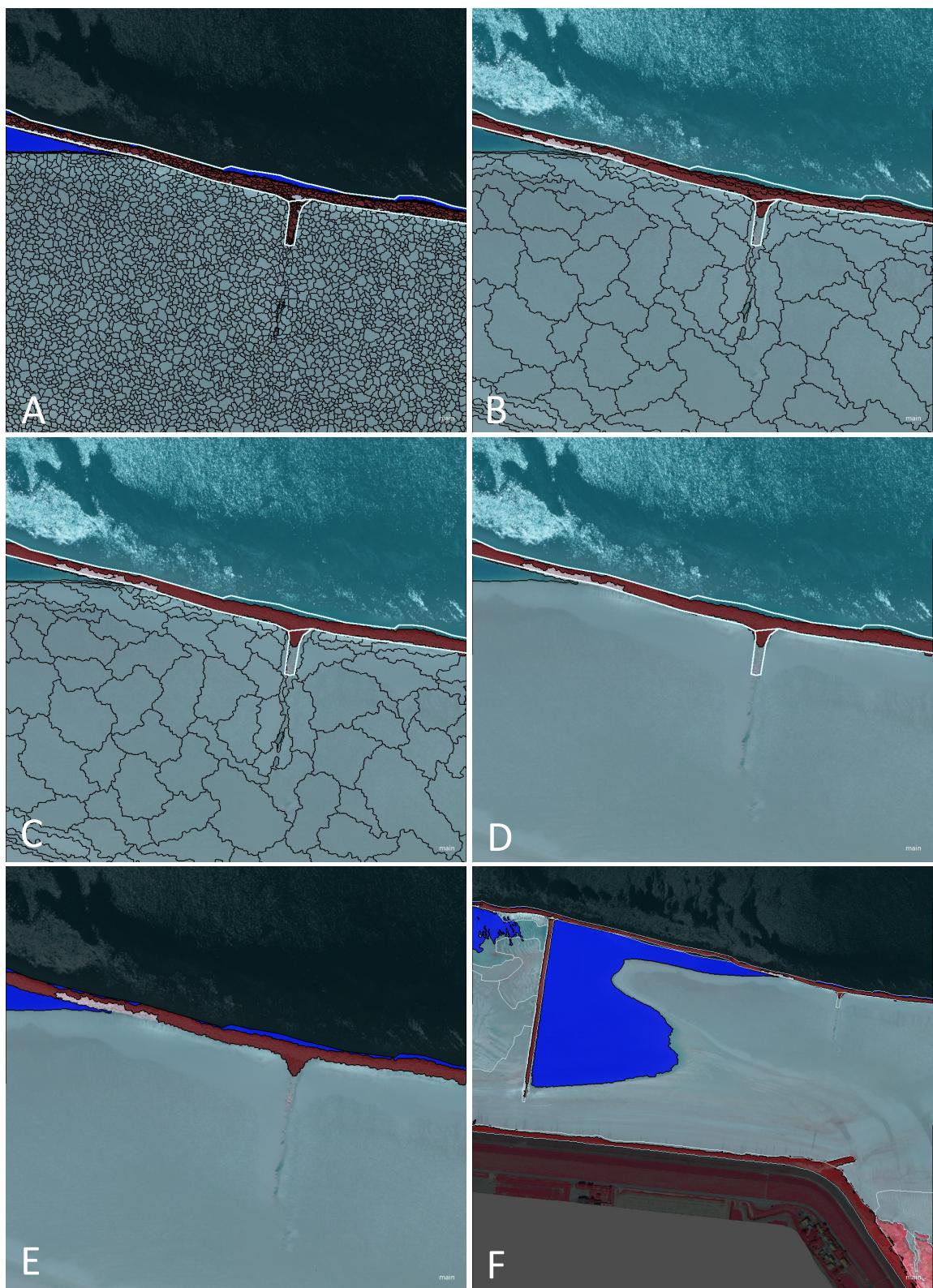
## Antropogeen

Deze klasse wordt geklassificeerd met behulp van een vector laag. Eerst wordt een segmentatie uitgevoerd met een schaal getal van 5 (Figuur 0.5 links boven). Daarna een segmentatie op een super niveau met een hoger schaal getal van 50 (Figuur 0.5 rechts boven).

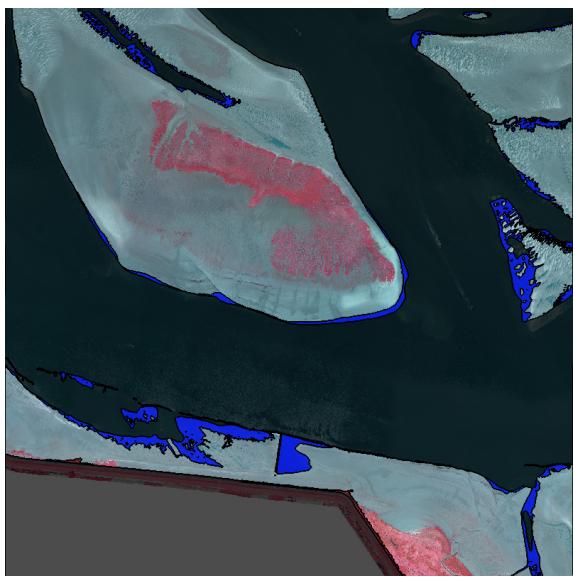


**FIGUUR 0.5 SEGMENTATIE VOOR ANTROPOGEEN CLASSIFICATIE. SEGMENTATIE NIVEAUS SUB (LINKS BOVEN) EN MAIN (RECHTS BOVEN). OP DE ONDERSTE RIJ ZIJN DE NIVEAUS MET DE GMK AFGEBEELD.**

Op het onderste niveau worden objecten geklassificeerd als antropogeen wanneer deze overlappen met de antropogene oppervlakten uit de vector laag (Figuur 0.6 links boven). Omdat oppervlaktes uit de vector laag niet per se overeen te hoeven komen met de luchtfoto, wordt de uiteindelijke antropogene oppervlakten bepaald in het super niveau (Figuur 0.6 rechts boven). Omdat er hier grotere objecten gemaakt zijn kan er gekeken worden naar het percentage subobjecten die een antropogeen klasse hebben. Zo wordt het antropogene oppervlak toch enigszins objectief bepaald ten opzichte van de shapefile. De antropogene objecten blijven hier gesegmenteerd zodat na de classificatie de klasse indien nodig nog aangepast kan worden.



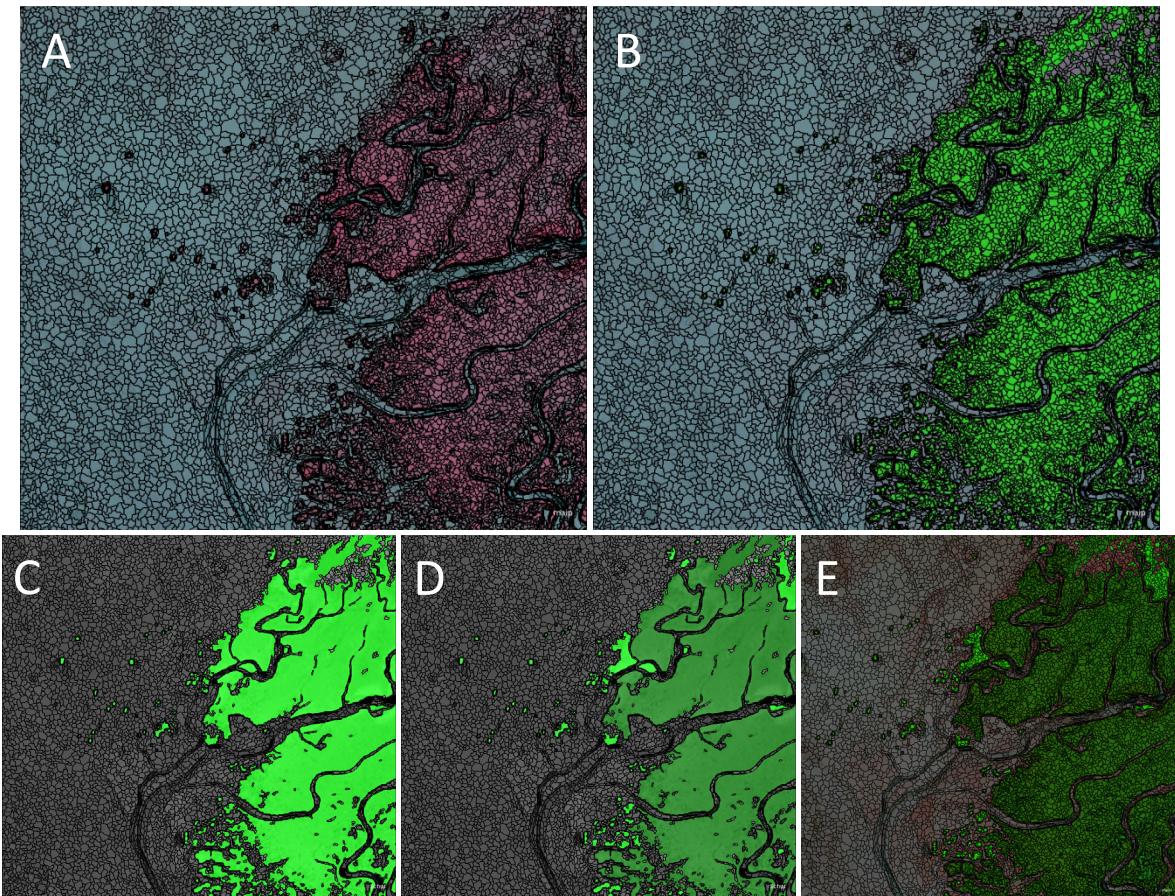
**FIGUUR 0.6 CLASSIFICATIE STAPPEN VOOR ANTROPOGEEN. BOVEN: CLASSIFICATIE SUB OP BASIS VAN OVERLAP MET DE GMK (A) EN CLASSIFICATIE MAIN OP BASIS VAN PERCENTAGE ANTROPOGENE SUB OBJECTEN (B). MIDDEN: MERGEN ANTROPOGEEN (C) MERGEN ON-GECLASSIFICEERD (D). ONDER: RESULTAAT VAN DE CLASSIFICATIE**



**FIGUUR 0.7 RESULTAAT NA DE ANTROPOGEEN CLASSIFICATIE STAP**

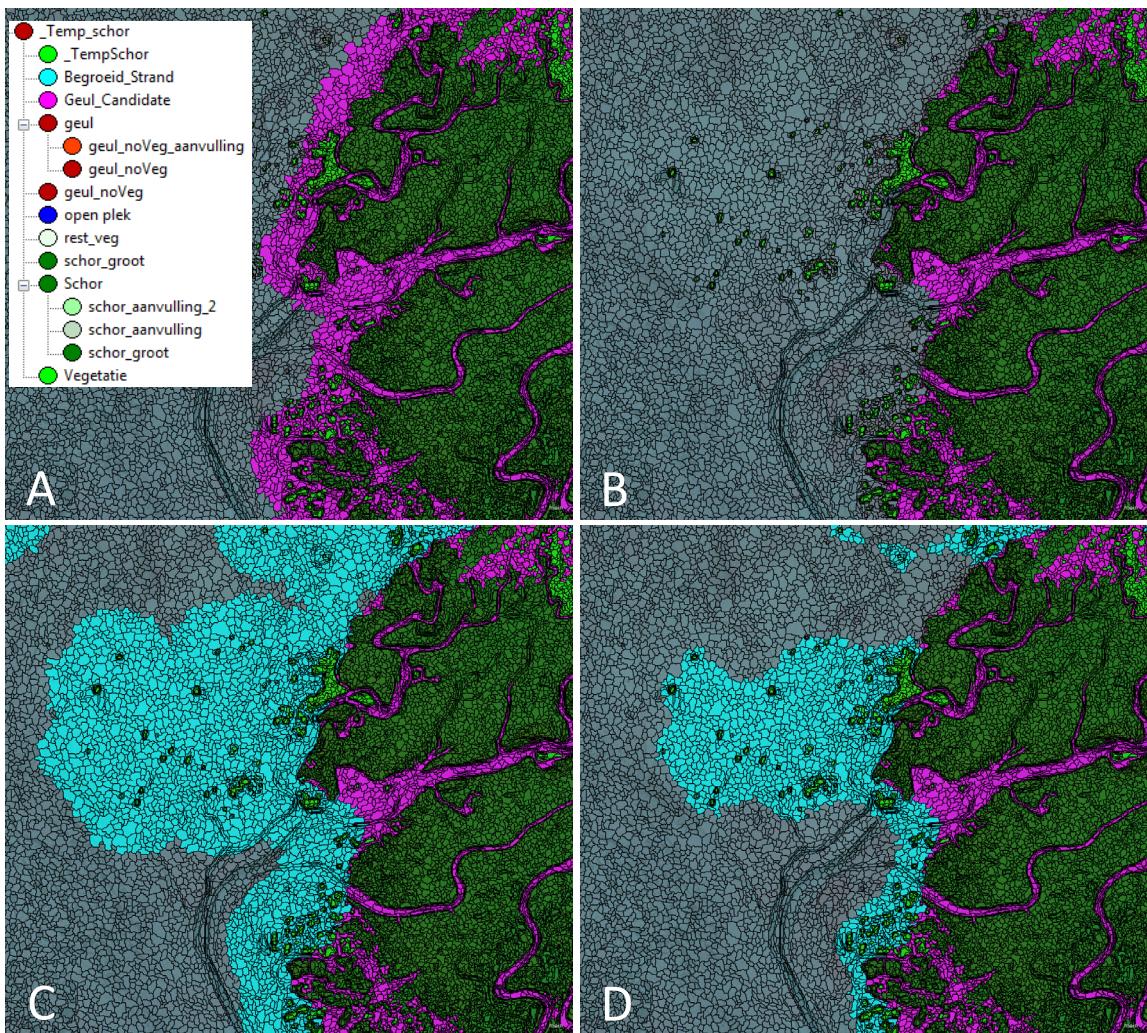
## Schor

Voor het schor wordt dezelfde basis segmentatie gebruikt als in de Antropogeen stap. De objecten worden geclassificeerd als vegetatie wanneer de gemiddelde ndvi van het object hoger dan de grenswaarde is.



**FIGUUR 0.8 SEGMENTATIE VOOR SCHOR CLASSIFICATIE (A). CLASSIFICATIE VAN VEGETATIE OBJECTEN (B). HET MERGEN VAN VEGETATIE OBJECTEN OP EEN SUPER OBJECT NIVEAU (C). SCHEIDEN VAN OBJECTEN OP BASIS VAN GROTER (DONKER) EN KLEINER (LICHT) DAN  $400 \text{ m}^2$  (D). SEGMENTEN VAN HET LAGER OBJECT NIVEAU TERUGHALEN NAAR HET SUPER OBJECT NIVEAU.**

Om onderscheid te maken tussen begroeid schor en pionier wordt er gekeken naar het totale oppervlakte aan aaneengesloten vegetatie objecten. De objecten worden op een super niveau samengevoegd (Figuur 0.8 C) en opgedeeld in objecten groter en kleiner dan  $400 \text{ m}^2$  (Figuur 0.8 D). De objecten groter dan  $400 \text{ m}^2$  worden geclassificeerd als schor. Om de schor objecten heen wordt een groei- en krimpoperatie uitgevoerd met de ongeclassificeerde objecten. Hiervoor worden de segmentatie van het subniveau weer overgenomen (Figuur 0.8 E) zodat de afstand tot het schor berekend kan worden.



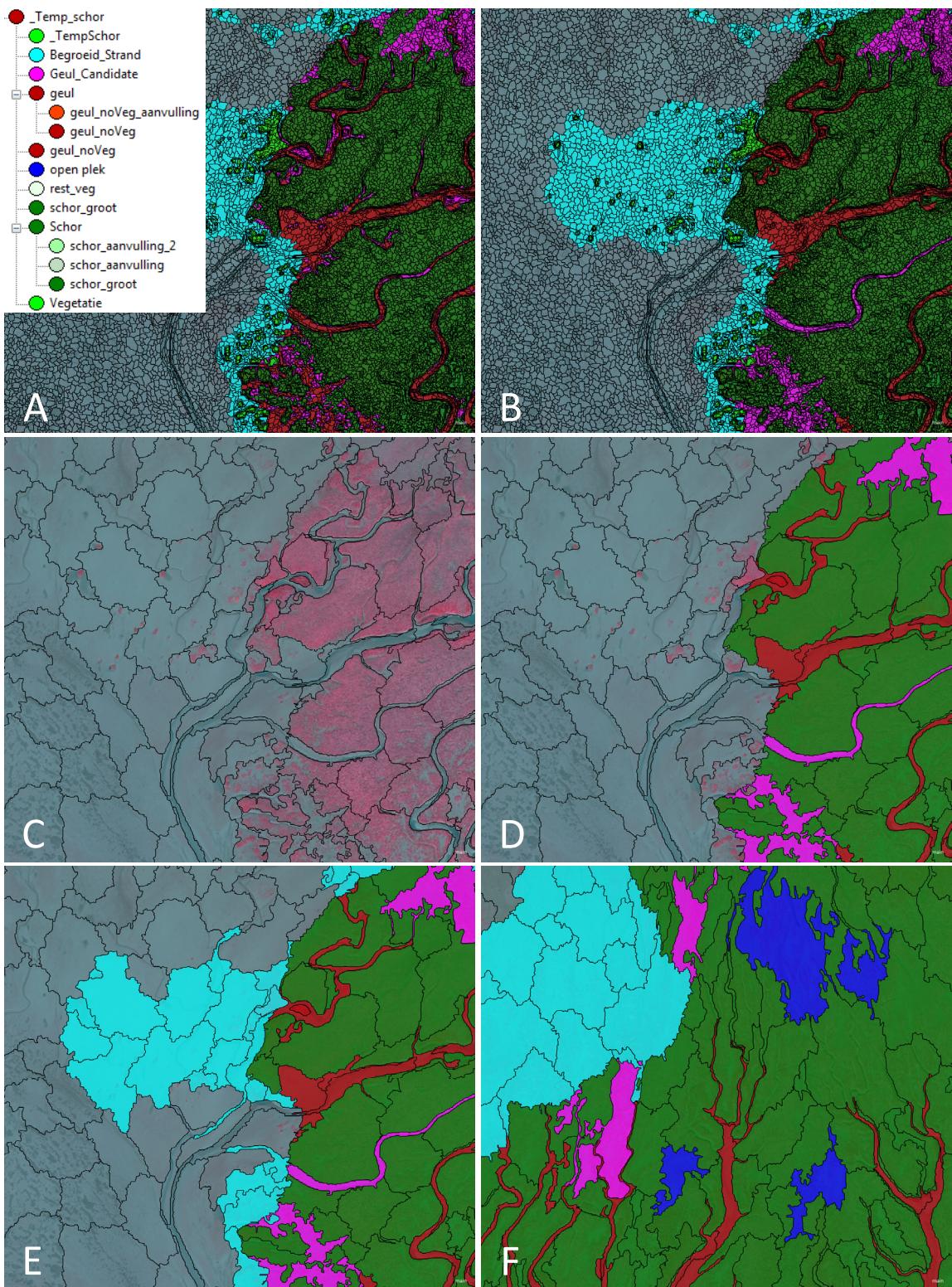
**FIGUUR 0.9 GROEI KRIMP OPERATIES OP HET SCHOR (BOVEN), EN OP RESTERENDE VEGETATIE (ONDER).**

De groei- krimpoperatie wordt op het schor uitgevoerd om de kreken en oppervlaktes binnen het schor met geen of minder vegetatie in kaart te brengen (Figuur 0.9 A en B). Op de overgebleven vegetatie objecten wordt ook een groei krimp operatie gedaan om het pionier schor te bepalen (Figuur 0.9 C en D).

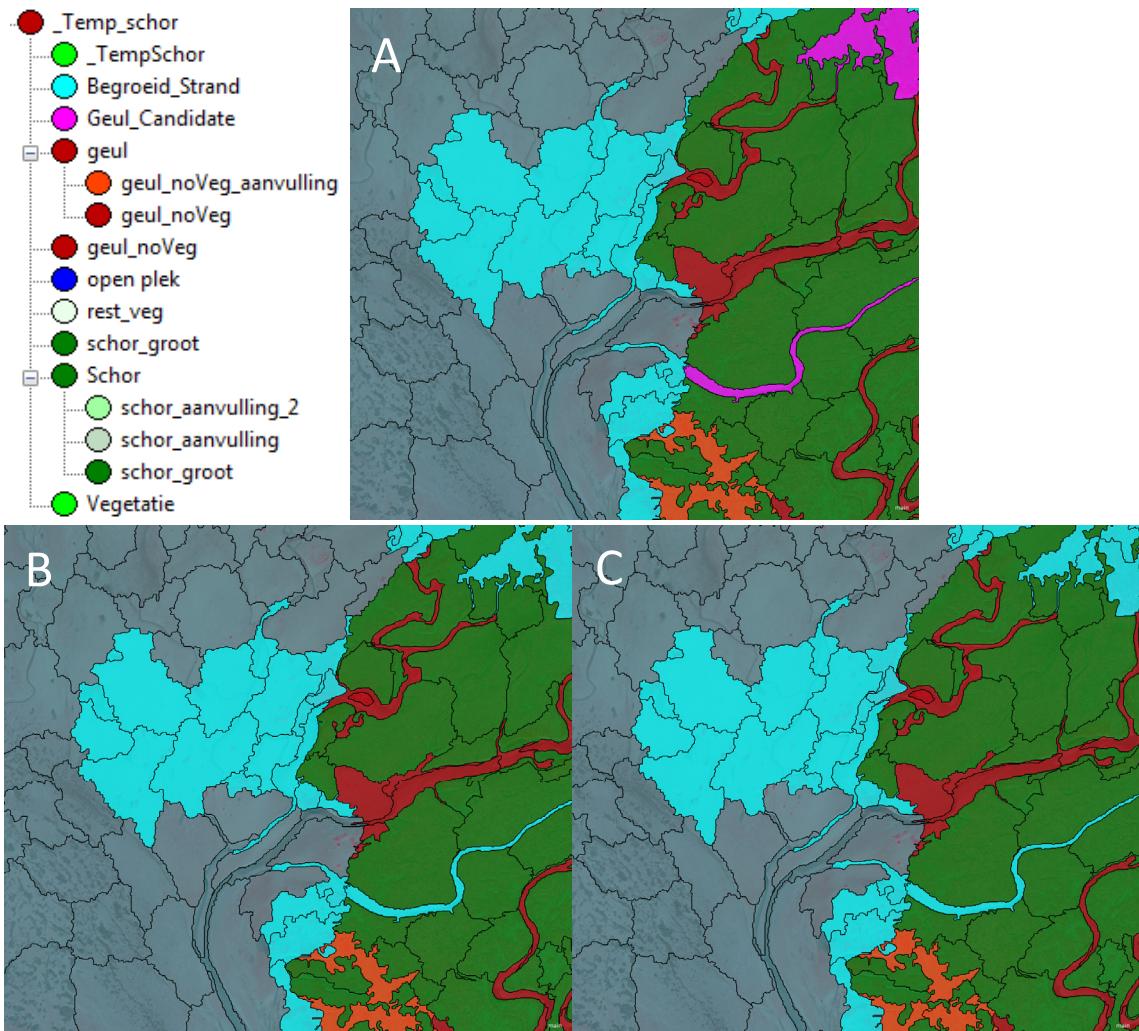
Vanuit de geul kandidaat objecten worden de objecten met een ndvi waarde lager dan 0 als objecten zonder vegetatie gerekend (Figuur 0.10 A, geul\_noVeg). Aan deze klasse worden naastgelegen geul kandidaat objecten toegevoegd in een opschoon stap, overgebleven geul objecten kleiner dan  $400 \text{ m}^2$  worden terug geplaatst naar geul kandidaten (Figuur 0.10 B).

Op basis van de subobjecten wordt een nieuw super niveau gesegmenteerd waar de eind classificatie van het schor op gemaakt zal worden (Figuur 0.10 C). Hierop worden de klassen tot nu toe overgenomen behalve de pionier vegetatie (Figuur 0.10 D). Een object wordt als pionier geklassificeerd wanneer het meer dan 60% aan pionier subobjecten heeft (Figuur 0.10 E).

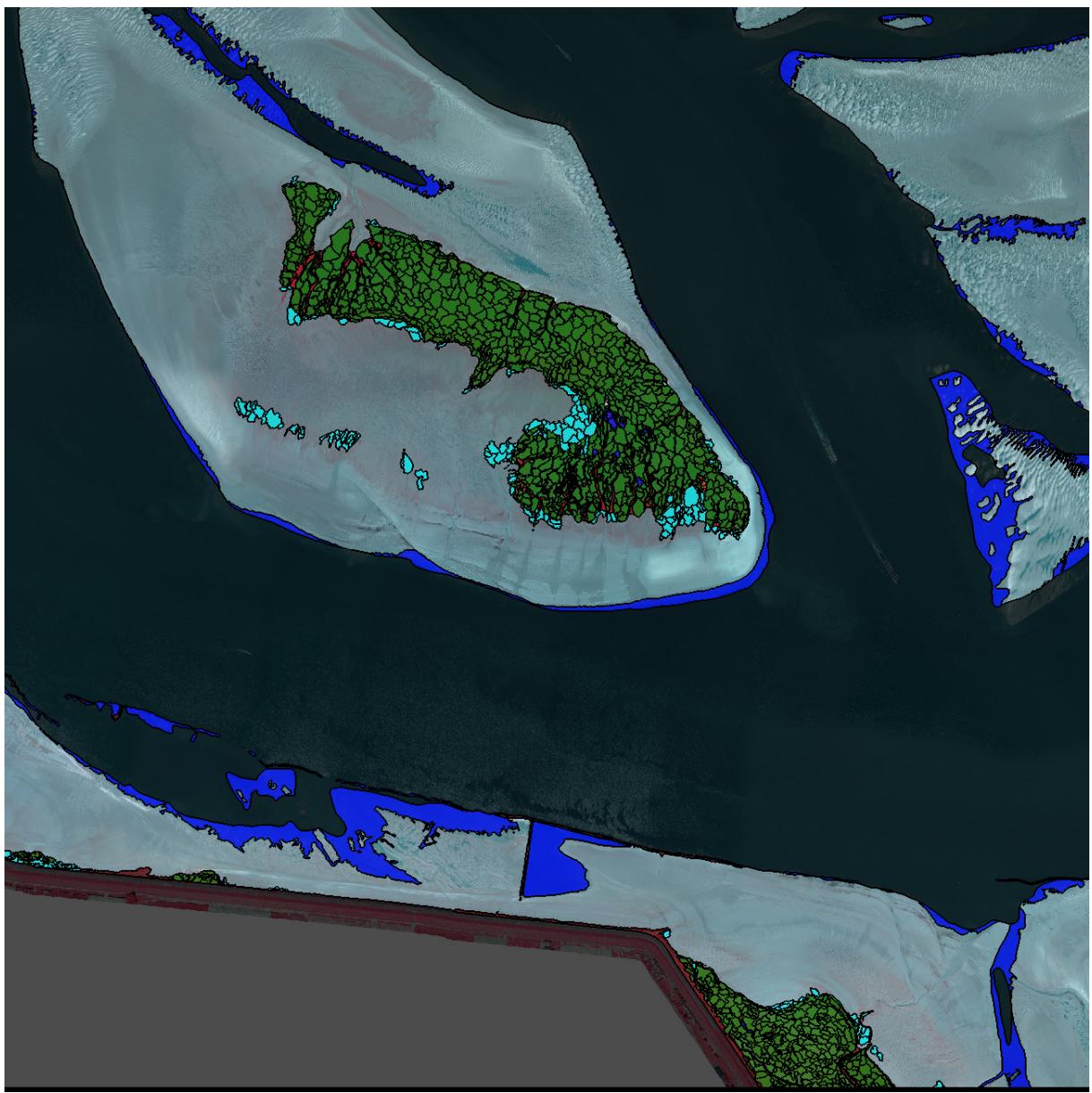
Binnen de schor objecten wordt nog gekeken naar de objecten welke niet als schor geklassificeerd zijn. Deze worden bij het schor of open plek gerekend afhankelijk van grootte en ligging in het schor (Figuur 0.10 F).



**FIGUUR 0.10 CLASSIFICATIE VAN GEUL EN REST VEGETATIE.** A: GEUL KANDIDATEN MET NDVI LAGER DAN 0 WORDT GECLASSIFICEERD ALS GEUL ZONDER VEGETATIE. B: OPSCHONEN VAN OBJECTEN TOT GEULEN GROTER DAN 400M<sup>2</sup> OVERBLIJVEN. C: NIEUW SEGMENTATIE NIVEAU VOOR UITEINDELIJKE SCHOR OBJECTEN. D: CLASSIFICATIE VAN SUBNIVEAU WORDT OVER GENOMEN. E: PIONIER WORDT BEPAALD DOOR PERCENTAGE PIONIER OP HET SUBNIVEAU. F: OBJECTEN MET MINDER VEGETATIE WORDEN GECLASSIFICEERD ALS OPEN PLEK.



**FIGUUR 0.11 RESTERENDE OBJECTEN.** A: OP BASIS VAN VORM WORDT GEKEKEN OF ER NOG EXTRA OBJECTEN NAAR GEUL KUNNEN. B: RESTERENDE GEUL KANDIDATEN GRENZEND AAN PIONIER WORDT PIONIER C: SEGMENTATIE VAN RESTERENDE OBJECTEN WORDT WEER TERUGGEbracht NAAR OOSPRONKELijk SUPER NIVEAU.



**FIGUUR 0.12 CLASSIFICATIE RESULTAAT TOT NU TOE.**

## Plaat

### Segmentatie

Voor de classificatie van de plaat oppervlaktes wordt gebruik gemaakt van sub- super relaties doormiddel van segmentaties op verschillende niveaus. Deze niveaus zijn:

- Main Scale 150, Shape 0.6/0.2, Compactness 0.5
- Sub super merge Merge objecten licht en donker.
- Sub super Merge brightness verschil <3, Onderscheid tussen licht en donker.
- Sub Scale 15, Shape 0.2, Compactness 0.5

Op het subniveau wordt naast segmentatie ook pixel segmentatie uitgevoerd om water en donkere pixels te segmenteren en classificeren. De donkere en water pixels worden gebruikt als indicatoren voor water plassen en donkere strepen op plaat hellingen van organisch materiaal door erosie. Waterplassen zijn een duidelijke indicator voor megaribbel velden.

De classificatie van de plaat is opgedeeld in twee delen. Deze opdeling is nodig omdat segmentatie voor de megaribbel oppervlaktes andere parameters nodig heeft dan de segmentatie voor de andere plaat oppervlaktes. Voor megaribbel wordt gebruik gemaakt van de parameters: Scale 150, Shape 0.6, Compactness 0.5. De shape factor is hier hoger omdat we minder gebruik willen maken van spectrale verschillen in een object. Dit zorgt ervoor dat in een megaribbel veld meer megaribbels per segment zullen vinden. Wanneer de shape factor lager wordt zal er meer spectrale informatie meegenomen worden in de segmentatie. Dit betekent dat de segmentatie werkt naar zoveel mogelijk licht of donker in een object, terwijl je bij megaribbels dit juist samen in een object wilt. Wanneer de megaribbels geklassificeerd zijn worden de objecten zonder klasse opnieuw gesegmenteerd met een andere shape factor: Scale 150, Shape 0.2, Compactness 0.5

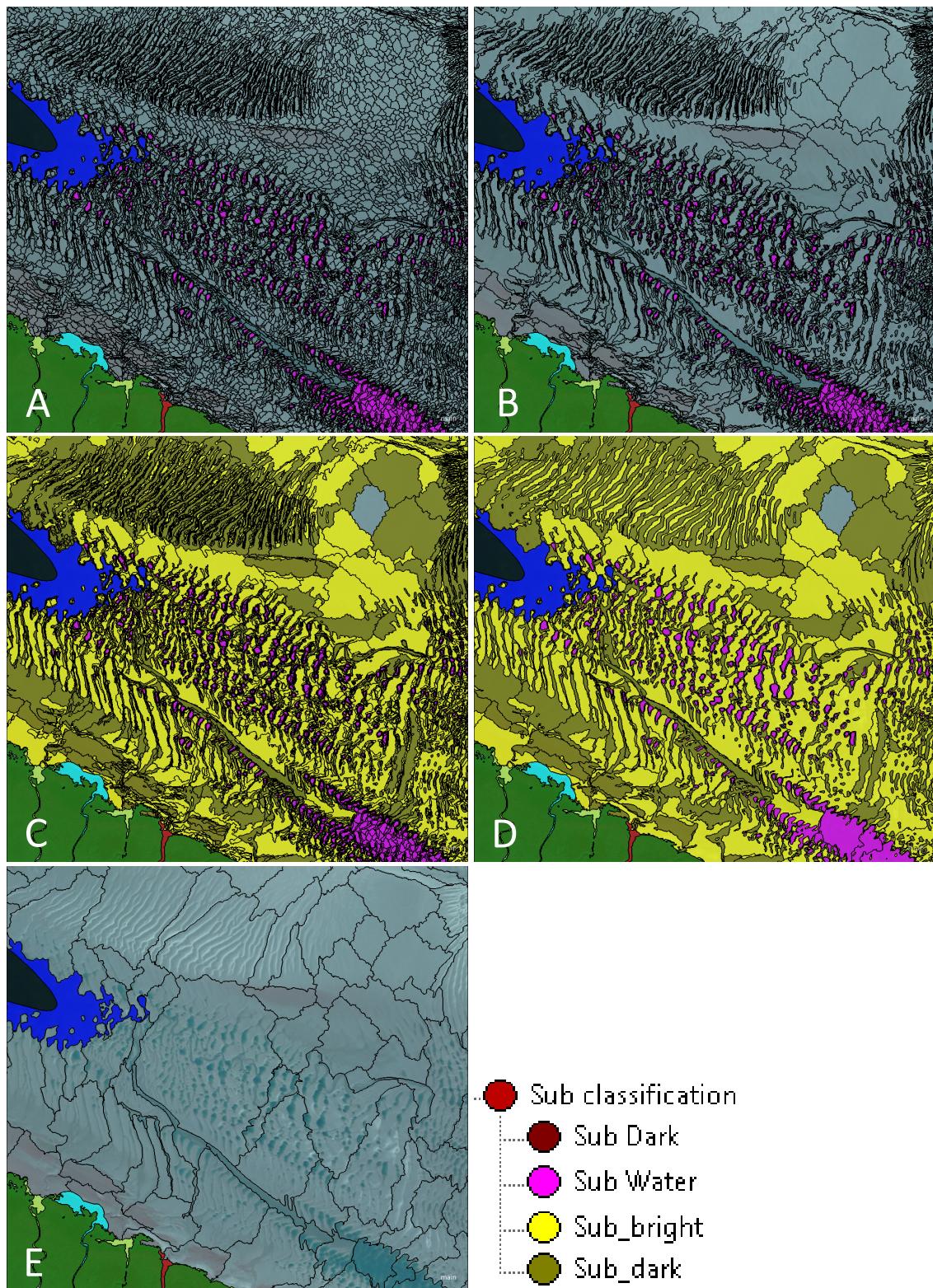
### Megaribbel

Voor het classificeren van de megaribbels wordt gebruik gemaakt van een hoogte model afkomstig van LIDAR-data. Pixels zonder hoogte data worden in eCognition opgevuld met waarden gebaseerd op naast gelegen pixels welke wel hoogte informatie hebben.

Mocht de LIDAR-data niet bruikbaar zijn vanwege veranderingen, of resolutie wordt deze stap overgeslagen. Er wordt dan een tijdelijke klasse gemaakt voor objecten op basis van helling.

De classificatie gebeurt in 3 stappen. De eerste stap op basis van kenmerken. De tweede stap op basis van kenmerken en context. En de derde stap op basis van kleinste verschil naar buur objecten. De eerste twee stappen worden in dit deel uitgevoerd met de derde gezamenlijk in het tweede deel.

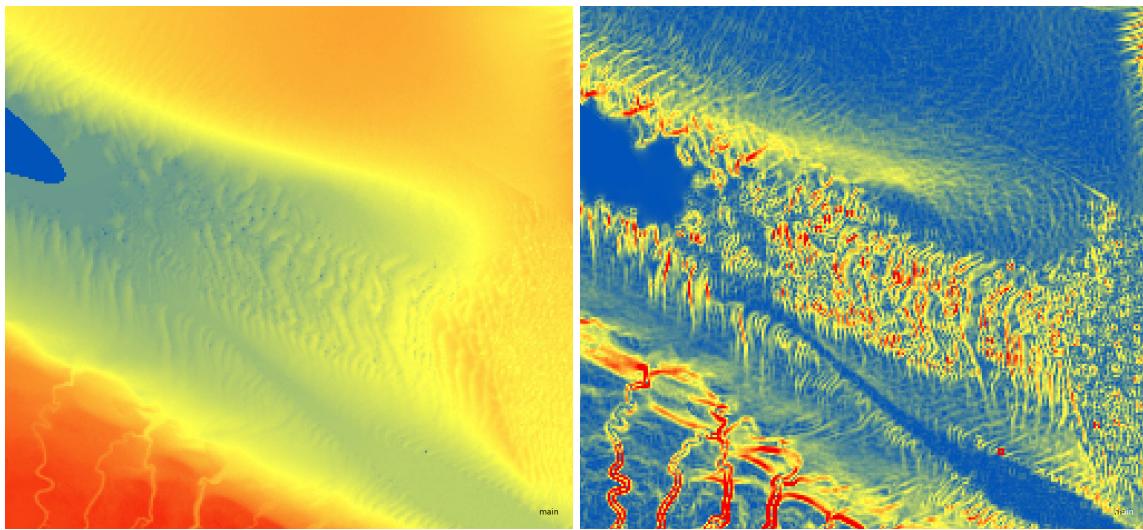
## Segmentatie en initiele tijdelijke classificatie



**FIGUUR 0.13 SEGMENTATIE NIVEAUS VOOR DE PLAAT CLASSIFICATIE.** A: SUB NIVEAU MET PIXEL BASED CLASSIFICATIE VOOR WATER EN DONKERE PIXELS VOOR EROSION KENMERKEN. B: GEMERGDE SUB NIVEAU OP BASIS VAN BRIGHTNESS VERSCHILLEN. C: ONDERSCHEID TUSSEN DONKER EN LICHTE OBJECTEN TEN OPZICHTEN VAN HET SUPER OBJECT. D: MERGEN VAN DONKERE EN LICHTE OBJECTEN. E: HOOFD NIVEAU SEGMENTATIE.

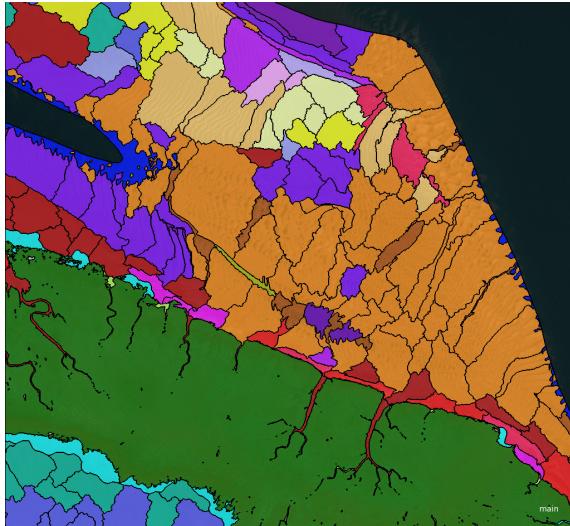
Nieuwe segmentatie voor plaat classificatie. Onderverdeeld in 3 niveaus. **Sub** waar ook water is geklassificeerd (Figuur 0.13 A). **Sub Merge** waar objecten van het sub niveau zijn gemerged op basis van brightness verschillen (Figuur 0.13 B). Op dit niveau wordt ook onderscheid gemaakt tussen lichte en donkere objecten t.o.v. het main niveau (Figuur 0.13 C). Op **Sub Super Merge** worden de

objecten binnen de klassen gemerged (Figuur 0.13 D). En **Main** het hoofdniveau met de objecten welke geclasseerd gaan worden (Figuur 0.13 E).



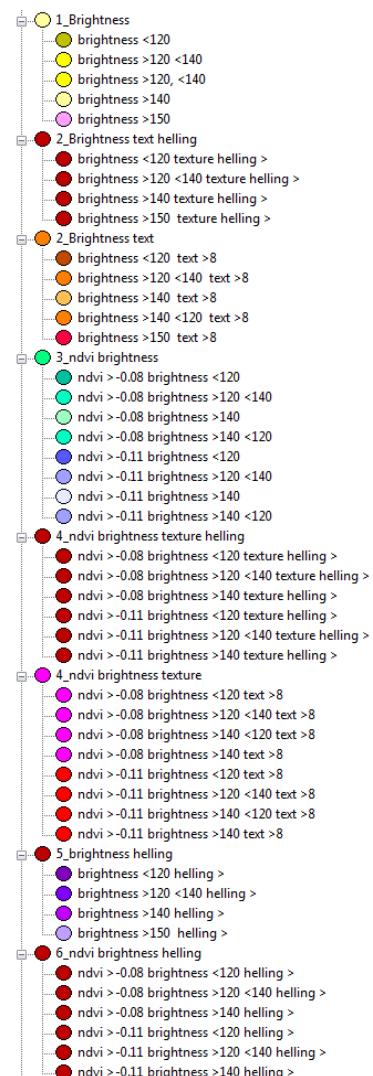
**FIGUUR 0.14 HOOGTE RASTER VAN 2x2 M AFGELEID VAN LIDAR DATA (LINKS). HELLING AFGELEID VAN DE HOOGTE DATA (RECHTS).**

Voor het bepalen van de megaribbels kan ook gebruik gemaakt worden van hoogte informatie uit LIDAR data. Links de hoogte informatie en rechts de afgeleide helling uit de hoogte.

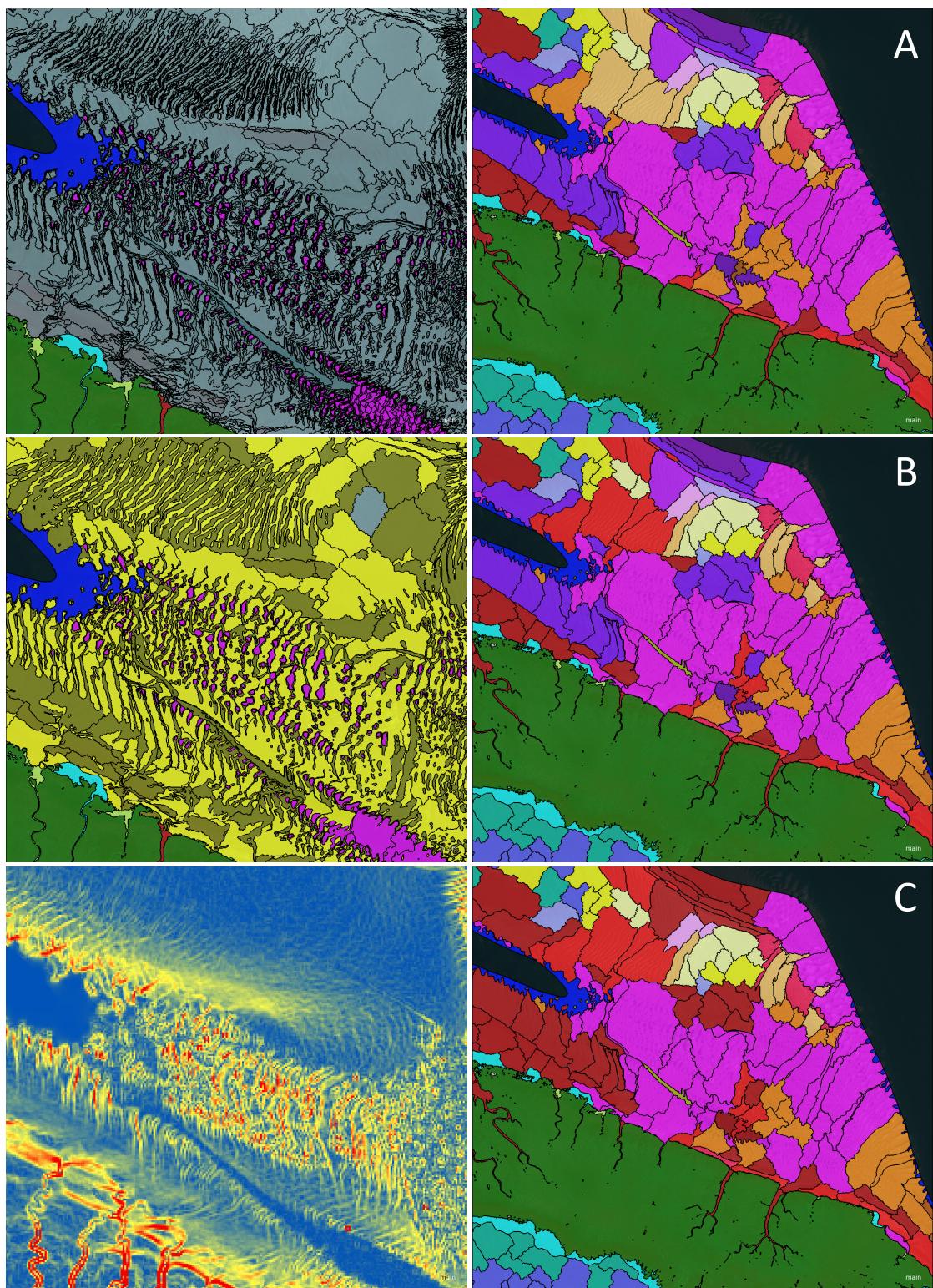


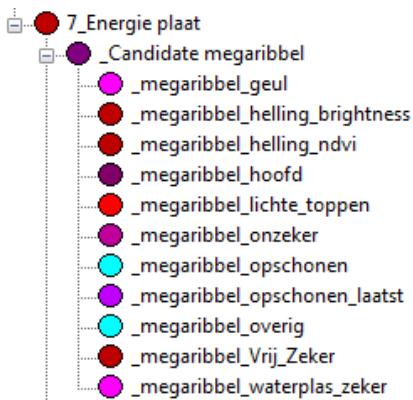
**FIGUUR 0.15 INITIELE CLASSIFICATIE VOOR MEGARIBBEL CLASSIFICATIE.**

De objecten op het **Main** niveau worden geclasseerd in tijdelijke classes op basis van eigenschappen van het object. Brightness, ndvi, textuur en helling zijn eigenschappen waarop deze worden onderverdeeld. Dit kunnen ook combinaties van verschillende eigenschappen zijn.



*Stap 1 Op basis van kenmerken. Spectraal, Structuur, Helling*





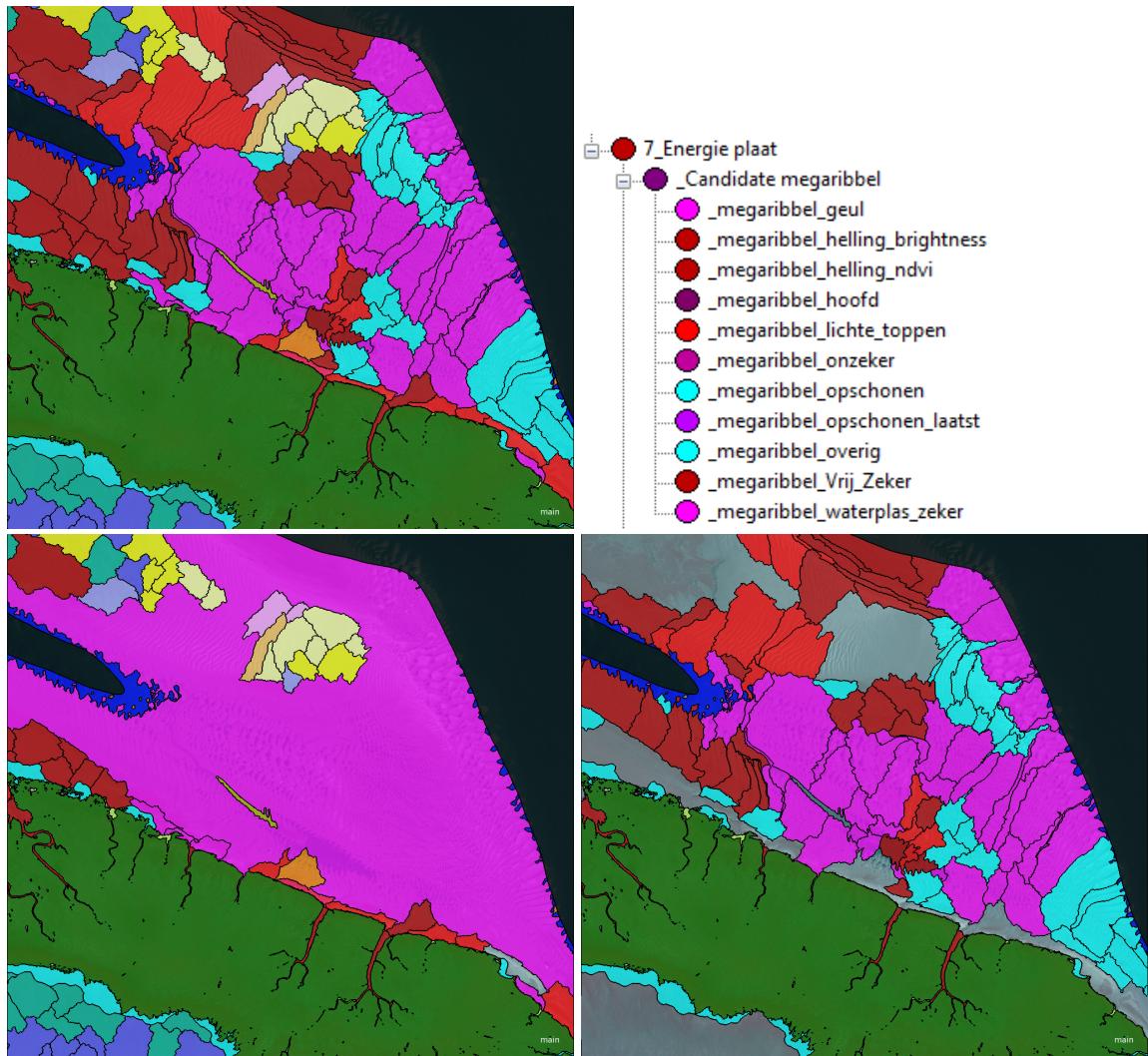
**FIGUUR 0.16 STAP 1 VAN DE CLASSIFICATIE VAN MEGARIBBELS. A: MET AANWEZIGHEID VAN WATERPLASSEN. B: MEGARIBBELS MET LICHTE DUIN TOPPEN. C: OBJECTEN MET HOGE VARIATIE IN HELLING.**

Voor een deel van het megaribbel oppervlak is een belangrijk kenmerk dat er waterplassen aanwezig zijn. De classificatie van waterplassen op het sub-niveau wordt hierbij gebruikt om oppervlaktes met waterplassen te classificeren als megaribbel (Figuur 0.16 A).

Een tweede kenmerk zijn lichte megaribbel toppen. Deze megaribbel toppen geven een duidelijk patroon welke met de sub segmentatie karakteriseert wordt. Met behulp van de samenstelling van lichte en donkere sub objecten worden deze objecten geklassificeerd (Figuur 0.16 B).

Het laatste kenmerk zijn objecten die vanuit de helling kaart een hoge variatie in helling hebben (Figuur 0.16 C). Objecten welke hier ook in aanmerking komen, maar ook een hoge NDVI waarde hebben worden niet meegenomen.

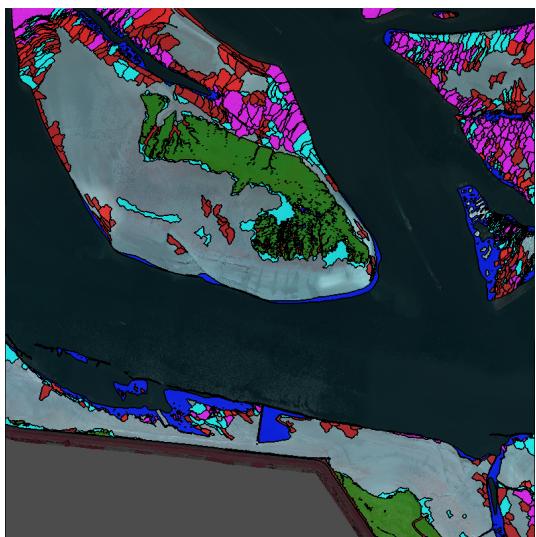
## Stap 2 Aanvullen met behulp van context.



FIGUUR 0.17

Overig. Aanvullen van objecten met hoge textuur naast aan reeds geclasseerd megaribbel.

Samenvoegen van megaribbels op een **Main Super** niveau en verwijderen van megaribbel objecten die onder een oppervlakte grens komen XX m<sup>2</sup>. De geclasseerde objecten welke op **Main Super** onder de oppervlakte grens kwamen raken hun classificatie kwijt. Alle objecten die niet geclasseerd zijn als megaribbel worden weer gemerged om ze in de volgende sectie weer te kunnen segmenteren met andere parameters.

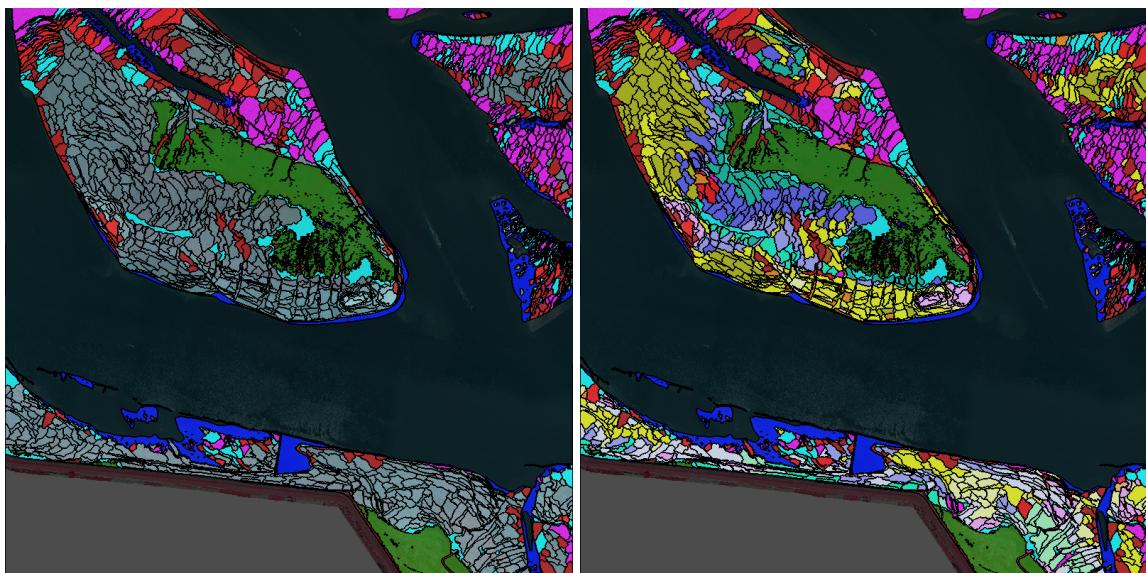


Classificatie van tile tot nu toe.

## Rest van de plaat, Laag energetisch en hoog energetisch vlak

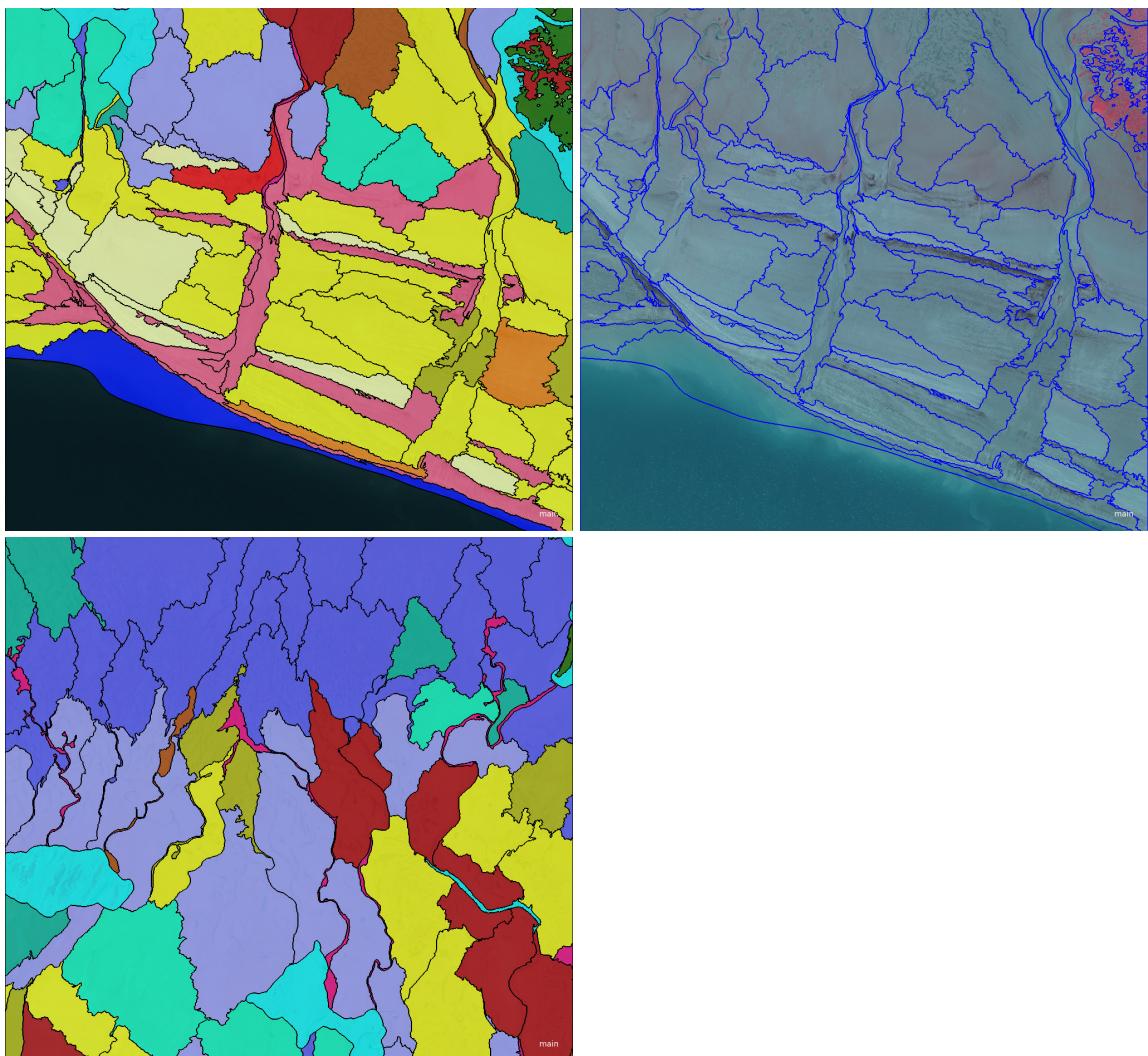
### Segmentatie en initiele tijdelijke classificatie

Voor de classificatie van de rest van de plaat wordt het oppervlak opnieuw gesegmenteerd met een segmentatie die meer gespitst is op de spectrale eigenschappen van objecten. De Sub niveaus worden in dit deel ook opnieuw bepaald zoals die bij de megaribbels beschreven staan. Ook hier worden de nieuwe segmenten weer een initiële klasse gegeven.



**FIGUUR 0.18 NIEUWE HOOFD SEGMENTATIE VOOR HET NOG NIET GECLASSIFICEERDE OPPERVLAK (LINKS). CLASSIFICATIE VAN DE TIJDELIJKE KLASSES (RECHTS).**

Naast alleen de initiële klasse worden er ook objecten geklassificeerd als een Erosie kenmerk, wanneer deze een hoog percentage donkere pixels hebben op het Sub niveau. Daarnaast worden langgerekte objecten een tijdelijke klasse gegeven

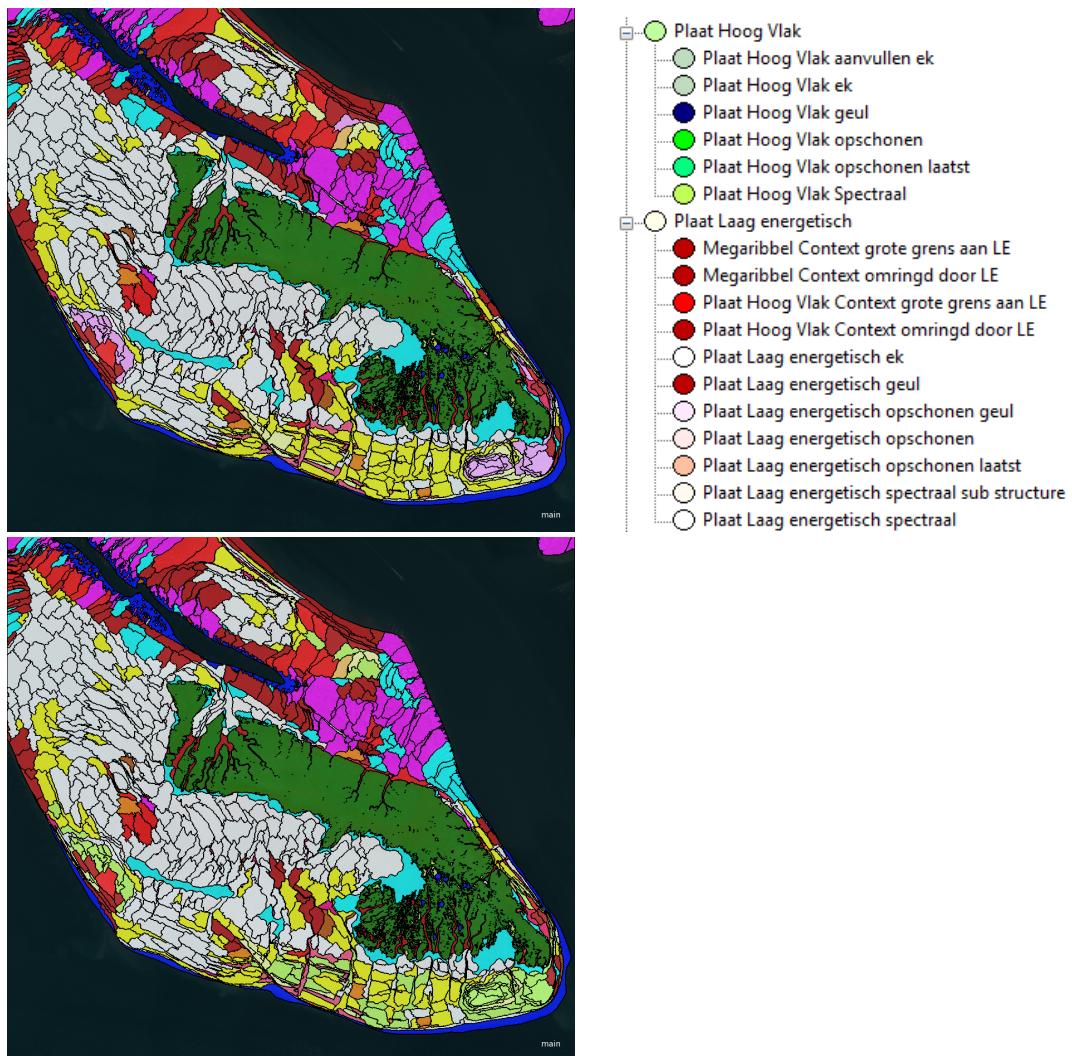


**FIGUUR 0.19 CLASSIFICATIE VAN EROSIE KENMERKEN (BOVEN) EN LANGGEREKTE OBJECTEN (ONDER).**

Nieuwe segmentatie voor rest van de plaat en de initiële classificatie van plaat oppervlaktes.

Indicatie van langgerekte objecten zoals geulen (roze). Indicatie van objecten met hoge aanwezigheid van donkere pixels. Dit wordt geïnterpreteerd als erosiekenmerken.

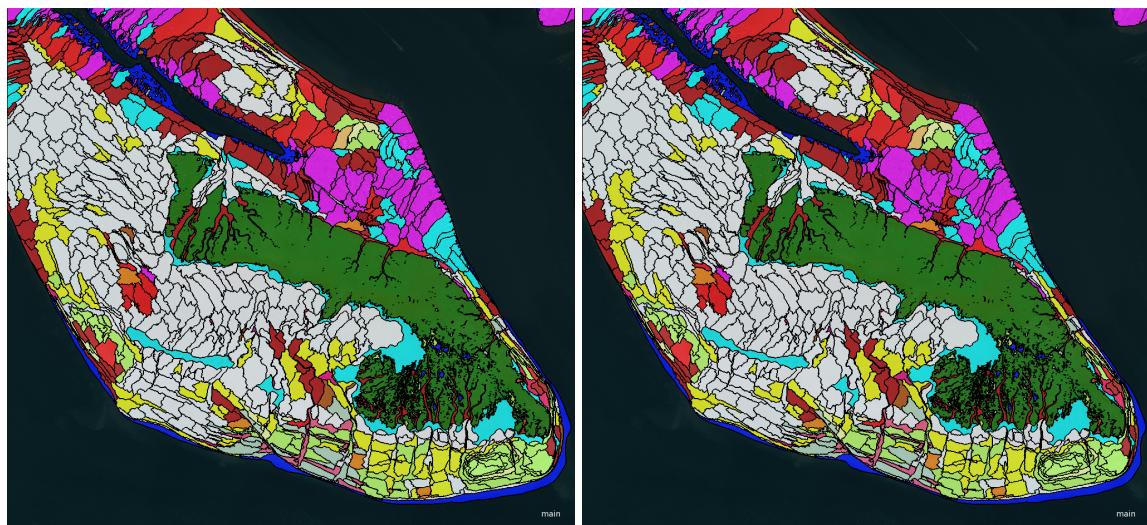
## Stap 1 Classificeren op kenmerken. Spectraal, Sub textuur.



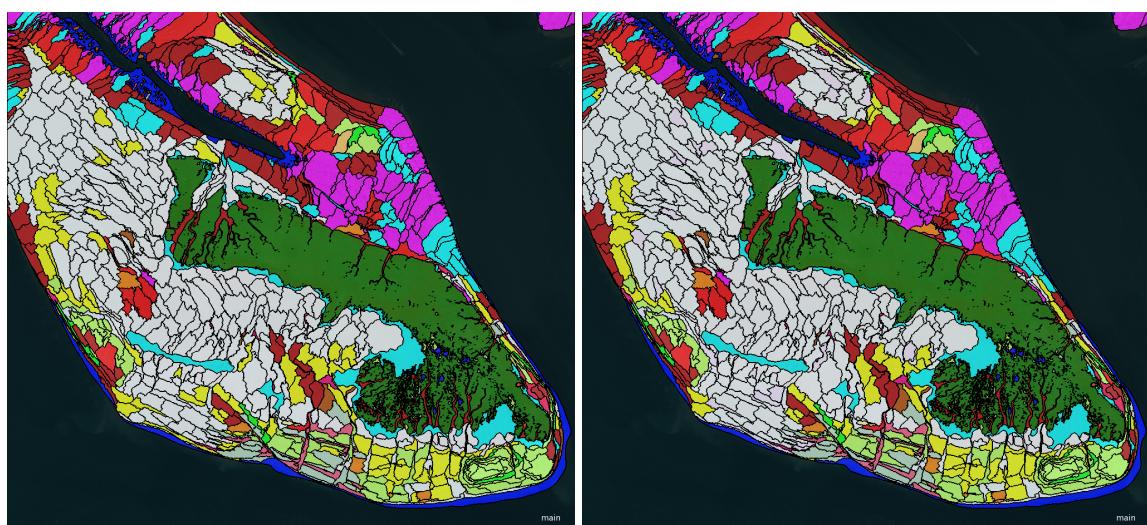
Indicatie laag energetisch op basis van spectrale informatie in wit (boven). Eerste indicatie hoog energetisch op basis van spectrale informatie in groen (onder).

## *Stap 2 Aanvullen met behulp van context.*

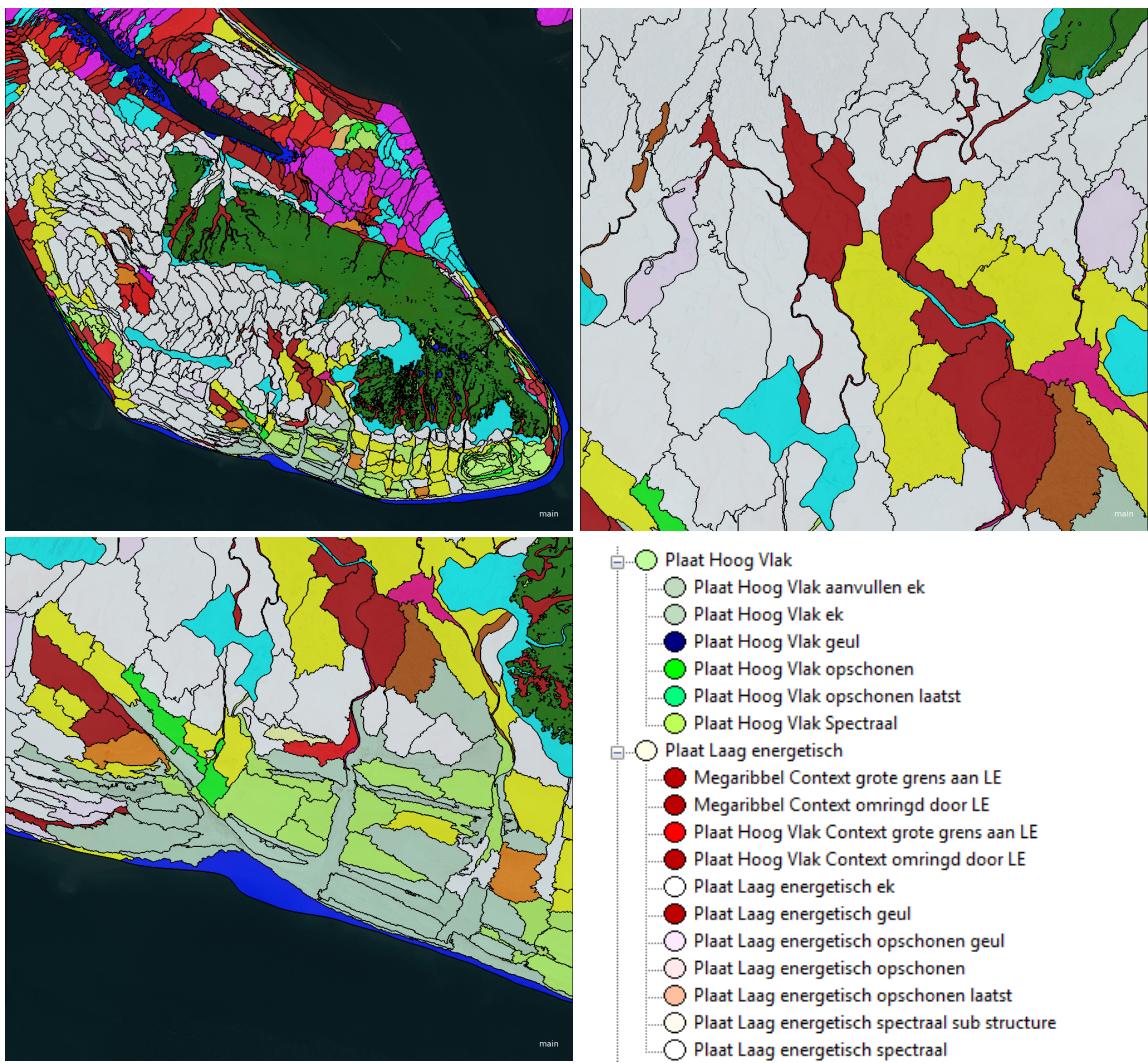
Classificeren van de objecten die naast de al geclassificeerde objecten liggen met minder strenge thresholds dan bij de eerste stap.



Hoog energetisch langs erosie kenmerken (links). Opschonen deel laag energetisch met context (rechts).



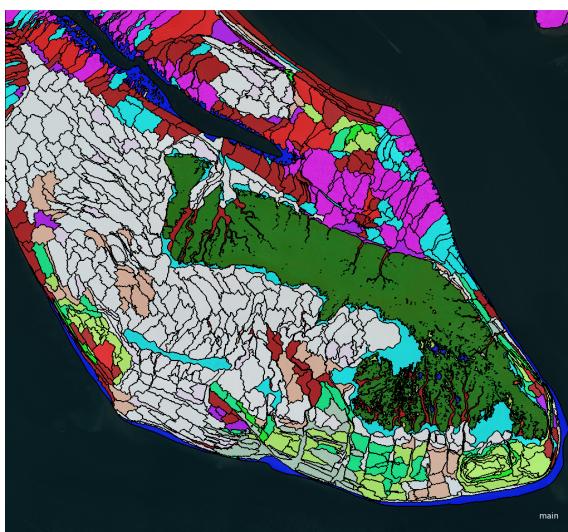
Opschonen hoog energetisch (links). Laag energetisch langs geul (rechts)



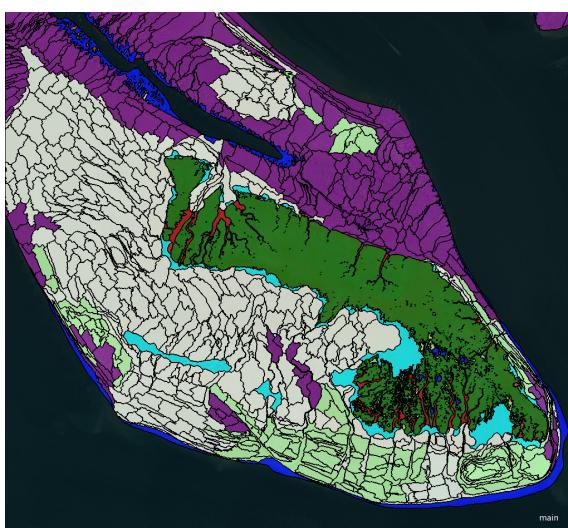
Tijdelijke geul en erosie klassen naar laag of hoog energetisch.

### Stap 3 Opschonen resterende objecten

Opschonen van de classificatie door de resterende objecten



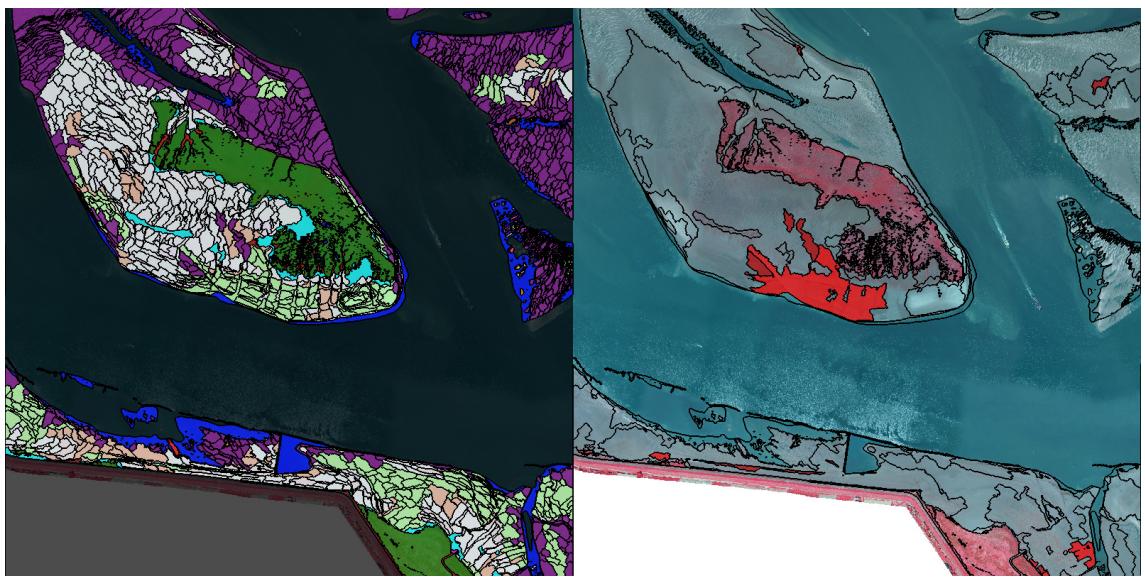
Opschonen rest van oppervlakte. Objecten die nog geen eindklasse hebben worden nu bij een naastgelegen klasse ingedeeld met welke zij het kleinste spectrale verschil hebben.



Hoofdklassen aan het eind van de classificatie



Aangeven van hoge grens of omringd door laag energetisch.



Eind resultaat Classificatie

## Aanpassen van classificatieparameters

Door het veranderlijk natuur van luchtfoto's zullen de parameters aangepast moeten worden tussen beelden, en misschien zelfs tussen verschillende delen van beelden. De belangrijkste waardes die aangepast moeten worden tussen beelden zijn ndvi en brightness thresholds.

### **Water**

De ndvi waarde voor water zal aangepast moeten worden om correcte water objecten te classificeren

### **Schor**

Wat met name in het schor aangepast moet worden zijn:

- Ndvi threshold voor vegetatie
- Ndvi threshold voor geen vegetatie in geulen
- Ndvi threshold voor cleanup

### **Plaat**

- Ndvi thresholds voor indicatie rode zweem.
- Brightness thresholds voor
  - o Donker (<120)
  - o Gemiddeld (120-140)
  - o Licht (140-150)
  - o Erg licht (150>)

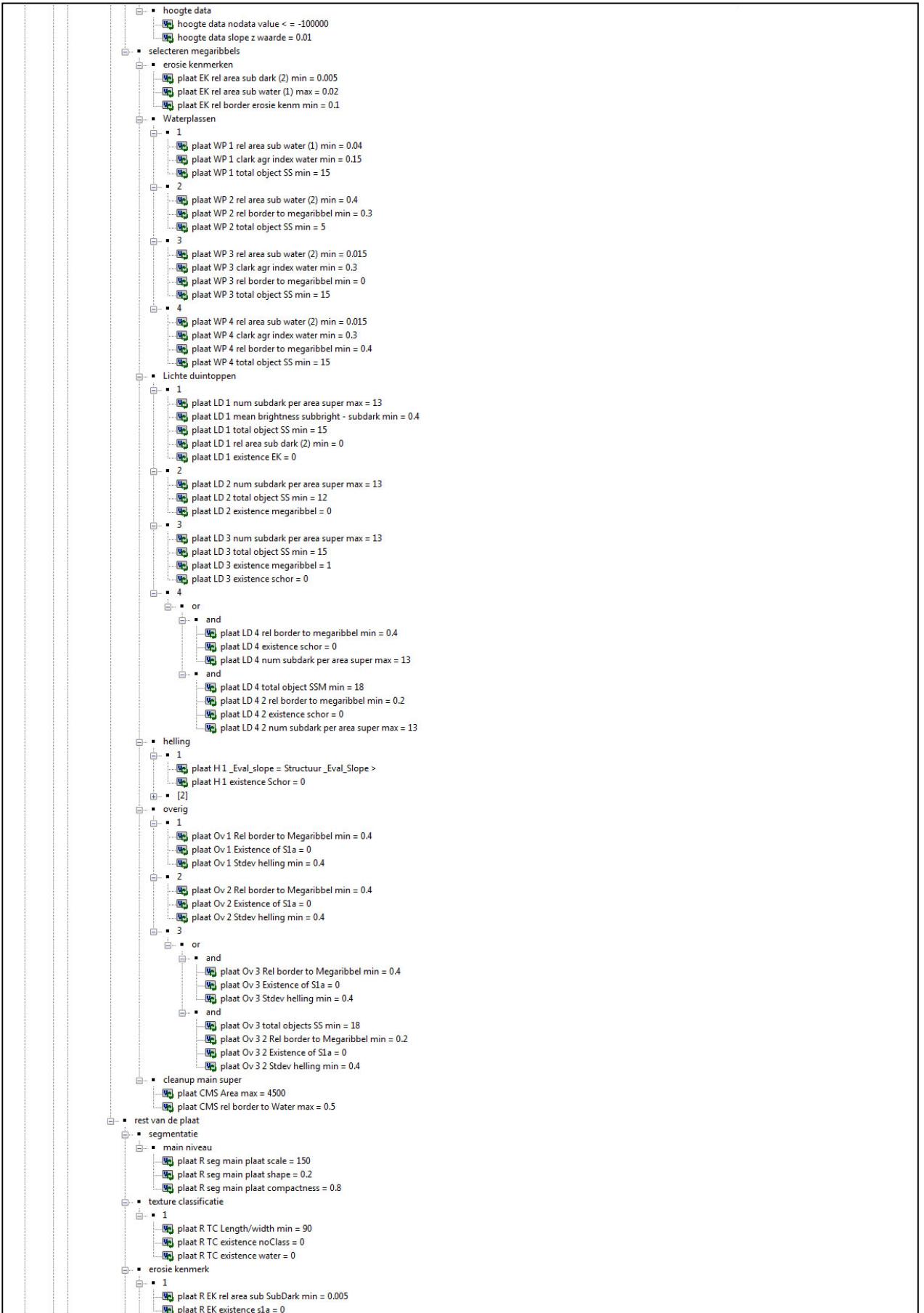
Andere parameters werken vooral met relatieve waardes waardoor verschillen in foto minder invloed hebben, en waarschijnlijk niet aangepast hoeven worden. Het kan voorkomen dat structuur waardes aangepast moeten worden omdat waardes in de foto dichter op elkaar zitten dan met de luchtfoto van 2016 waarop de methode ontwikkeld is.



# Appendix 2

## Annotated Rule Set





## Appendix 2 - 3



```

[...] unclassified with Mean_ndvi < Water_ndvi T or (Mean brightness < Water brightness and Mean_ndvi < Water_ndvi T donker) at _Temp_Water: init_Water
[...] delete '_Temp_Water_Super'
[...] at _Temp_Water: copy creating '_Temp_Water_Super' above
[...] init_Water_ndvi at _Temp_Water_Super: merge region
[...] unclassified at _Temp_Water_Super: merge region
[...] init_Water_ndvi with Rel. border to unclassified = 1 at _Temp_Water_Super: unclassified
[...] unclassified with ((Mean brightness > 170 and Area < 10000 m2) or Area < Karteer eenheid grootte) and Rel. border to _Temp_water = 1 at _Temp_Wate
[...] _Temp_water at _Temp_Water_Super: merge region
[...] unclassified at _Temp_Water_Super: merge region
[...] unclassified with ((Mean brightness > 170 and Area < 10000 m2) or Area < Karteer eenheid grootte) and Rel. border to _Temp_water = 1 at _Temp_Wate
[...] _Temp_water at _Temp_Water_Super: merge region
[...] _Temp_water at _Temp_Water_Super: convert to sub-objects
[...] _Temp_water at _Temp_Water_Super:100 [shape:O2 compct:0.8]
[...] unclassified at ClassificationBoundaries: convert to sub-objects
[...] unclassified with Existence of sub objects _Temp_water (1) = 1 at ClassificationBoundaries: water_
[...] delete '_Temp_Water'
[...] delete '_Temp_Water_Super'

[...] [first selection from lidar (Oostenrijk deel Eems Dollard)]
[...] [GMK]
[...] Segmentation
[...] unclassified at ClassificationBoundaries: water segmentation scale [shape:water segmentation shape compct::water segmentation compactness] cre
[...] unclassified with Existence of super objects _No_Class (1) = 1 at _Temp_Water: _No_Class
[...] Spectral Threshold
[...] delete '_Temp_Water_Super'
[...] at _Temp_Water: copy creating '_Temp_Water_Super' above
[...] unclassified with Mean hoogte_loding < -220 at _Temp_Water_Super: init_Water
[...] unclassified at _Temp_Water_Super: merge region
[...] unclassified with Area < Karteer eenheid grootte at _Temp_Water_Super: enclosed by _No_Class, init_Water + _Temp_Water_Super: merge region
[...] init_Water at _Temp_Water_Super: merge region
[...] division edge and land
[...] init_Water with Existence of _No_Class (0) = 1 at _Temp_Water_Super: Water edge
[...] init_Water at _Temp_Water_Super: unclassified
[...] unclassified at _Temp_Water_Super: merge region
[...] at ClassificationBoundaries: convert to sub-objects
[...] unclassified with Existence of sub objects Water edge (1) = 1 at ClassificationBoundaries: water_
[...] delete '_Temp_Water'
[...] delete '_Temp_Water_Super'

[...] at ClassificationBoundaries: copy creating 'Classification' below

[...] antropogeen
[...] at Classification: copy creating '_temp_antropogeen' below
[...] unclassified at _temp_antropogeen: antropogeen 1st seg scale [shape:antropogeen 1st seg shape compct::antropogeen 1st seg compactness]
[...] _temp_antropogeen: antropogeen 2nd seg scale [shape:antropogeen 2nd seg shape compct::antropogeen 2nd seg compactness] creating 'Main'
[...] [GMK]
[...] unclassified with "GEOCODE2": GMK = antropogeen_array[0] or "GEOCODE2": GMK = antropogeen_array[1] or "GEOCODE2": GMK = antropogeen_array[2]
[...] unclassified with Rel. area of sub objects Hard Substraat (1) > antropogeen rel sub area HS at Main: Hard Substraat
[...] Hard Substraat at Main: merge region
[...] unclassified with Rel. border to Hard Substraat > antropogeen rel border to HS at Main: Hard Substraat
[...] Hard Substraat at Main: merge region
[...] unclassified at Main: merge region
[...] unclassified at Classification: convert to sub-objects
[...] unclassified with Existence of sub objects Hard Substraat (1) = 1 at Classification: Hard Substraat
[...] Antropogeen Vector
[...] unclassified with Num. of overlap: Antropogeen > 0 at _temp_antropogeen: Hard Substraat
[...] unclassified with Rel. area of sub objects Hard Substraat (1) > antropogeen rel sub area HS at Main: Hard Substraat
[...] at Main: copy creating 'Main_Super' above
[...] Hard Substraat at Main_Super: merge region
[...] unclassified with Rel. border to Hard Substraat > antropogeen rel border to HS at Main_Super: Hard Substraat
[...] Hard Substraat at Main_Super: merge region
[...] unclassified at Main_Super: merge region
[...] Hard Substraat at Main_Super: convert to sub-objects
[...] Hard Substraat, unclassified at Classification: convert to sub-objects
[...] unclassified with Existence of sub objects Hard Substraat (1) = 1 at Classification: Hard Substraat
[...] clean temp subsegmentation
[...] delete 'Main'
[...] delete 'Main_Super'
[...] at _temp_antropogeen: remove classification
[...] unclassified with Existence of super objects Hard Substraat (1) = 1 at _temp_antropogeen: Hard Substraat
[...] Hard Substraat at _temp_antropogeen: merge region
[...] rename image object level '_temp_antropogeen' to '_Temp_Veg'

[...] opschonen hoogte data
[...] on temp_hoogte_filter : delete map
[...] copy map to 'temp_hoogte_filter' with scale 2 m/pixel
[...] reset
[...] delete image layer 'hoogte_test'
[...] delete 'Temp'
[...] delete 'Main'
[...] delete 'Sub_Super_merge'
[...] delete 'Sub_Super'
[...] delete 'Classification'
[...] delete 'Classification_Schor'
[...] delete 'ClassificationBoundaries'
[...] remove classification
[...] update array 'Classes': clear
[...] update array 'Classes': add: [brightness <120 text >8, brightness <120 helling >, brightness <120, brightness >120 <140 text >8, brightness >120 <14
[...] array 'Classes'* item 'current class'
[...] current class at _Temp_Veg: unclassified
[...] [on temp_hoogte_filter GMK]
[...] on temp_hoogte_filter LIDAR
[...] layer arithmetics (val "hoogte *100 ", layer hoogte_test[32Bit float ])
[...] Sub classification, Sub Extra Dark, sub geul/plas, Sub Water, Sub Water Edge, unclassified at _Temp_Veg: NO_DATA <= hoogte data nodata value < < un
[...] NO_DATA at _Temp_Veg: merge region
[...] NO_DATA with Area > 1000000 m2 at _Temp_Veg: unclassified
[...] NO_DATA at _Temp_Veg: fill pixels in hoogte_test using pixels classified as unclassified
[...] surface calculation (Slope (Zevenbergen, Thorne (ERDAS)), Percent): 'hoogte_test' => 'slope_eCog'
[...] surface calculation (Aspect (Horn's Method), Percent): 'hoogte_test' => 'aspect'
[...] layer arithmetics (val 0, layer slope_eCog range [200,200] to layer slope_eCog_ad[32Bit float ])
[...] transfer image layer 'hoogte_test' to map 'main'

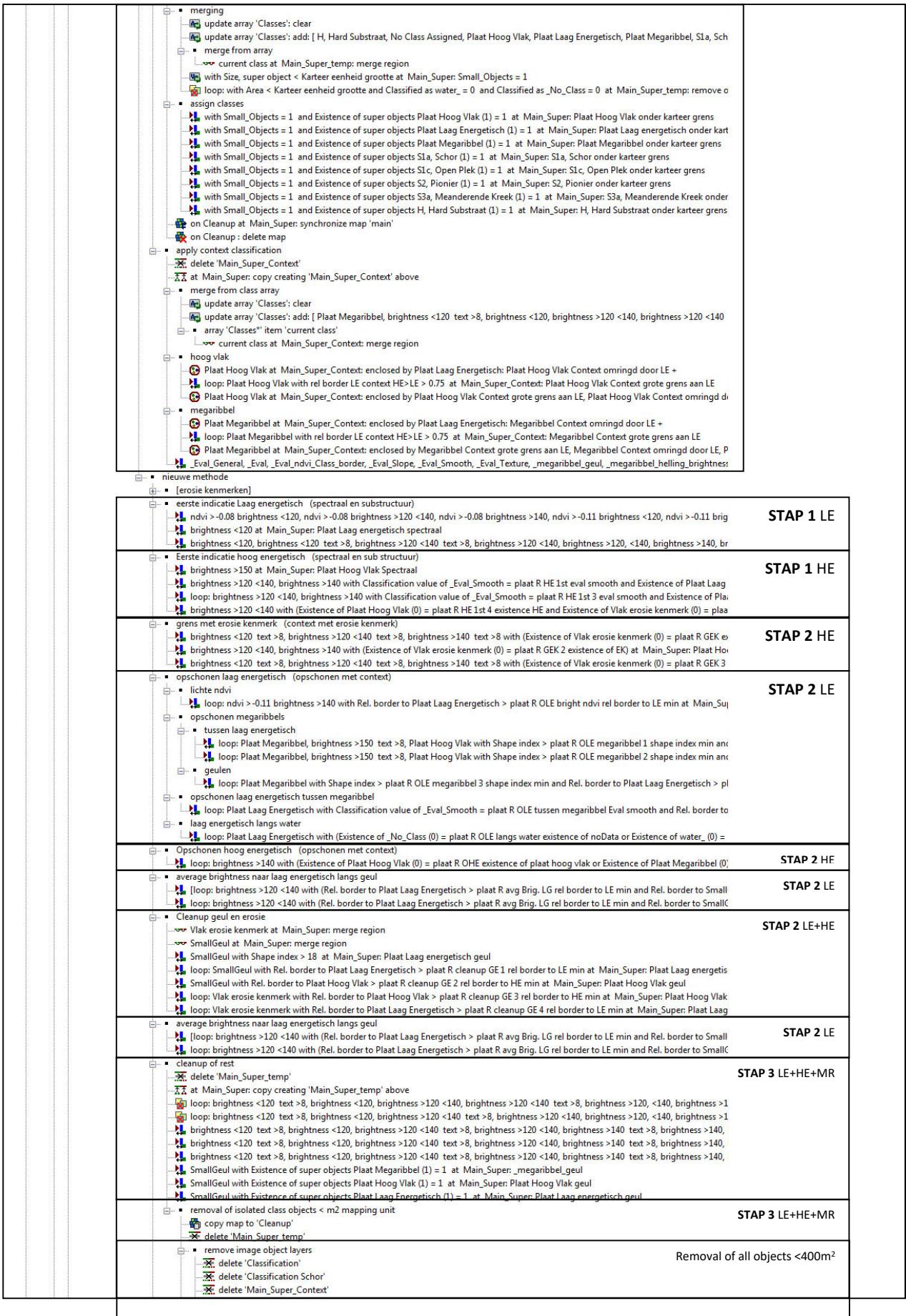

```

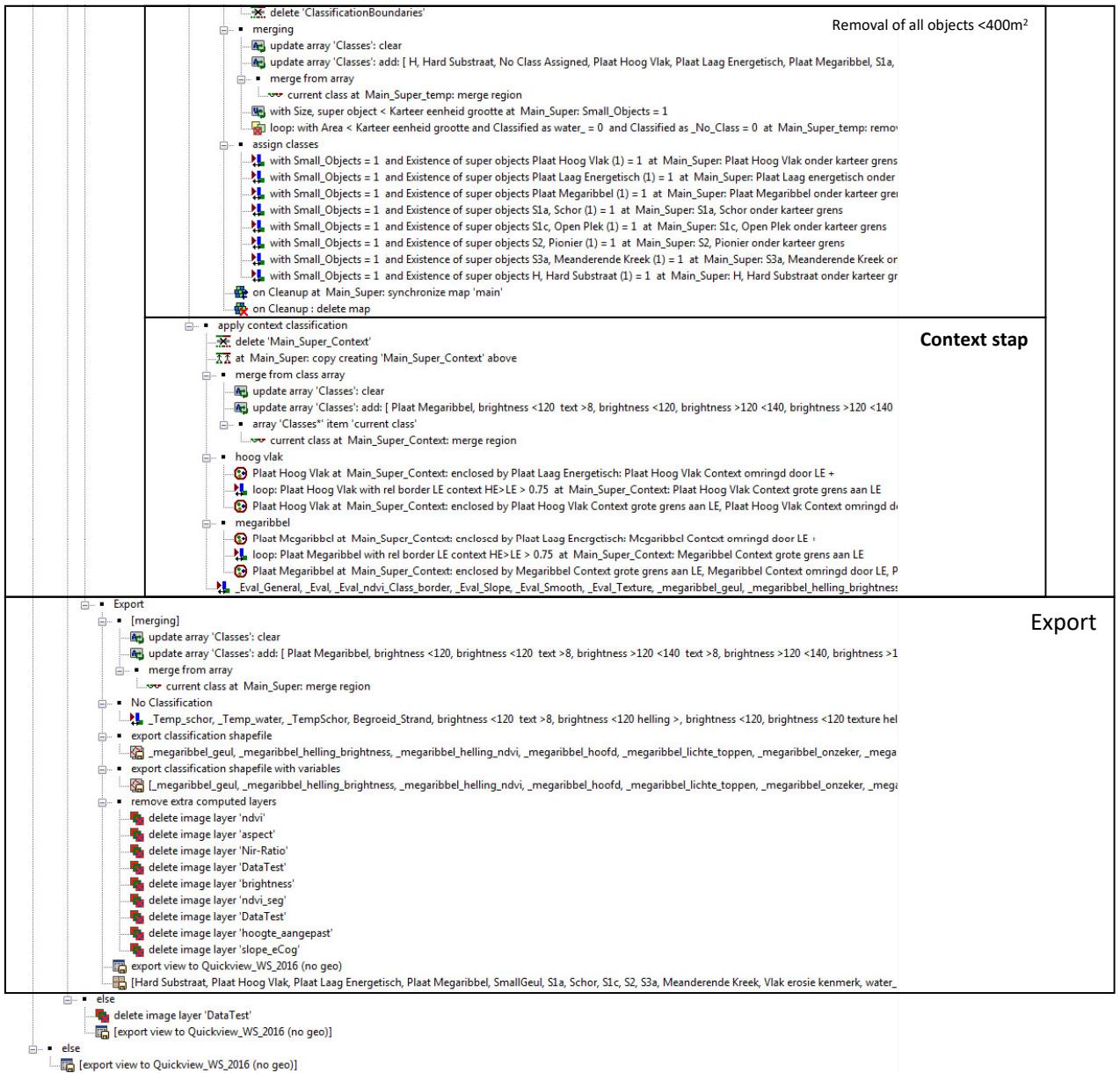














# Appendix 3

Overzicht classificaties met details en nauwkeurigheidstabellen

## Classification Details

Details about classifications per komgebied etc..

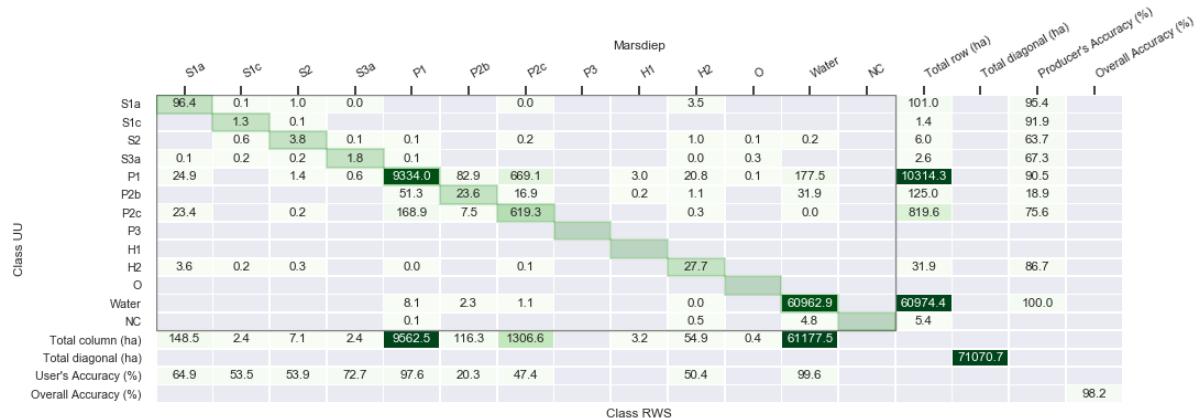
## Marsdiep

Rule-set used:

Used parameter values:

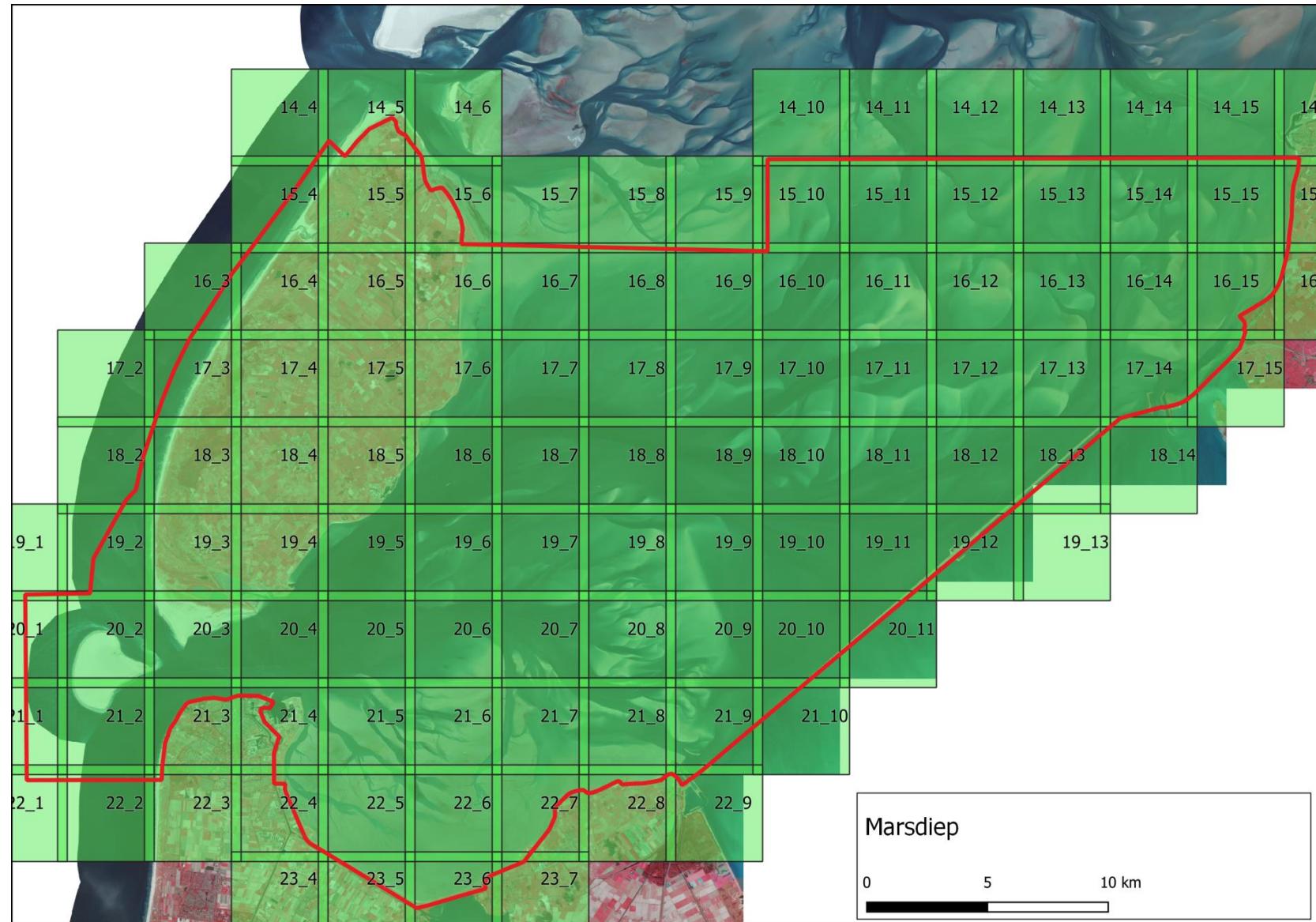
	Groen
Water	
Normaal	-0.17
Donker (ndvi)	-0.1
Donker(brightn)	85
Schor (NDVI)	
Vegetatie	0.07
Geel geen veg	0.11
Open plek	0.13
Cleanup	0
Plaat Brightness	
Laag	140
Midden	155
Hoog	200
Plaat NDVI	
Laag	-0.04
Hoog	0.01

Controle RWS:

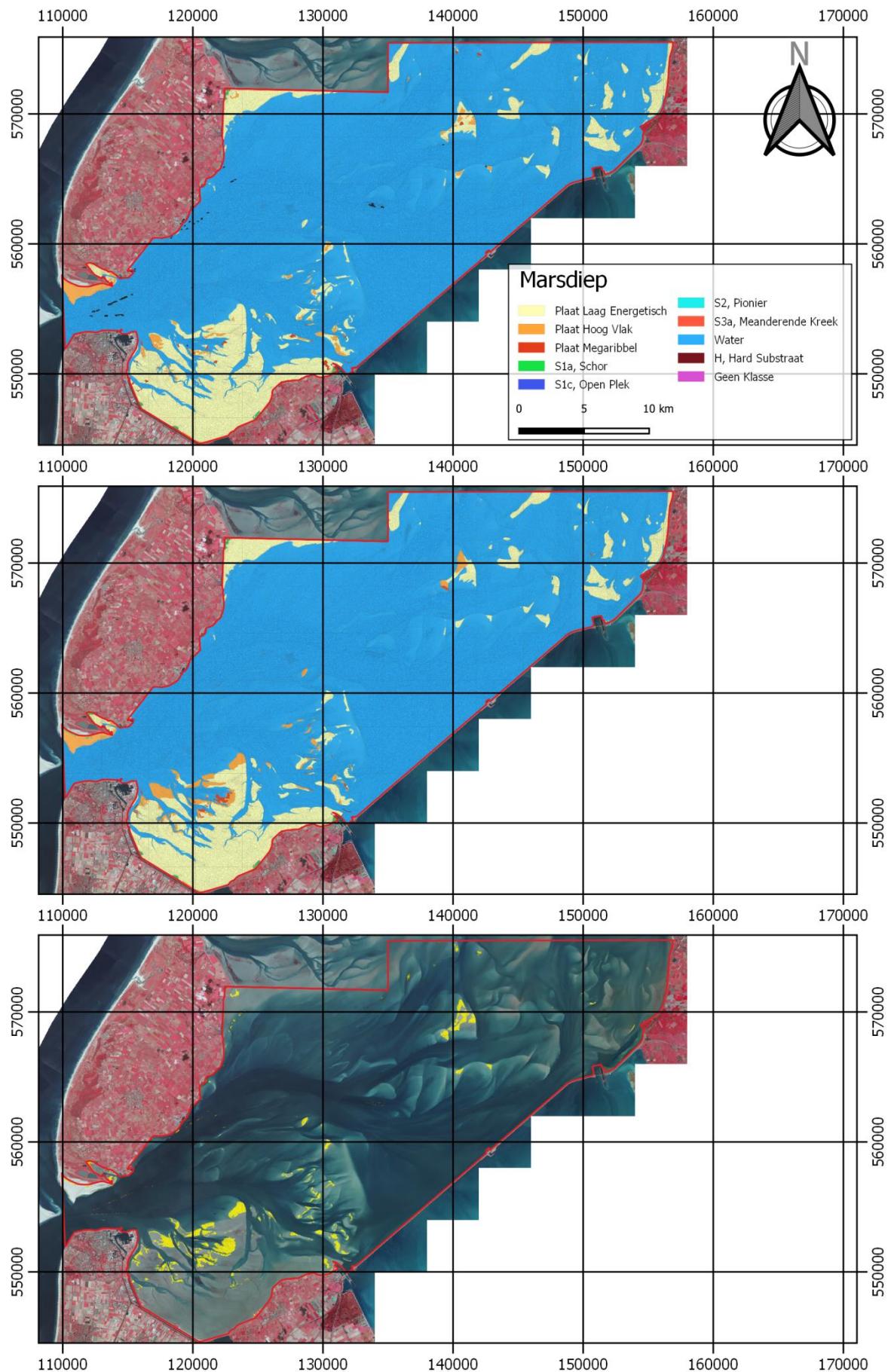


Tiles used to check:

Tiles with ruleset parameters sets:



Result:



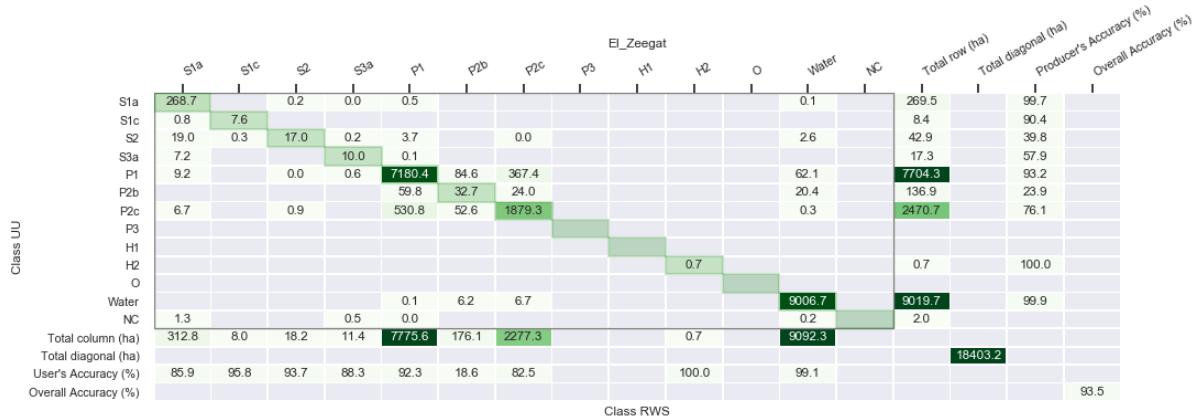
## Ei Zeegat

Rule-set used: Wadden\_v0\_17\_batch\_EI.dcp

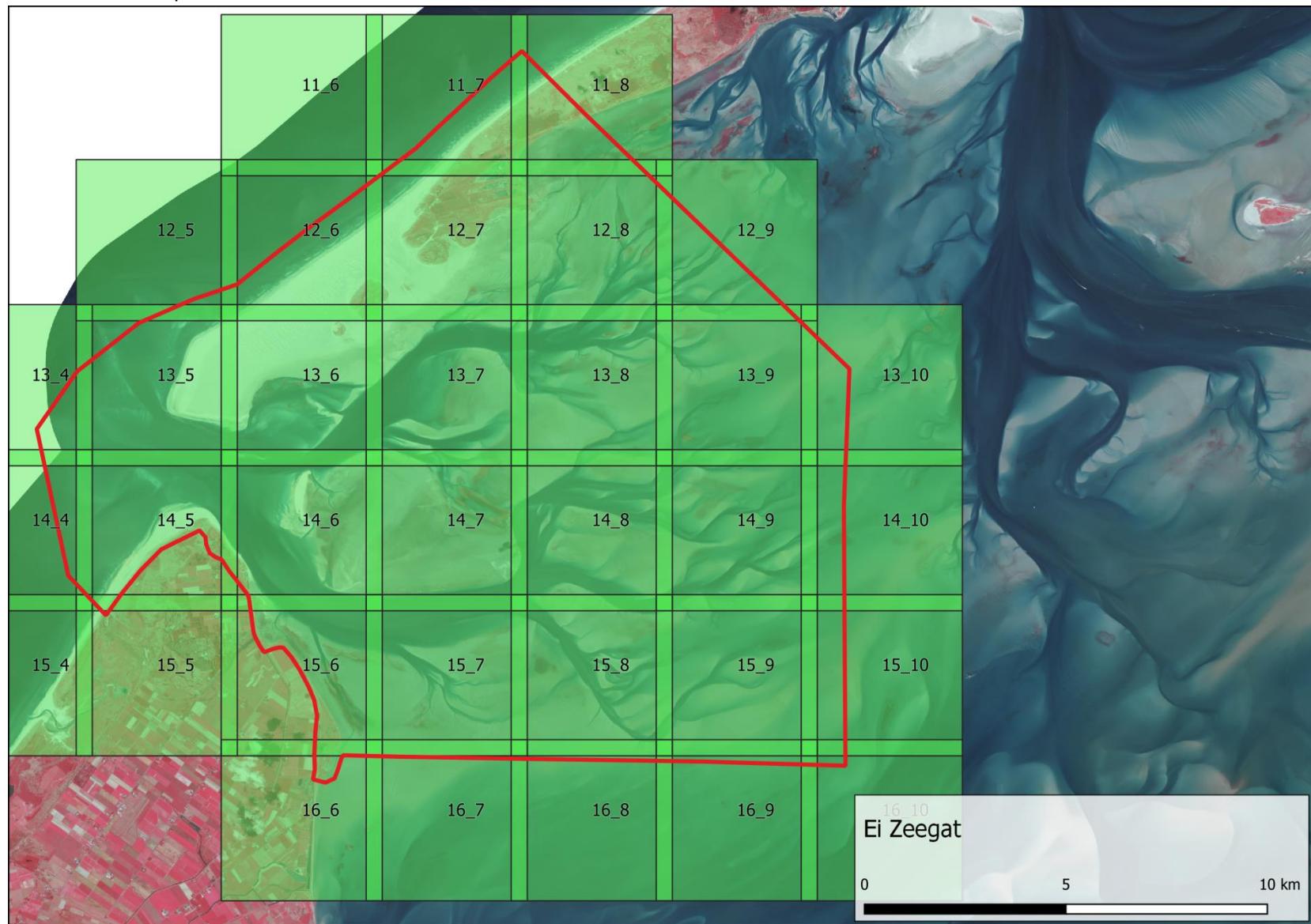
### Used parameter values:

	Groen
Water	
Normaal	-0.17
Donker (ndvi)	-0.1
Donker(brightn)	85
Schor (NDVI)	
Vegetatie	0.07
Geel geen veg	0.11
Open plek	0.13
Cleanup	0
Plaat Brightness	
Laag	140
Midden	155
Hoog	200
Plaat NDVI	
Laag	-0.04
Hoog	0.01

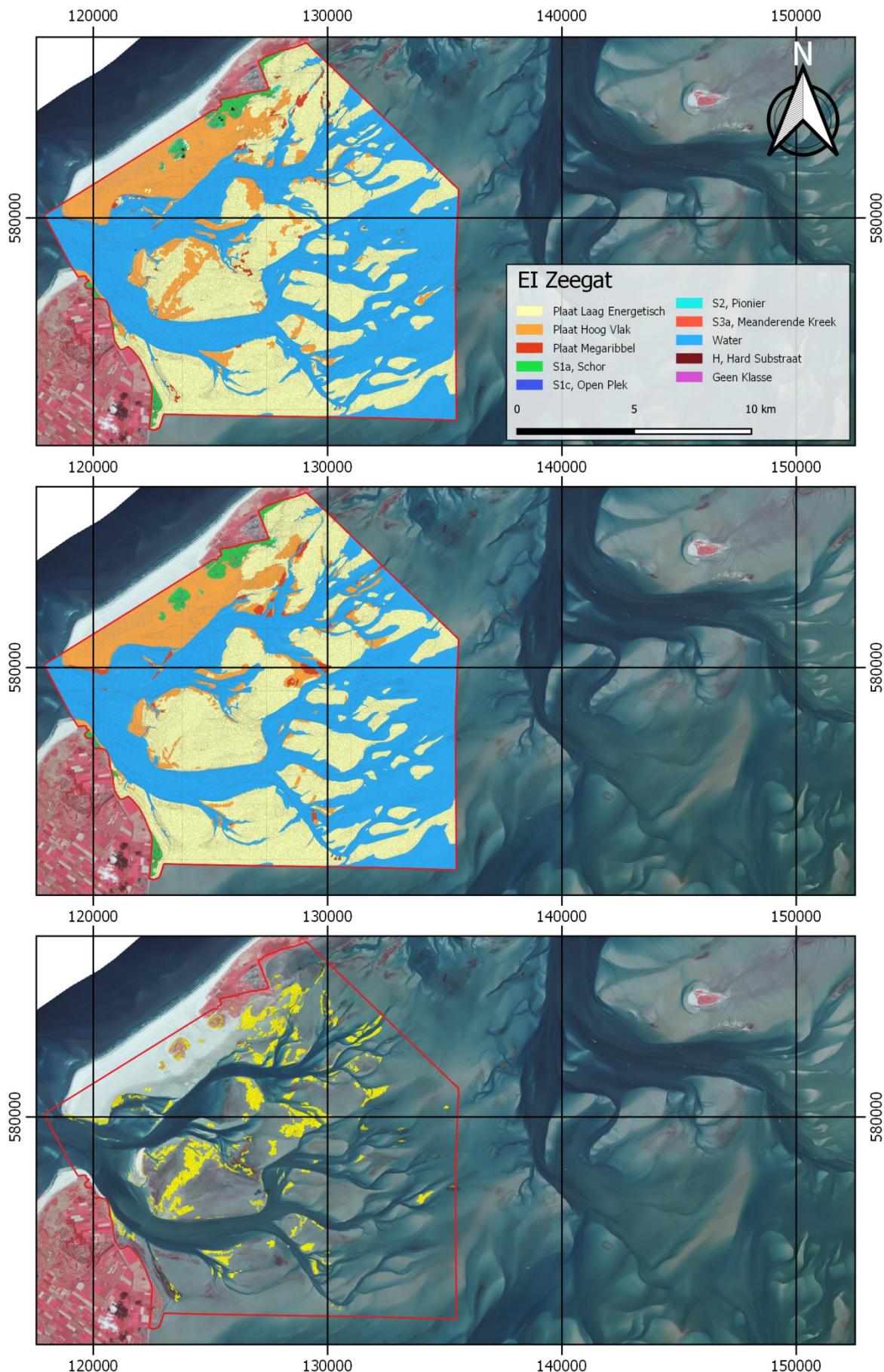
## Controle RWS:



Tiles with ruleset parameters sets:



Result:



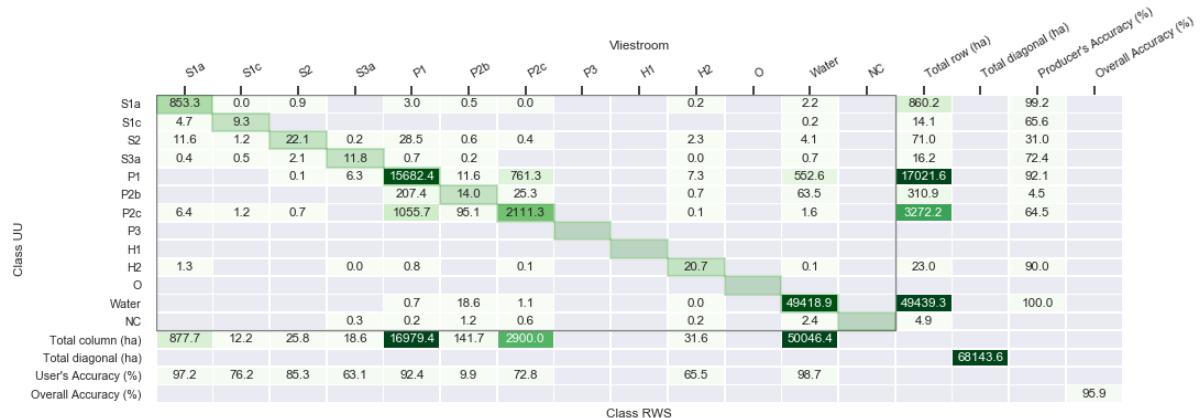
## Vliestroom

Rule-set used: Wadden\_v0\_17\_batch\_Vliestroom.dcp

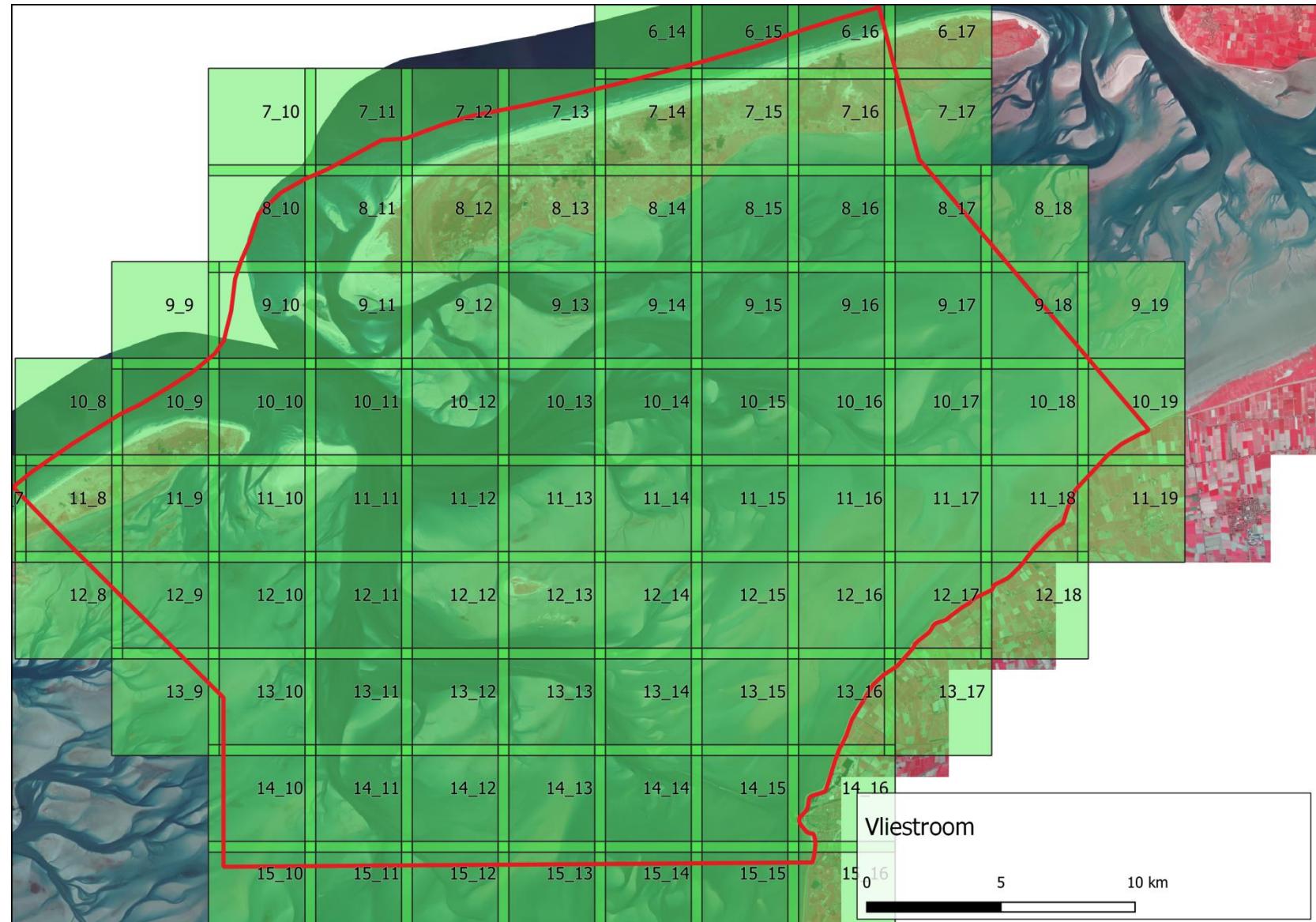
Used parameter values:

	Groen
Water	
Normaal	-0.17
Donker (ndvi)	-0.1
Donker(brightn)	85
Schor (NDVI)	
Vegetatie	0.07
Geel geen veg	0.11
Open plek	0.13
Cleanup	0
Plaat Brightness	
Laag	140
Midden	155
Hoog	200
Plaat NDVI	
Laag	-0.04
Hoog	0.01

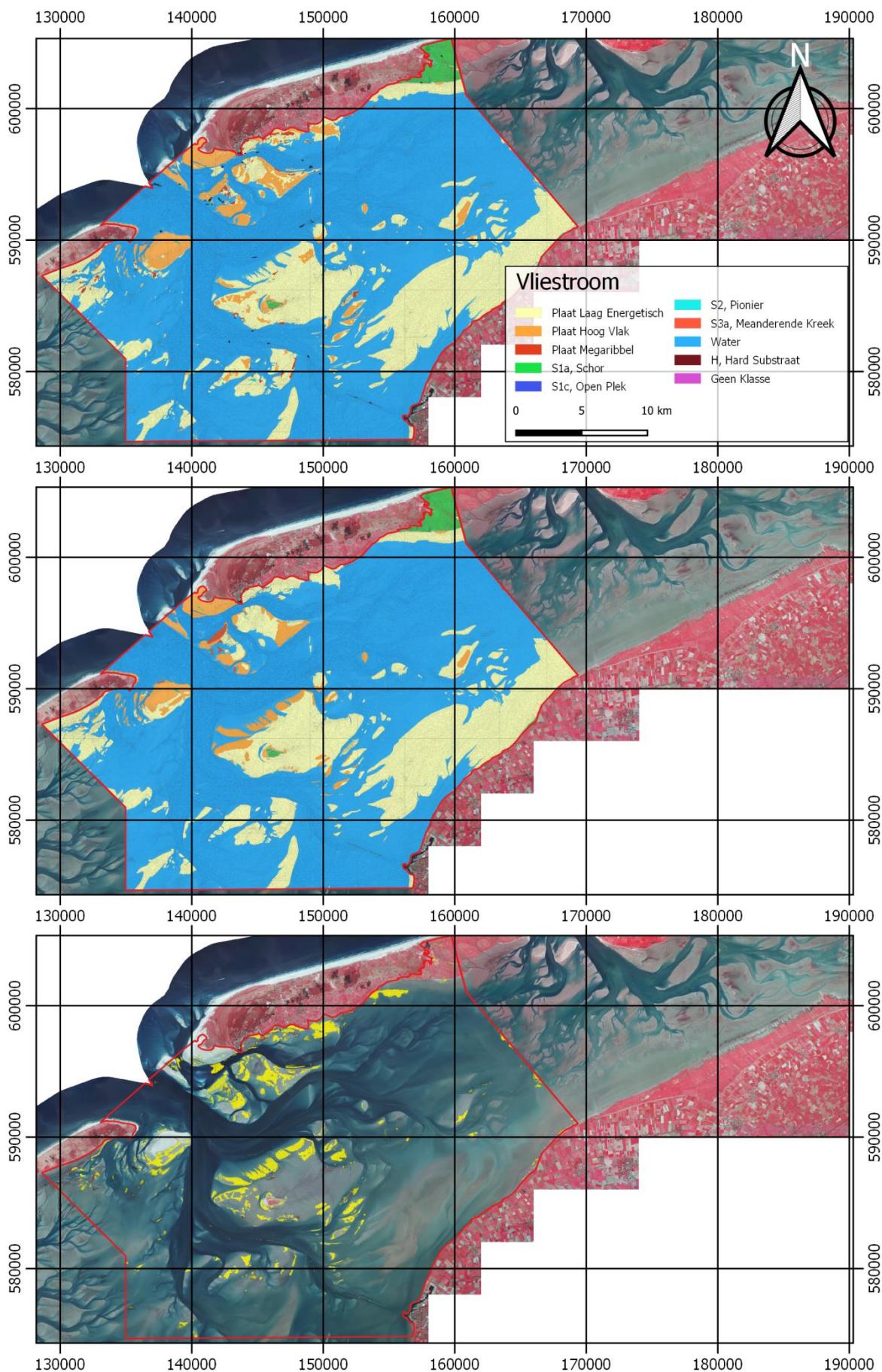
Controle RWS:



Tiles with ruleset parameters sets:



Result:



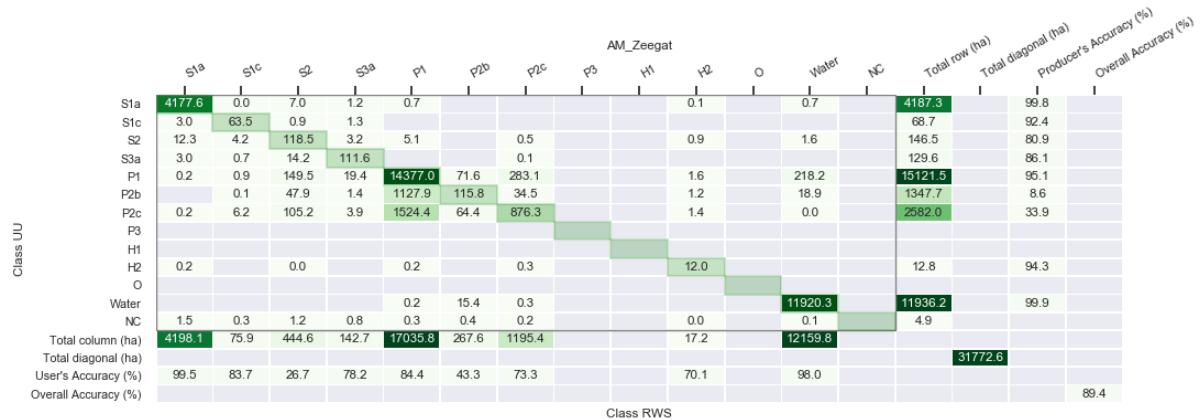
Am Zeegat

Rule-set used: Wadden\_v0\_18\_ajd\_Megaribbel\_AM\_Oost.dcp

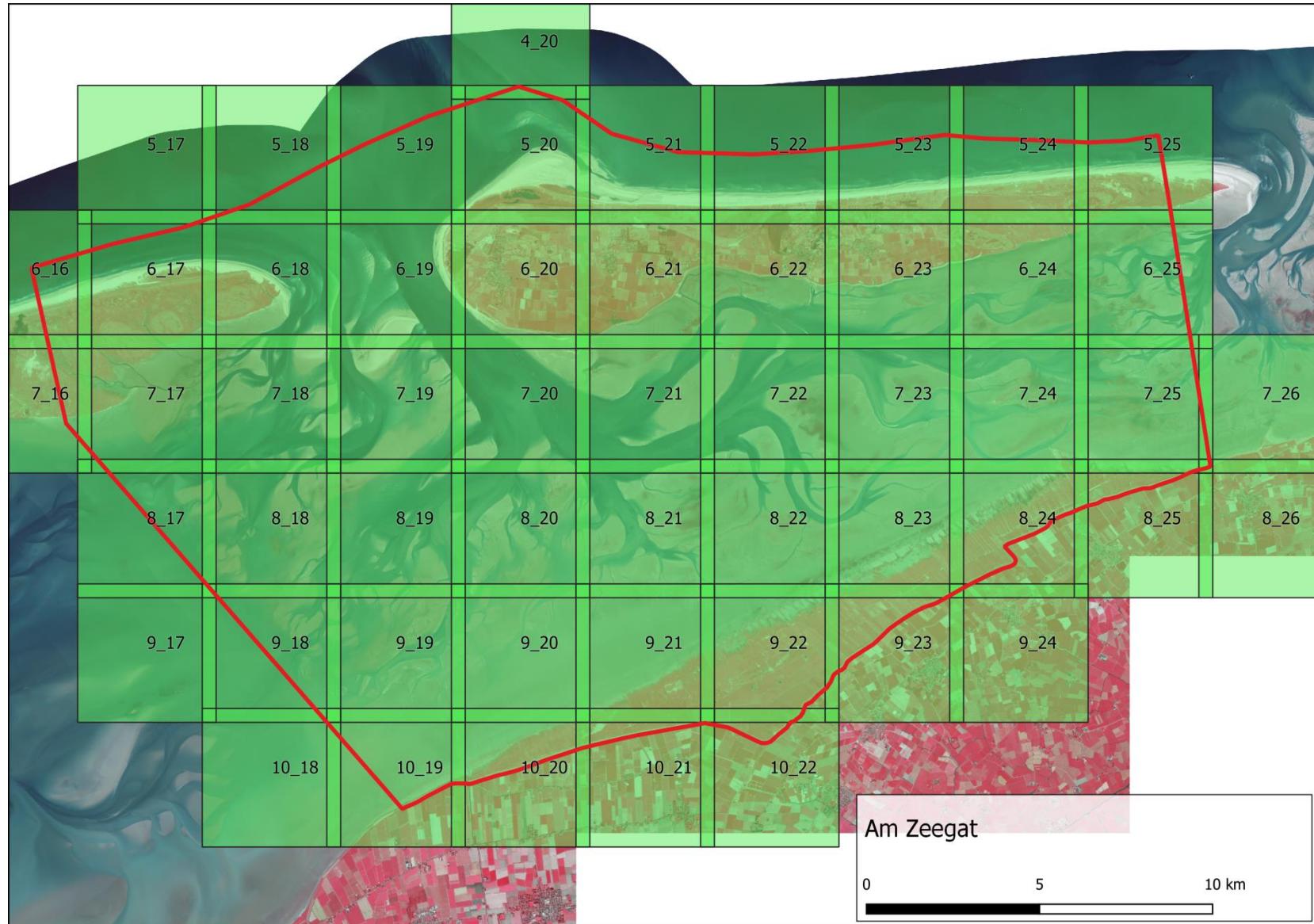
### Used parameter values:

	Groen
Water	
Normaal	-0.12
Donker (ndvi)	-0.06
Donker(brightn)	85
Schor (NDVI)	
Vegetatie	0.17
Geel geen veg	0.17
Open plek	0.17
Cleanup	0
Plaat Brightness	
Laag	150
Midden	155
Hoog	160
Plaat NDVI	
Laag	0.02
Hoog	0.16

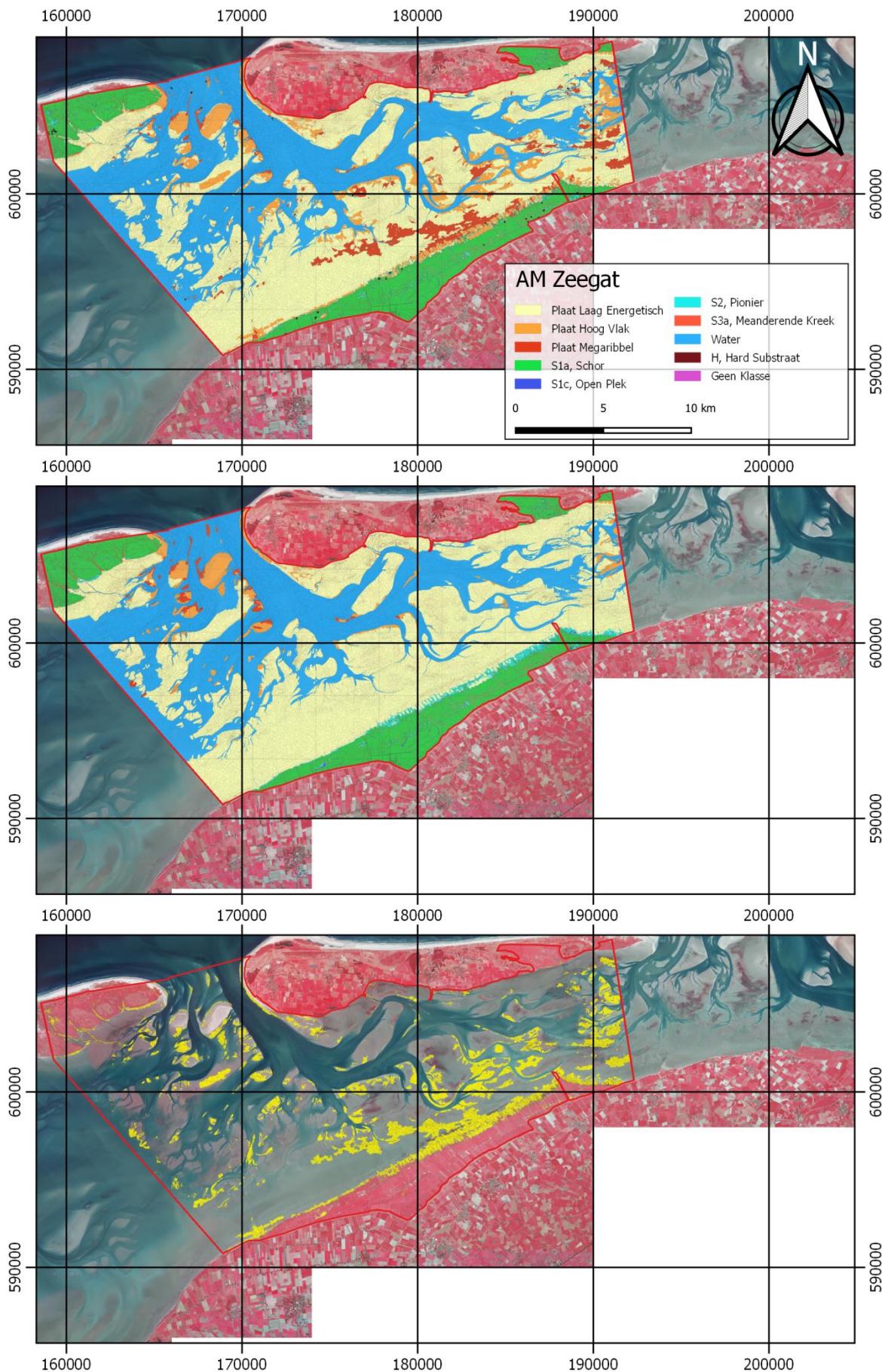
## Controle RWS:



Tiles with ruleset parameters sets:



Result:



## Friese Zeegat

### Rule-set used:

Wadden\_v0\_18\_FZ\_West\_batch1.dcp  
Wadden\_v0\_18\_FZ\_Oost\_batch1.dcp

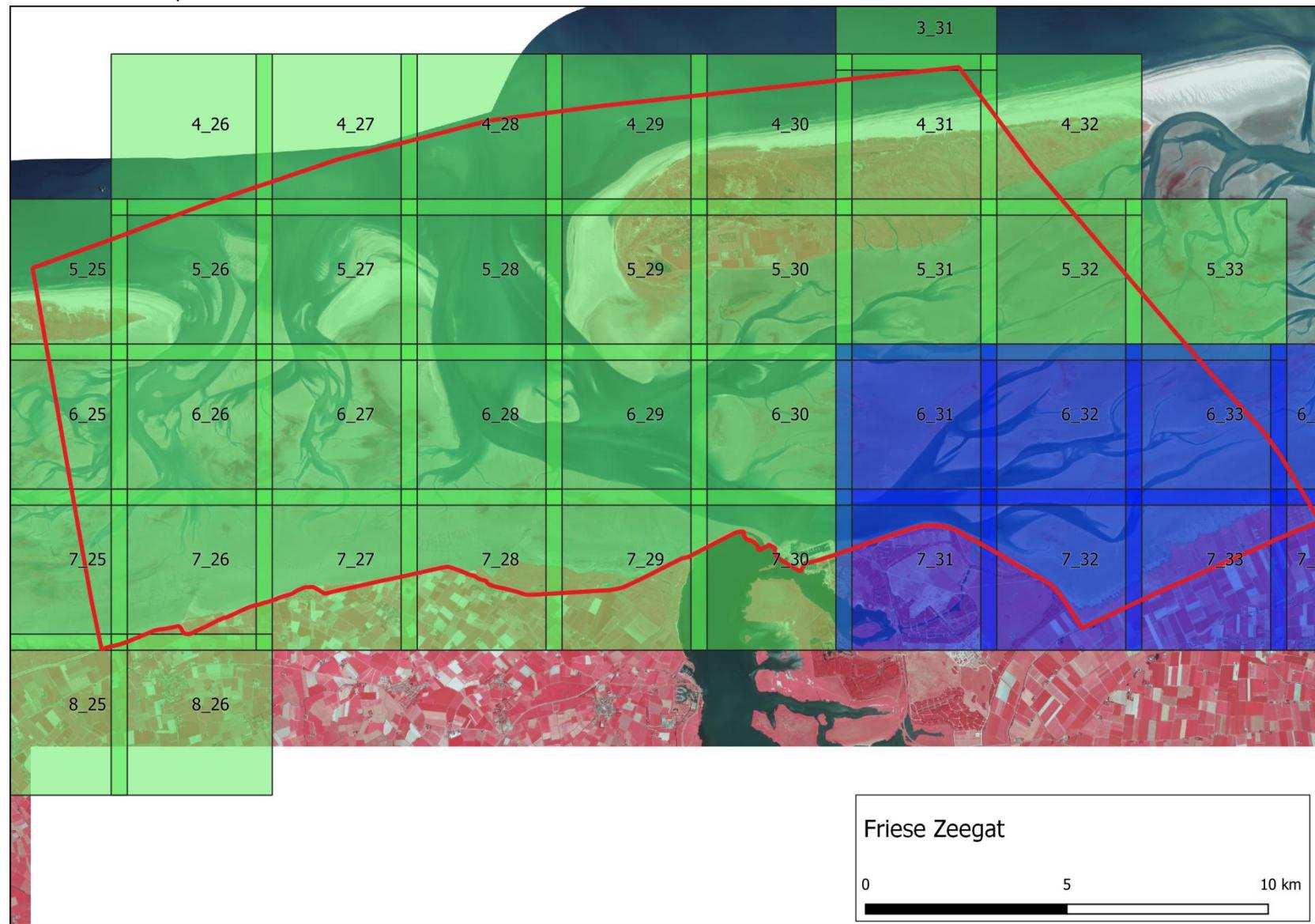
### Used parameter values:

	Groen	Blauw
Water		
Normaal	-0.12	-0.17
Donker (ndvi)	-0.06	-0.06
Donker(brightn)	85	85
Schor (NDVI)		
Vegetatie	0.17	0.04
Geel geen veg	0.17	0.04
Open plek	0.17	0.04
Cleanup	0	0
Plaat Brightness		
Laag	150	150
Midden	155	152
Hoog	170	156
Plaat NDVI		
Laag	0.02	0.02
Hoog	0.16	0.16

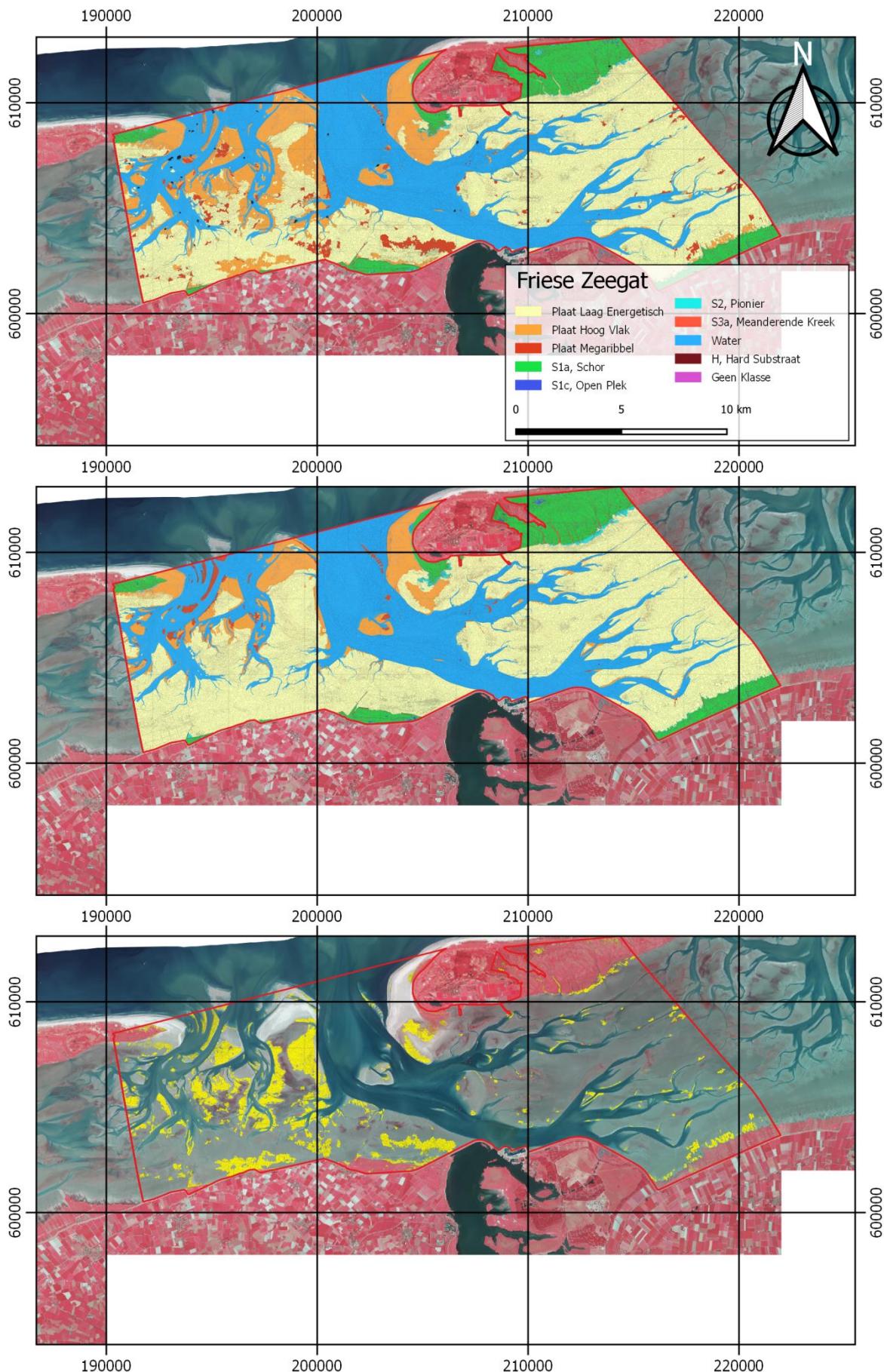
## Controle RWS:



Tiles with ruleset parameters sets:



Result:



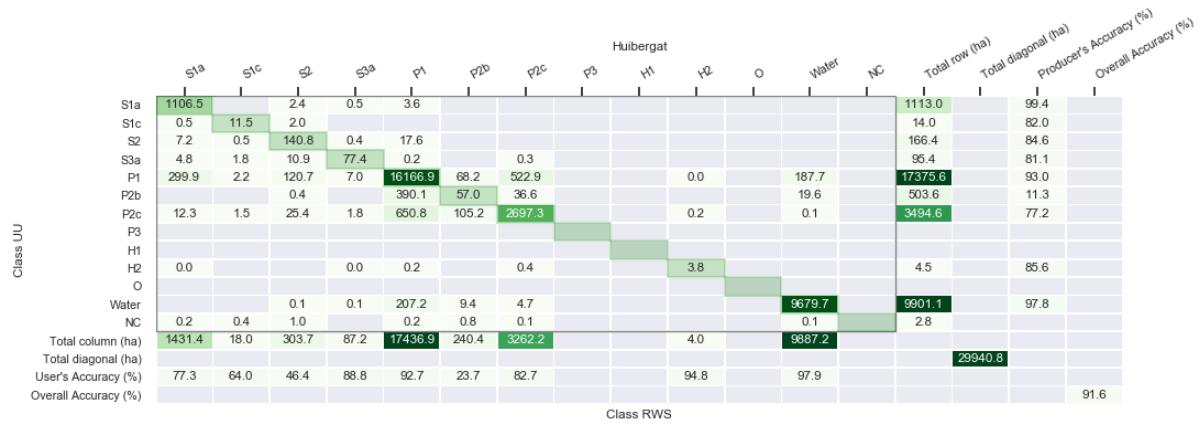
Huibertgat

### Rule-set used:

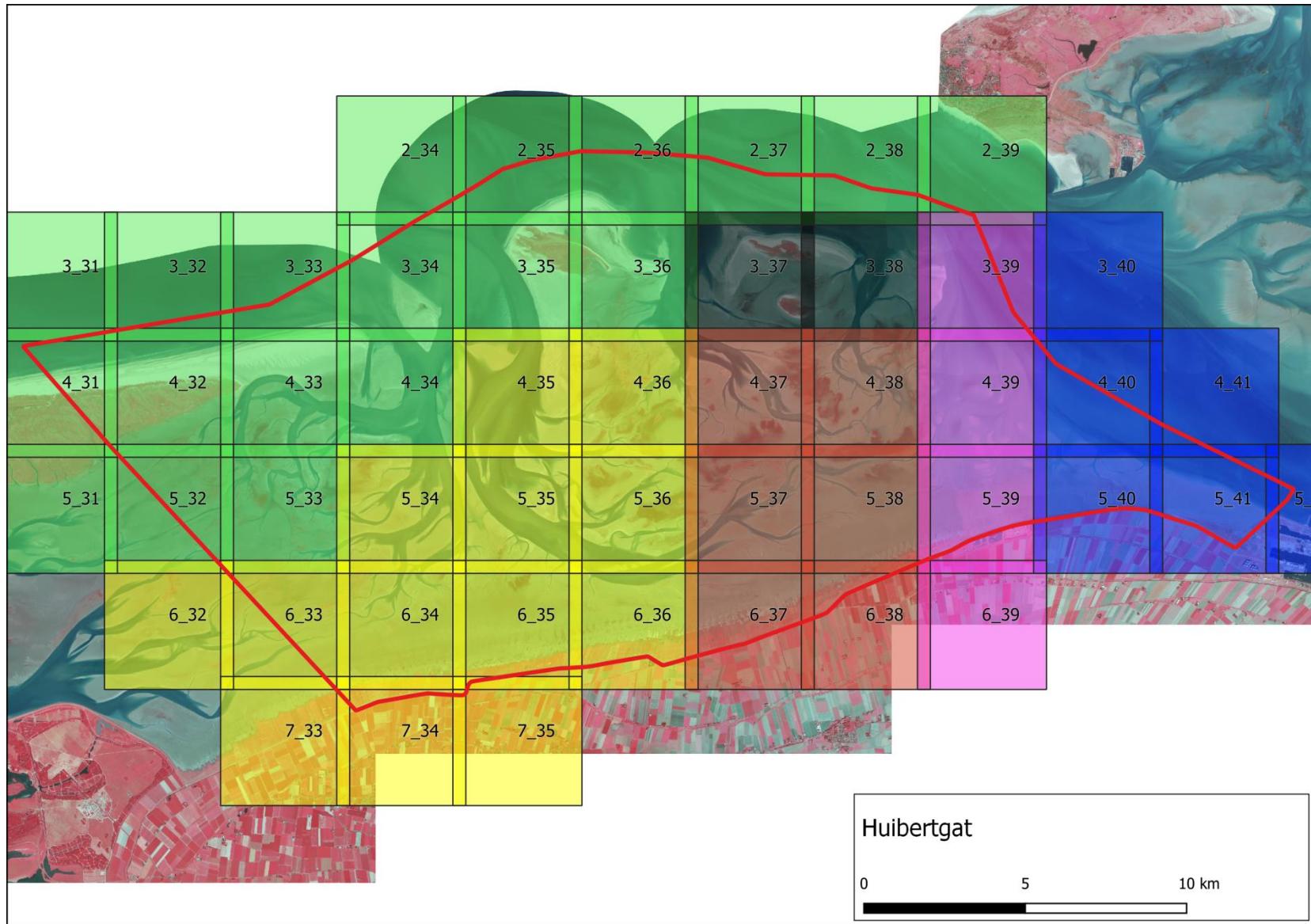
## Used parameter values West:

	Groen	Geel	Rood	Zwart	Paars	Blauw
Water						
Normaal	-0.17	-0.25	-0.35	-0.35	-0.25	-0.17
Donker (ndvi)	-	-	-	-	-	-
Donker(brightn)	-	-	-	-	-	-
Schor (NDVI)						
Vegetatie	0.08	0.02	0.02	0.04	0.12	0.12
Geel geen veg	0.08	0.02	0.02	0.04	0.12	0.12
Open plek	0.08	0.02	0.02	0.04	0.12	0.12
Cleanup	0	0	0	0	0	0
Plaat Brightness						
Laag	150	150	150	150	170	170
Midden	152	152	152	152	172	172
Hoog	160	160	156	156	175	175
Plaat NDVI						
Laag	-0.04	-0.12	-0.24	-0.24	-0.08	-0.08
Hoog	0.14	0	0	0	0	0

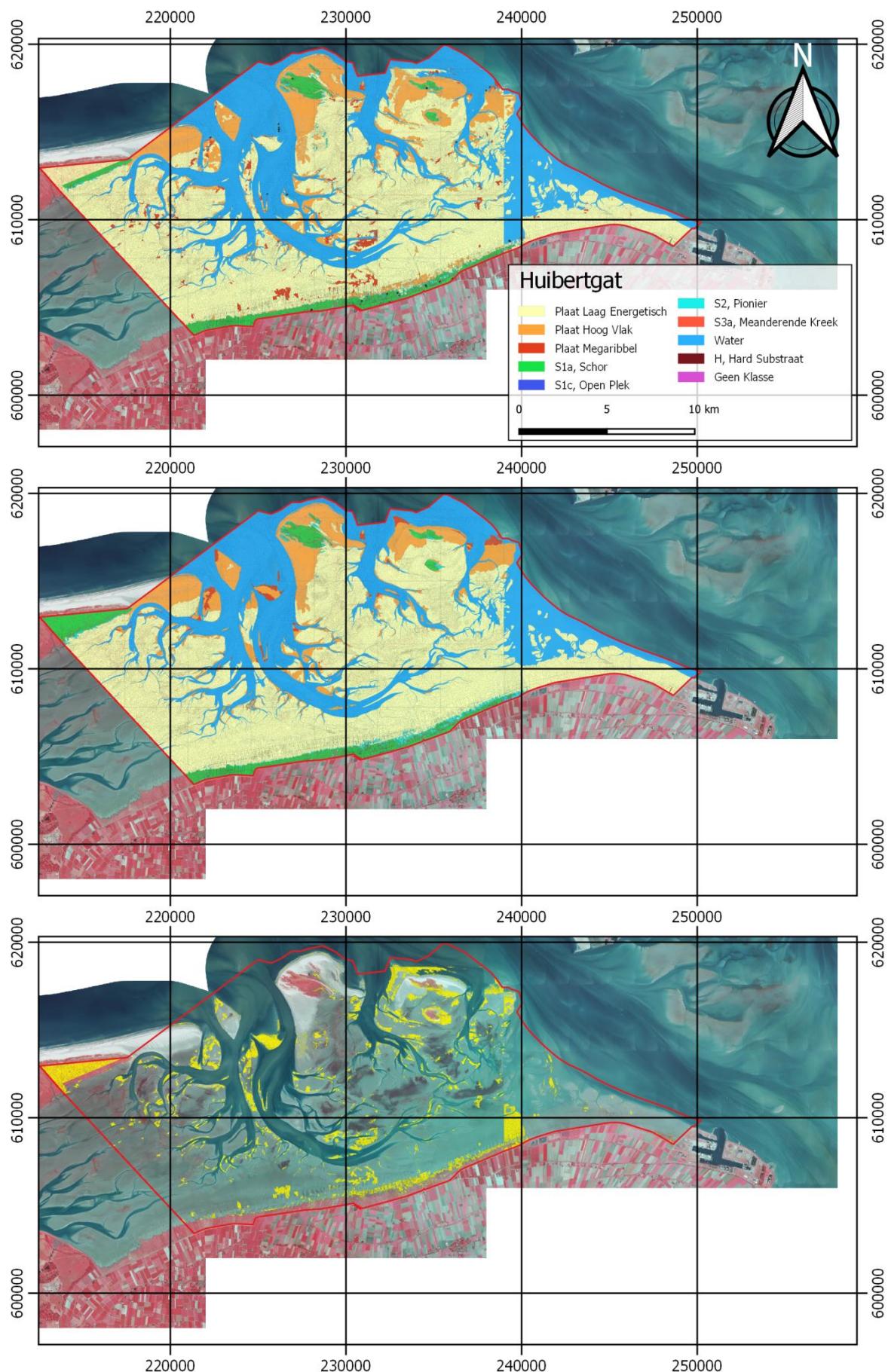
## Controle RWS:



Tiles with ruleset parameters sets:



Result:



Eems Dollard

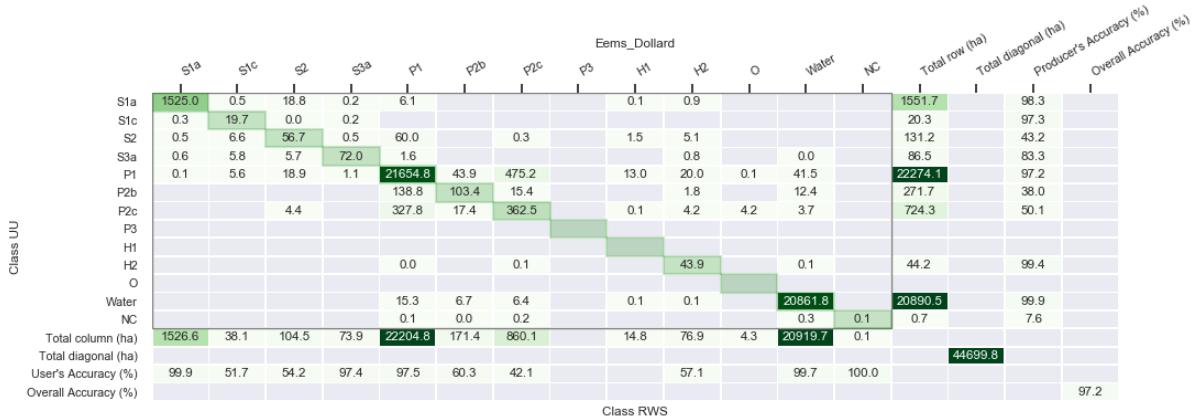
Rule-set used:

Wadden\_v0\_18\_FZ\_West\_batch1.dcp

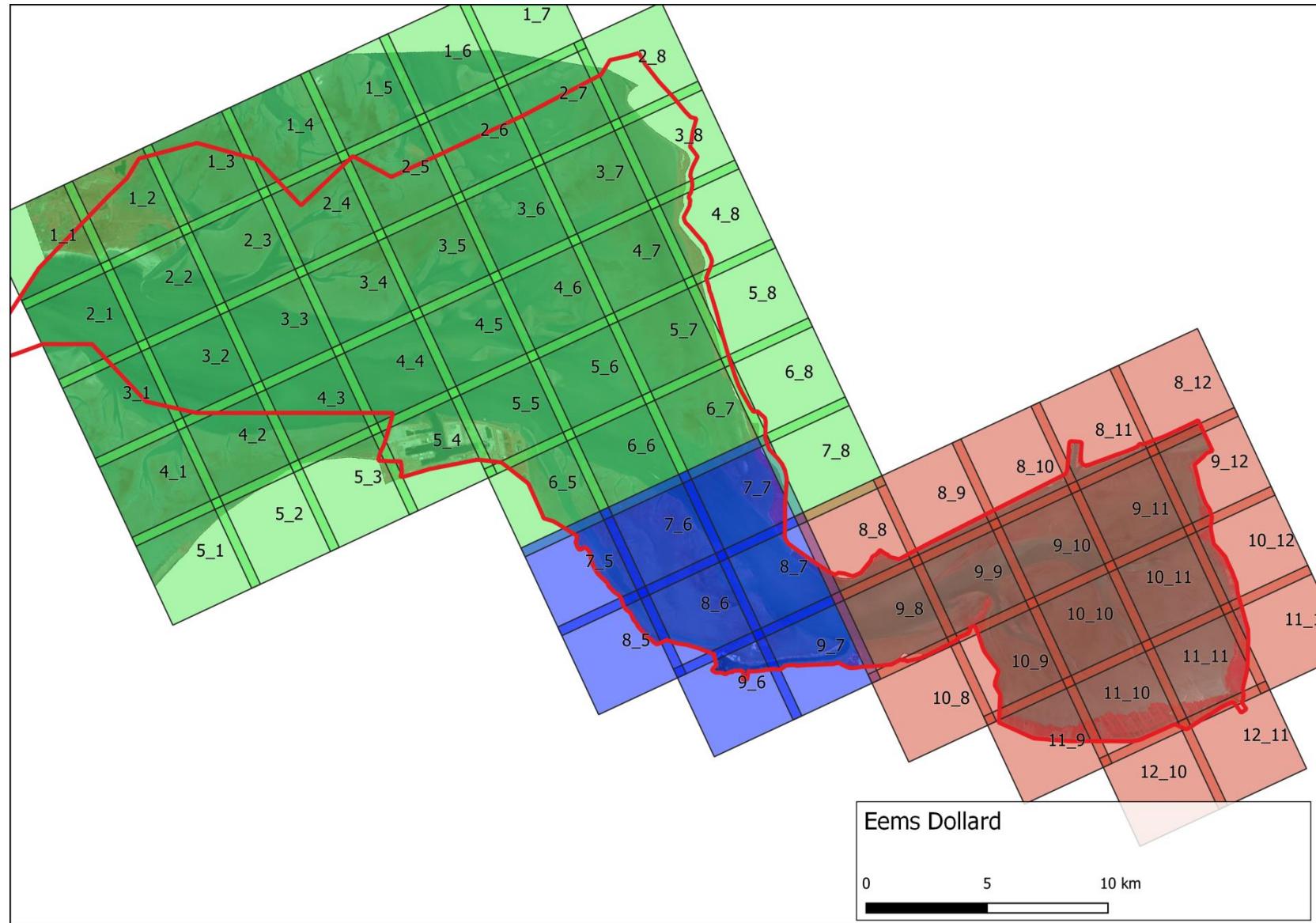
### Used parameter values:

	Dollard	West Part	Hond Paap
Water			
Normaal	-0.38	-0.23	-0.23
Donker (ndvi)	-	-	
Donker(brightn)	-	-	
Schor (NDVI)			
Vegetatie	0.07	0.07	0.07
Geel geen veg	0.11	0.11	0.11
Open plek	0.13	0.13	0.13
Cleanup	0	0	0
Plaat Brightness			
Laag	113	113	115
Midden	115	115	118
Hoog	120	120	127
Plaat NDVI			
Laag	-0.13	-0.13	-0.13
Hoog	-0.08	-0.08	-0.08

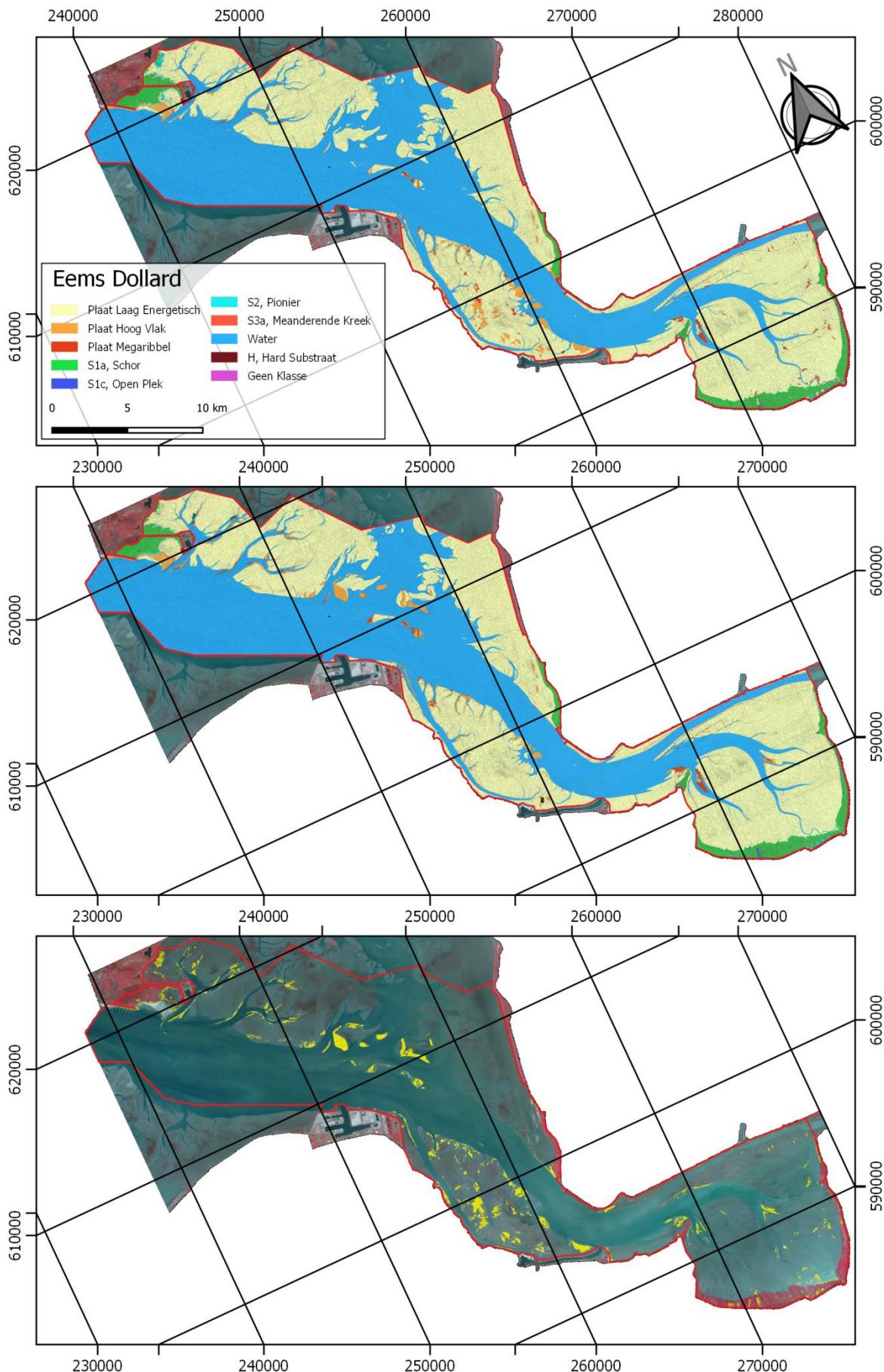
## Controle RWS:



Tiles with ruleset parameters sets:



Result:





# Appendix 4

## Classificatie van het Friese Zeegat met hogere resolutie

# Classificatie van het Friese Zeegat met hogere resolutie

Het Friese zeegat is ook geklassificeerd met de luchtfoto's van 12.5cm. Dit zijn de luchtfoto's die voor het komgebied Friese Zeegat zijn ingevlogen in 2018. Voor deze classificatie is dezelfde ruleset gebruikt. Ondanks dat de luchtfoto met hoge eisen is ingevlogen waren er meerdere parameter sets nodig om de classificatie door het hele gebied heen gelijkwaardig te maken (afbeelding met tegels voor parameters). Dit kan mogelijk komen door water dat op het oppervlakte ligt in het westen, en een hogere sediment concentratie in het oosten. Deze effecten zijn in de classificatie nog terug te zien (afbeelding met luchtfoto en beide versies van classificaties).

Vanwege de hogere resolutie moesten de tegels aangepast worden van 4x4 km naar 2x2 km om de totale hoeveelheid pixels hetzelfde te houden. Dit betekent dat voor hetzelfde gebied 4x zoveel pixels verwerkt moeten worden. We zien daarom dat de kale rekentijd van het Friese Zeegat van ongeveer 44 uur naar 144 uur gaat.

Naast de aangepaste parameters is er verder niets veranderd aan de segmentatie schalen. Deze zouden 12.5 cm beelden nog beter geoptimaliseerd kunnen worden. Het resultaat is vergelijkbaar met de classificatie op 25 cm beelden. Er zou in meer detail gekeken kunnen worden of er meer/beter informatie gehaald kan worden met het verschil in resolutie.

Ruleset parameters:

	Groen	Blauw	Rood
Water			
Normaal	-0.12	-0.08	-0.005
Donker (ndvi)	0.035	0.035	0.035
Donker(brightn)	100	100	100
Schor (NDVI)			
Vegetatie	0.14	0.14	0.14
Geul geen veg	0.14	0.14	0.14
Open plek	0	0	0
Cleanup	0	0	0
Plaat Brightness			
Laag	145	145	145
Midden	148	148	148
Hoog	150	150	150

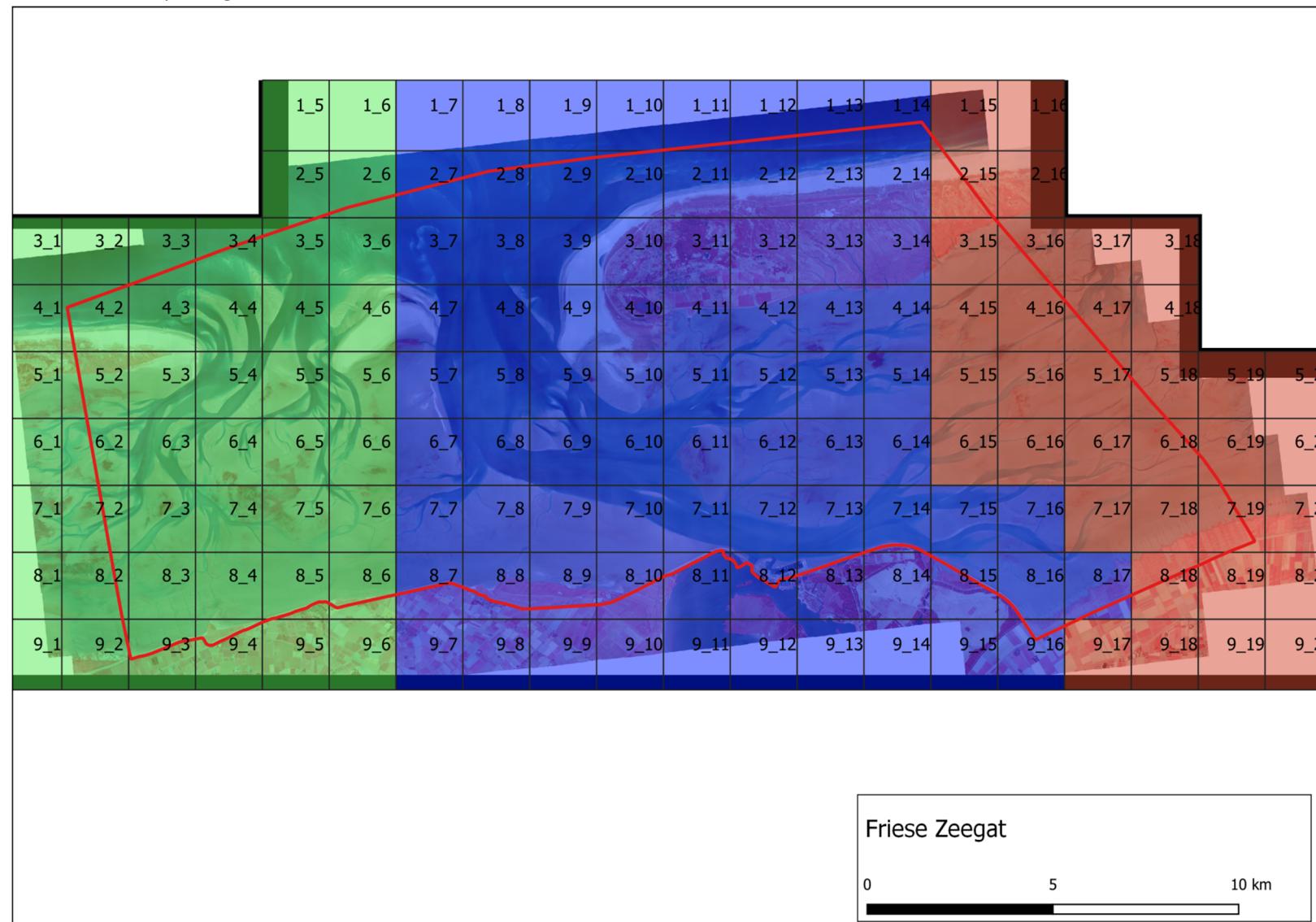
Plaat NDVI			
Laag	0	0	0
Hoog	0.15	0.15	0.15

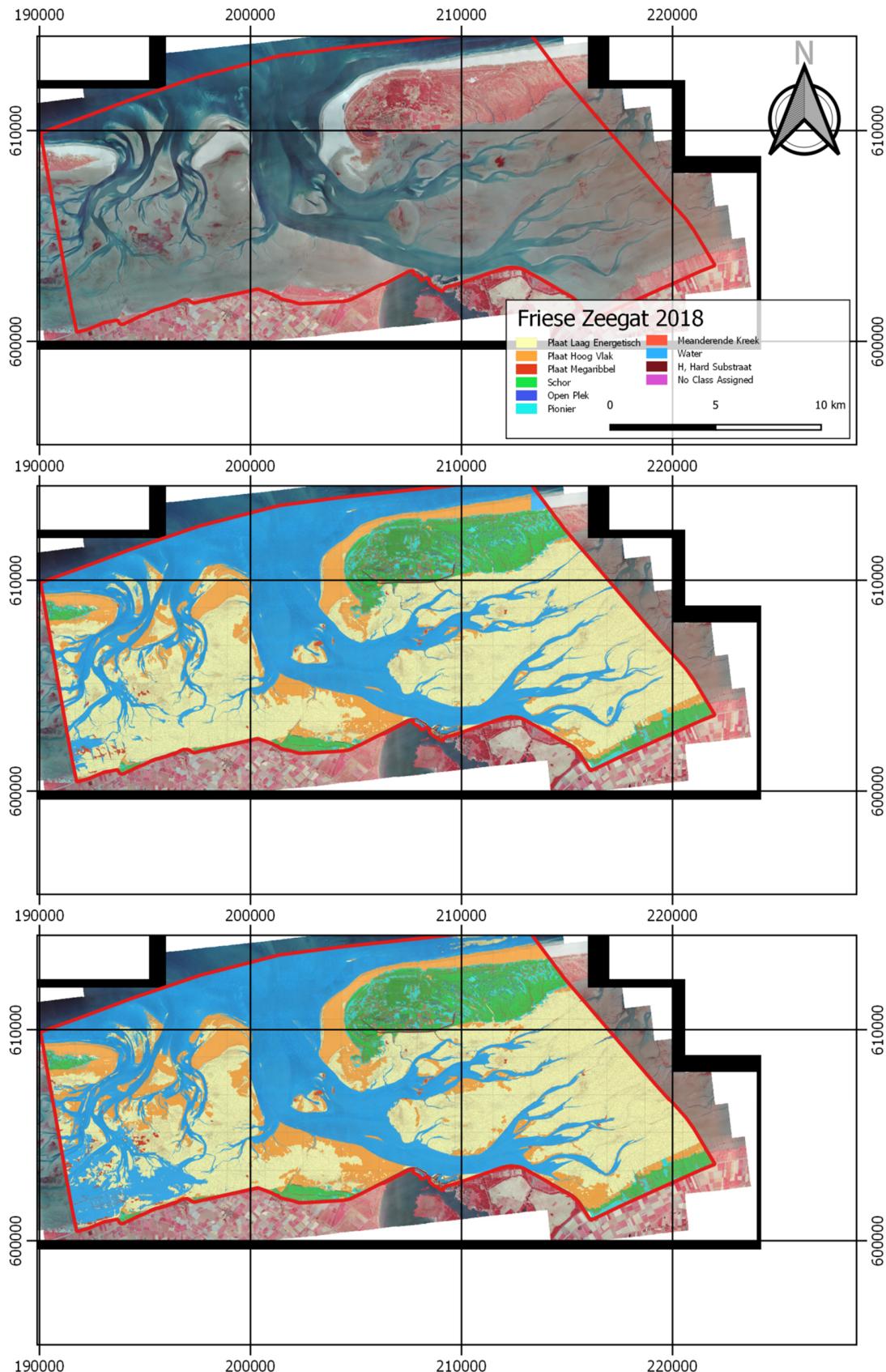
Process tijd:

1 tegel per keer 2 tegels per keer (bij benadering)

6 dagen 00:26:32, 3 dagen 00:13:16

Parameter sets per tegel:





Middelste classificatie is met de 3 parameters sets zoals hierboven te zien is. De onderste classificatie laat de classificatie zien met alleen de blauwe parameter set.



# Appendix 5

## Fotogrammetrie van het Friese Zeegat

# Fotogrammetrie van het Friese Zeegat

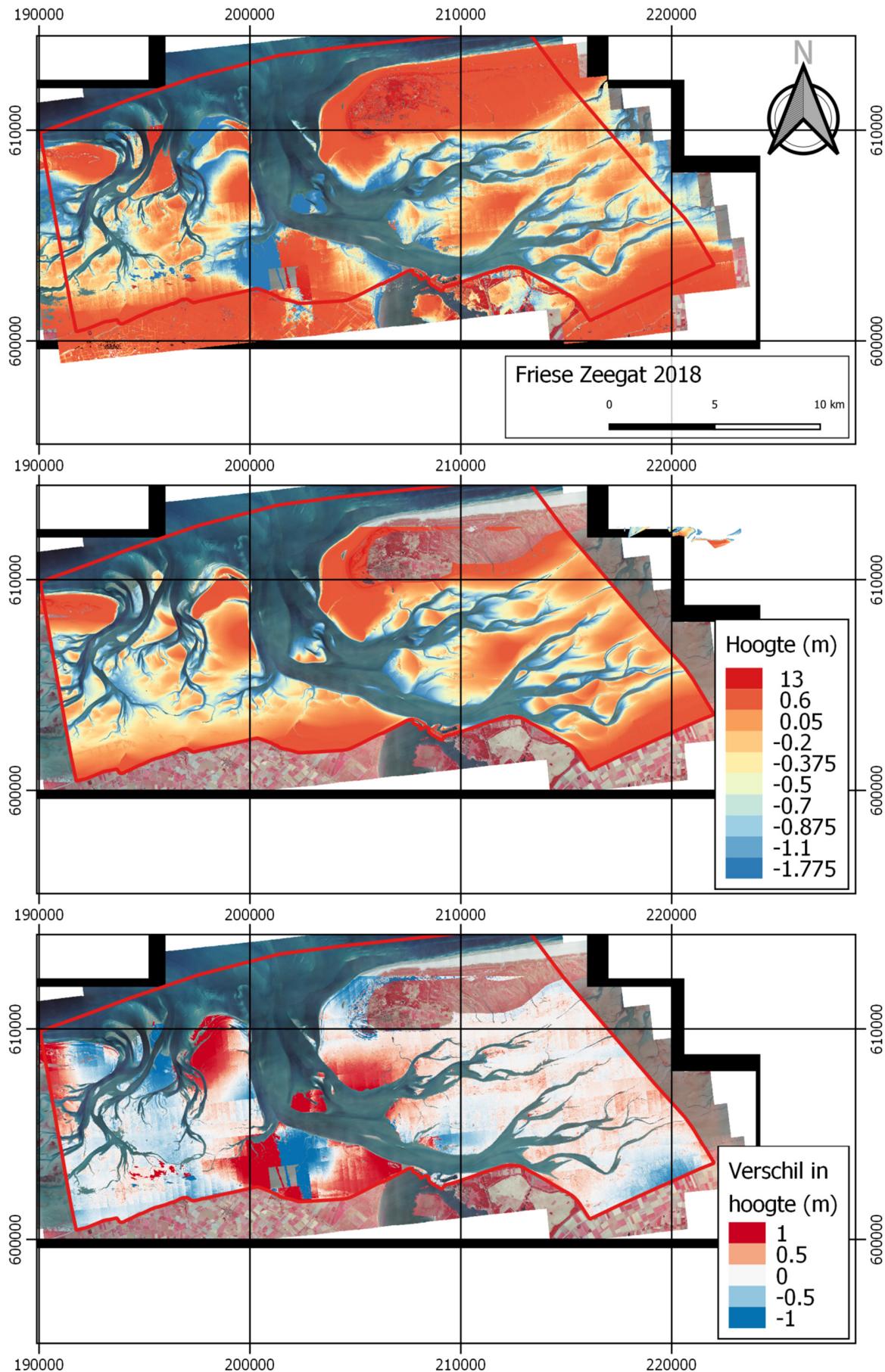
Met behulp van de door RWS geleverde stereo foto's van het Friese Zeegat is met Agisoft Metashape een hoogte model gemaakt. De gebruikte stereo foto's waren ingewonnen met als doel de orthofoto van 12.5 cm. Deze foto's zijn ingewonnen met 60% voorwaartse overlap en 30% overlap tussen de vlieg lijnen in.

De moeilijkheden van fotogrammetrie in het buitendijkste gebied is het ontbreken aan ground control points, veel water, en weinig textuur in de oppervlaktes die boven water liggen. Door het gebrek aan ground control points is het lastig om de foto's goed aan elkaar te plakken en de absolute hoogte goed te bepalen. Het wordt extra lastig om de foto's goed aan elkaar te koppelen wanneer de textuur op de platen ook niet hoog is.

Ondanks de moeilijkheden zijn de foto's met behulp van Agisoft Metashape redelijk goed aan elkaar gekoppeld. Ook de resulterende dense cloud was redelijk vlak dekkend over het hele gebied heen. De hierboven vermelde moeilijkheden resulteerde wel in duidelijk ruis in de dense cloud. Dus voordat er een hoogte model van gemaakt kon worden moest deze ruis gefilterd worden.

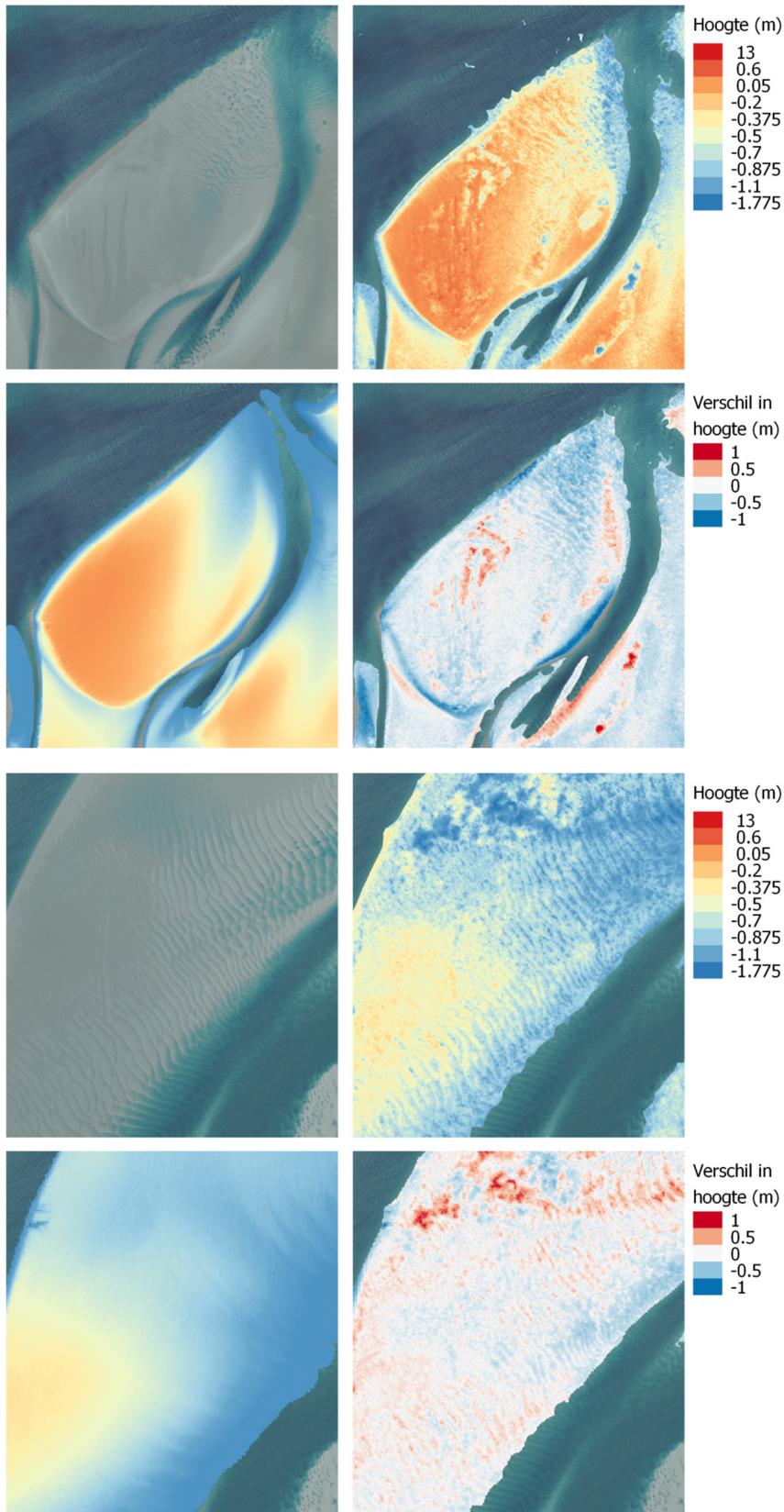
Met lastools is de dense cloud gefilterd zodat de meeste ruis eruit wordt gehaald. Dit zijn met name water punten en punten die duidelijk boven of onder het oppervlak zitten.

In de uiteindelijk DEM is ondanks de ruis de hoogte in grote lijnen overeenkomstig met de LIDAR. Toch zijn er ook plekken waarbij het duidelijk afwijkt van de LIDAR. De verwachting was ook al dat de absolute hoogte halen niet haalbaar was met deze data. Vandaar dat we de relatieve hoogte verschillen beter kunnen gaan bekijken in hoger detail.



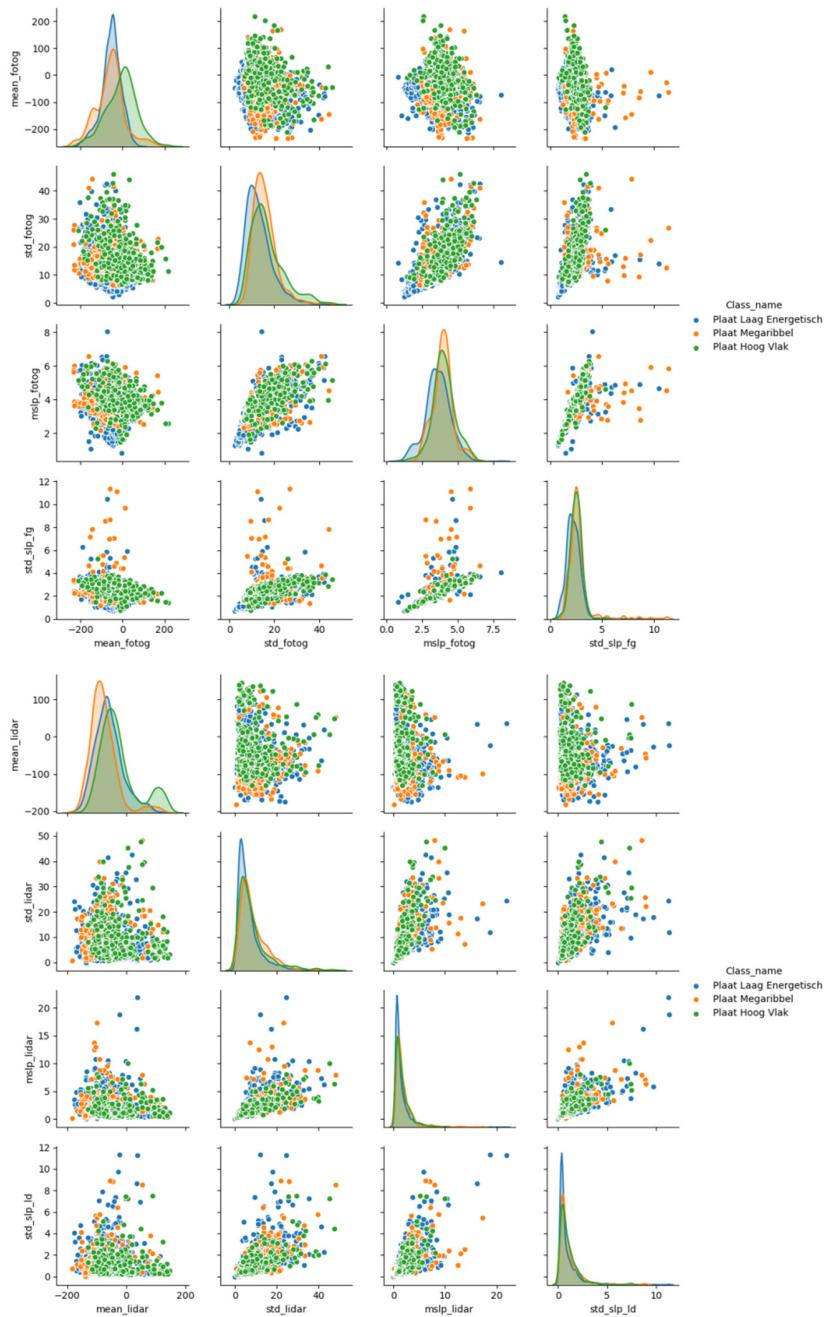
Appendix 5 - 3

In meer detail is te zien dat de fotogrammetrie een hogere resolutie heeft dan de LIDAR. Ondanks dat er ruis in het beeld zit zijn er duidelijk megaribbels te onderscheiden. Ook is te zien dat de fotogrammetrie DEM beter overeenkomt met de foto.



We hebben een segmentatie gemaakt met grotere objecten om de hoogte variatie binnen de objecten goed eruit te halen. De verschillende afgeleiden die we ook gebruikt hebben in de classificatie hebben we tegen elkaar uitgezet. Deze zijn: gemiddelde hoogte (mean), variatie in hoogte (std), gemiddelde helling, variatie in helling). Hierin is te zien dat er met een enkele variabele een klein onderscheid te maken is, maar er nog steeds veel overlap in de data zit.

Deze analyse laat zien dat er toch nog veel ruis in de data zit, en de hoogte variabelen die we gebruikt hebben geen duidelijk onderscheid in de klassen bieden. Zelfs de Lidar geeft geen duidelijk onderscheid tussen de klassen.



## Extra voorbeelden van Lidar en fotogrammetrie vergelijking

