

**AREAAL WADDENGEBIED OP BASIS VAN
LUCHTFOTOGRAFIE: NULSITUATIE 1-2008**

NAM

135302.001375.003

19 september 2008

Versie 0.5

Inhoud

Samenvatting	3
Aanpassingsoverzicht	5
1 Randvoorwaarden & Uitgangspunten	6
1.1 Inleiding	6
1.2 Waterstand(en)	6
1.3 Zonnestand	7
1.4 Zicht	7
1.5 Geschikte vliegdagen	7
1.6 Rapportages	7
2 Uitvoering	9
2.1 Paspunten en vliegplan	9
2.2 Fotovlucht 7 mei 2008	11
2.3 Fotovlucht 8 mei 2008	12
2.4 Fotovlucht verwerking	15
2.4.1 Ontwikkelen en scannen luchtfoto's	15
2.4.2 Verwerking GPS en INS gegevens	15
2.4.3 Triangulatie en orthofoto productie	16
2.4.4 Segmentatie en classificatie	17
2.4.5 Segmentatie	18
2.4.6 Classificatie	20
2.4.7 Berekening areaal land en water	22
2.4.8 Areaal berekeningen	23
2.4.9 Robuustheidsanalyse	24
3 Discussie en aanbevelingen	26
3.1.1 Discussie en aanbevelingen vluchten	26
3.1.2 Discussie en aanbevelingen bestandsgrootte	26
3.1.3 Discussie en aanbevelingen segmentatie en classificatie	27
3.1.4 Discussie en aanbevelingen robuustheidsanalyse	27
3.1.5 Discussie en aanbevelingen gebruik data	30
3.1.6 Alternatieven voor luchtfotografie	30
4 Conclusies	31
Bijlage 1: Kaarten	32
Bijlage 2: Oppervlakten 7 en 8 mei 2008	41
Bijlage 3: Robuustheidskaarten	43

Bijlage 4: Samenvatting opnamen 52

Samenvatting

Op 7 en 8 mei 2008 zijn analoge luchtfoto's genomen van de Waddenzee om de situatie van het areaal aan droog(vallend) gebied vast te leggen. Om de kwaliteit en herhaalbaarheid van dergelijke opnamen te garanderen zijn een aantal randvoorwaarden opgesteld ten aanzien van de waterstanden en zonnestand tijdens de opnamen. Omdat het getij aanzienlijk verschilt tussen het oostelijke en westelijke deel van de Waddenzee is het gebied opgedeeld in twee delen met afzonderlijke randvoorwaarden aan de waterstand (west: -0.80m NAP; oost: -1.00m NAP). Het totaal aan randvoorwaarden beperkt het aantal potentiële vliegdagen tot ongeveer 100 per jaar. In de praktijk blijkt dat aantal nog veel kleiner door de invloed van weersomstandigheden.

Het getij in de Waddenzee verplaatst zich grofweg van west naar oost en van noord naar zuid. De beschikbare tijd voor een opname wordt dan ook bepaald door de tijd die het getij nodig heeft om zich tussen twee vastgesteld getijde stations te bewegen.

De opnamestroken, het vliegplan en de posities van paspunten zijn allemaal op elkaar afgestemd om de opname binnen de beschikbare tijd (60/90 minuten) te kunnen uitvoeren en zo variaties in de waterstanden tijdens de opnamen zo veel mogelijk te voorkomen. Het vliegtuig vliegt als het ware mee met het getij.

Bij de verwerking worden alle afzonderlijke foto's, welke grotendeels overlappen, aan elkaar vast gerekend op basis van gemeenschappelijke objecten in de foto's zelf. Na een correctie voor verschillen in hoogte ontstaat een orthofoto (fotokaart) die geschikt is voor verdere analyse. Deze analyse bestaat uit twee stappen:

- Segmentatie: het opdelen van de fotokaart in segmenten op basis van intrinsieke eigenschappen zoals kleur, textuur en vorm;
- Classificatie: indelen van segmenten in een bepaalde klasse (water of land) op basis van zogenaamde trainingsgebieden welke duidelijk aan een bepaalde klasse kunnen worden toegeschreven.

Op deze manier is per kombergingsgebied de oppervlakte aan droog(vallend) gebied bepaald. Daarnaast is er een extra analyse uitgevoerd om de onzekerheid in de classificatie te bepalen. Hiertoe is op basis van de gegevens uit de segmentatie en classificatie een robuustheidwaarde toegekend aan de geclassificeerde polygonen.

Aanpassingsoverzicht

Versie	Status	Datum	Gereviseerd door	Reden
0.0	Werkconcept	11 juli 2008	J. Swarts, R. Brügelmann, W. Looijen	Initiële versie
0.1	Concept	28 juli 2008	R. Brügelmann, W. Looijen	Intern commentaar verwerkt
0.2	Concept	6 augustus 2008	W. Looijen, J. Swarts, D. van der Vlag	Intern commentaar verwerkt
0.3	Concept	20 augustus 2008	S. Kampshoff	Commentaar NAM verwerkt
0.4	Concept	27 augustus 2008	S. Kampshoff	Grafieken waterstanden toegevoegd
0.5	Finale versie	19 september 2008	S. Kampshoff	Finale Review

HOOFDSTUK

1

Randvoorwaarden
& Uitgangspunten

1.1

INLEIDING

Voorafgaand aan de start van de gaswinning door NAM vanaf de locaties Moddergat (in februari 2007), Lauwersoog (naar verwachting eind 2008) en Vierhuizen (juni 2008) is van de Waddenzee en het Lauwersmeer een nulsituatie vastgelegd van de bodemhoogten en de ecologie. Eén van de te monitoren parameters daarbij is het bij laagwater droogvallende wadareaal en water (geulen)oppervlakte in de Waddenzee. Om die oppervlakten te kunnen bepalen wordt gebruik gemaakt van luchtfotografie. Dit rapport geeft een beschrijving van de daarbij toegepaste techniek en uitgangspunten. Jaarlijks zullen 2 vluchten worden uitgevoerd onder zoveel mogelijk gelijke omstandigheden om te kunnen vaststellen of er significante veranderingen zijn opgetreden in voornoemd verhoudingsgetal. Op 7 mei 2008 is het oostelijke gedeelte gefotografeerd en op 8 mei 2008 was het mogelijk om het westelijke gedeelte op te nemen.

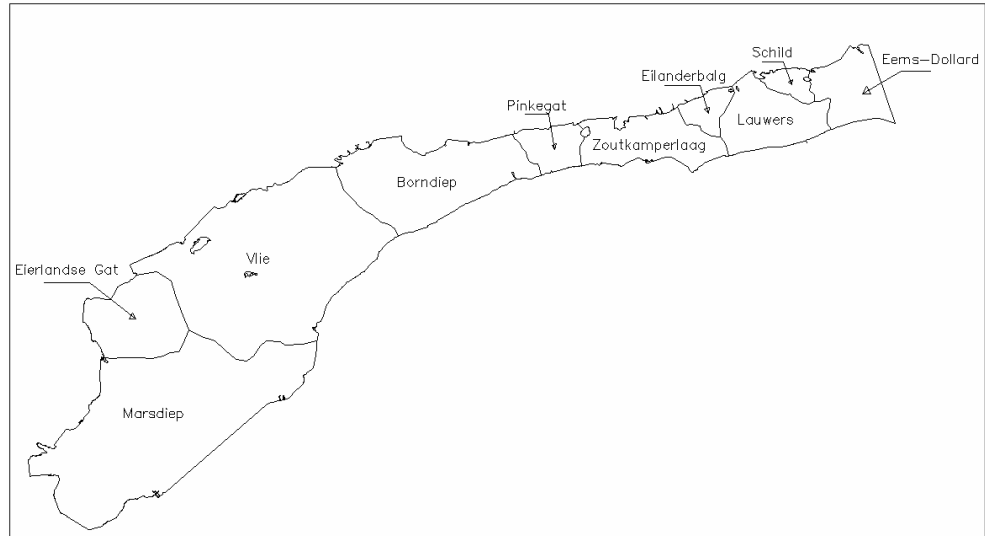
Hoofdstuk 1 beschrijft de randvoorwaarden en gehanteerde uitgangspunten bij de toegepaste luchtfotografie. Hoofdstuk 2 beschrijft de feitelijke uitvoering en hoofdstuk 3 beschrijft een discussie en enkele aanbevelingen voor verbeteringen. Het laatste hoofdstuk geeft de conclusies. In Bijlage 1 zijn opgenomen de Waddenzeekaarten per kombergingsgebied. Bijlage 2 geeft de berekende oppervlakten per komberging op 7 en 8 mei 2008 weer. Bijlage 3 geeft de robuustheidskaarten en bijlage 4 geeft een samenvatting van de relevante feiten met betrekking tot de opname.

1.2

WATERSTAND(EN)

De waterstand tijdens elke opname moet binnen bepaalde grenzen gelijk zijn. Omdat het getij aanzienlijk verschilt tussen het oostelijke en westelijke deel van de Waddenzee is het gebied opgedeeld in twee delen met afzonderlijke voorwaarden aan de waterstand:

- Voor het oostelijke deel van de Waddenzee (de komberging Borndiep en alle kombergingen ten oosten daarvan) wordt de opnametijd begrensd door de momenten waarop de meetstations Nes (start) bij afgaand water -1.00m NAP bereikt en de laatste opname (meest westelijke) van strook 3 zal zijn wanneer deze waterstand is bij Eemshaven.
- Voor het westelijke deel van de Waddenzee (de komberging Vlie en alle kombergingen ten westen daarvan) wordt de opnametijd begrensd door de momenten waarop de meetstations Vlieland Haven (start) en Harlingen (eind) bij afgaand water -0.80m NAP bereiken.



Overzichtskartaal kombergingsgebieden

Aan de hand van getij voorspellingen kunnen op voorhand potentieel geschikte opname momenten worden geselecteerd. De weersomstandigheden zijn echter aanzienlijk van invloed waardoor de werkelijke waterstanden vaak afwijken van het getij. Hierdoor kunnen potentieel geschikte opname momenten worden vervroegd, uitgesteld of zelfs volledig ongeschikt worden.

1.3

ZONNESTAND

Vanwege reflecties en mogelijke schaduwwerking in de luchtfoto's moet de zonnestand tijdens de opname minimaal 15° zijn. Dit betekent bijvoorbeeld dat in bepaalde perioden van het jaar de vliegtijd zeer beperkt is en dat er in december/januari zelfs helemaal geen opnamen gemaakt kunnen worden.

1.4

ZICHT

Om een opname binnen de beschikbare tijd te kunnen voltooien wordt het aantal vliegstroken tot een minimum beperkt. Deze beperking resulteert in een vlieghoogte van 4500m. Het zicht naar het aardoppervlak mag uiteraard niet belemmerd worden door bewolking of nevel.

1.5

GESCHIKTE VLIEGDAGEN

Combinatie van de voorwaarden met betrekking tot de waterstanden en zonnestand heeft tot gevolg dat er per jaar gemiddeld ongeveer 100 potentieel geschikte opname momenten zijn. In de praktijk blijkt dat aantal nog veel kleiner door de invloed van weersomstandigheden.

1.6

RAPPORTAGES

Van de hand van ARCADIS zijn tot nu toe de volgende rapportages geleverd:

- Rapport: Areaal Waddengebied op basis van luchtfotografie: nulsituatie 2007 d.d. 24 september 2007
- Rapport: Areaal Waddengebied op basis van luchtfotografie: situatie 2-2007 d.d. 14 maart 2008

Op basis van de wisselende opname omstandigheden (waterstanden, analoge of digitale camera) en verwerkingstechnieken (automatische of handmatige classificatie) en het voortschrijdende inzicht wordt voorgesteld het onderhavige document als een nieuwe nulsituatie te zien: de nulsituatie 1-2008.

HOOFDSTUK

2 Uitvoering

De uitvoering van het onderhavige project bestaat uit een standaardopzet die van toepassing is op alle fotovluchten die worden uitgevoerd door ARCADIS.

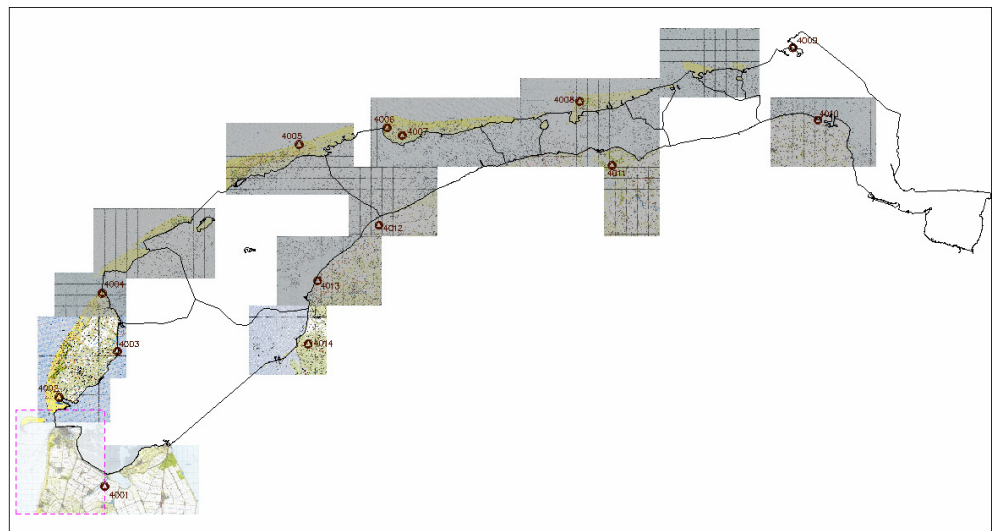
Deze opzet bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Paspunten plannen, signaliseren en meten
2. Fotovlucht uitvoeren
3. Fotovlucht verwerken
 - Scannen van analoge opnamen of processen van digitale opnamen
 - Verwerken van de GPS gegevens
 - Inpassing van de foto's in het lokale coördinatenstelsel (triangulatie)
 - Onthoeking van de foto's door middel van een hoogtemodel.
4. In dit specifieke project is er een extra slag noodzakelijk om de areaalberekeningen uit te voeren: automatische segmentatie en classificatie
5. Aflevering

2.1

PASPUNTEN EN VliegPLAN

Om de luchtfoto's te kunnen inpassen in het lokale coördinatenstelsel, in Nederland geldt het Rijksdriehoekstelsel, moet er een relatie bestaan tussen de positie van meerdere punten in de foto en de corresponderende positie in het lokale coördinatenstelsel. Om dit te bewerkstelligen worden punten, de zogeheten paspunten, gemarkeerd in het terrein die met behulp van landmeetkundige apparatuur worden ingemeten.



Overzichtkaartje van de ligging van de paspunten

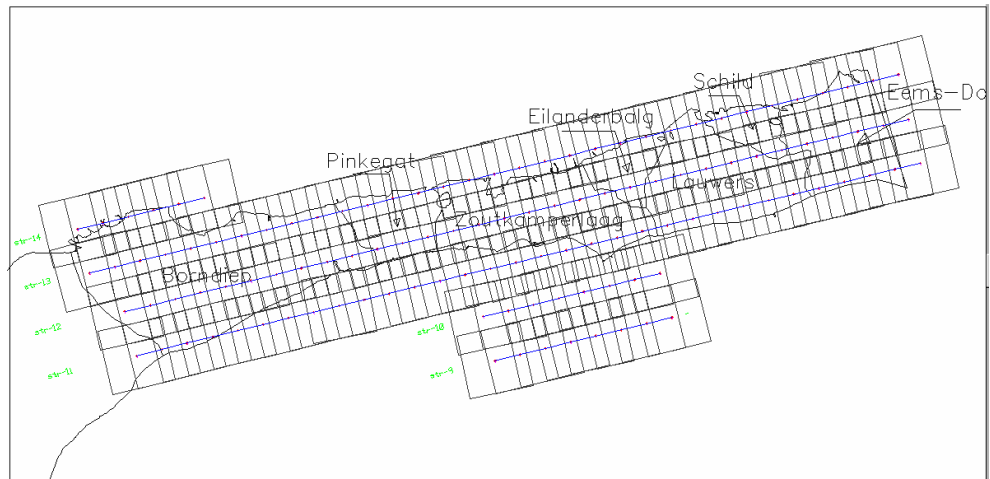
In het onderhavige project zijn nog voor de eerste fotovlucht van 1 april 2007 14 paspunten gelegd en ingemeten. Op het eiland Borkum zijn tijdens het leggen van de paspunten nog 3 natuurlijke paspunten extra ingemeten.

Naast de paspunten is gebruik gemaakt van topografische bestanden (Top10 vector en Top25 raster) om extra paspunten uit de kaart en foto's te gebruiken.

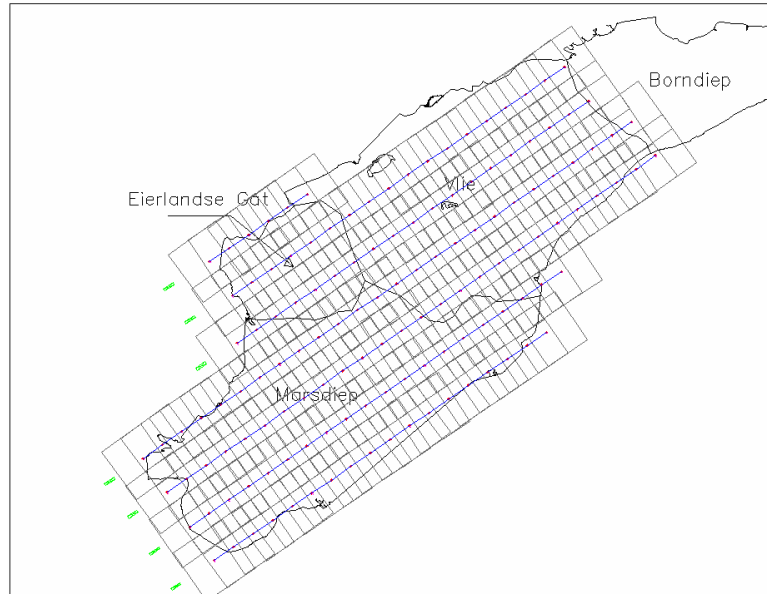
Het vliegplan is verdeeld in 2 gebieden: west en oost. De vliegstroken bedekken het gebied in de richting oost/west. Hierdoor konden de paspunten worden vervaardigd op de eilanden. De foto's worden genomen met 30% dwarsoverlap en 60% in de langsrichting. Voor beide gebieden is afgesproken dat de fotovlucht begonnen wordt met de meest noordelijke strook.

De fotovlucht zelf duurt per deelgebied ongeveer 45 minuten. Per strook komt daar nog eens ongeveer 6 minuten bij, resulterend in een vluchtduur van 90 minuten voor gebied west en van 60 minuten voor gebied oost. Het is noodzakelijk om tijdens de vlucht de snelheid en/of de bochten aan te passen zodat men de duur van de fotovlucht kan afstemmen op de beschikbare tijd, welke wordt begrensd door de momenten waarop de gewenste waterstand wordt bereikt.

Op verzoek van de NAM is het vliegplan uitgebreid met 2 vliegstroken. Hierdoor is het Lauwersmeer ook volledig bedekt met luchtfotografie. Van dit gebied zal alleen orthofotomozaiek worden vervaardigd en geen classificatie.



Overzicht ligging opnamen gebied Waddenzee oost.



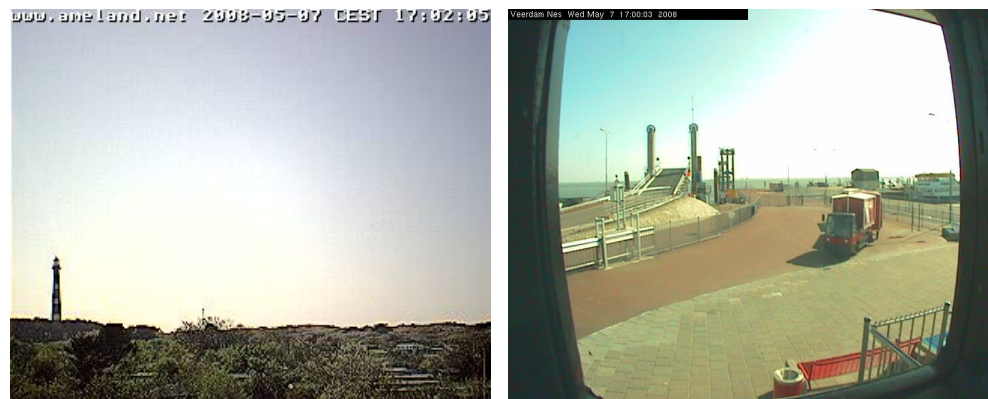
Overzicht ligging opnamen gebied Waddenzee west

2.2

FOTOVLUCHT 7 MEI 2008

Na de winter periode waar de zonnestand te laag is volgde een voorjaar met heel veel bewolking. Op 7 mei 2008 was de eerste mogelijkheid om een fotovlucht uit te voeren. Omdat de tijden van de laagwaterstanden elkaar overlappen was het niet mogelijk om de beide gebieden te fotograferen. Indien een dergelijke situatie zou voordoen was vooraf afgesproken met de NAM dat dan alleen het oostelijke gedeelte zou worden gefotografeerd.

De weerssituatie is tegenwoordig goed te volgen met beelden van webcams van diverse weerstations die worden aangeboden op het internet.



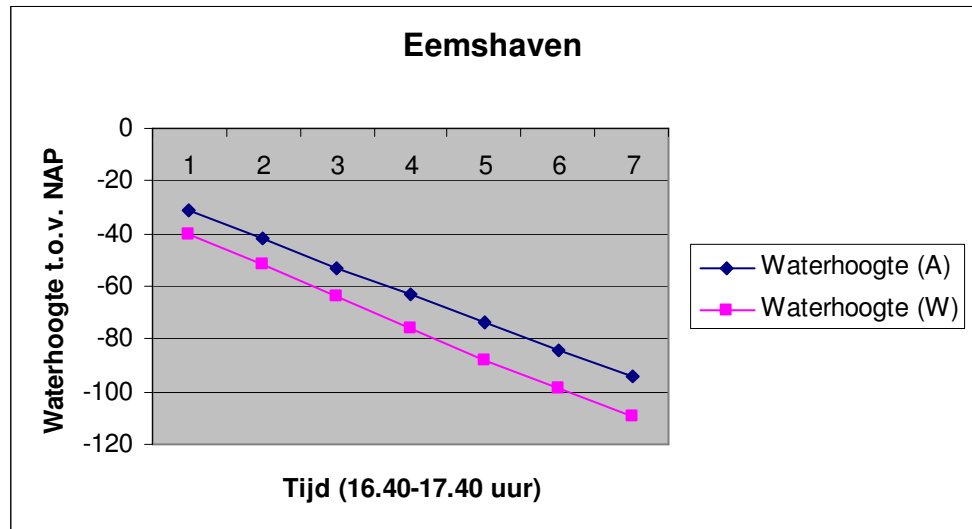
Webcam Ameland (links) en webcam Nes (rechts)

Voor het oostelijke gedeelte voorspelde het astronomische getij een waterstand van -100 cm bij Nes om 16.54 uur en voor Eemshaven om 17.46 uur.

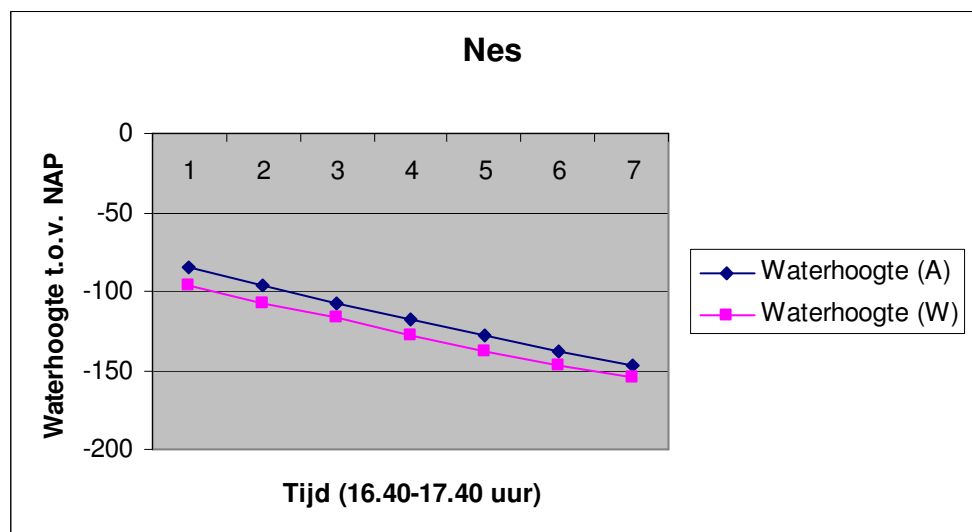
Met behulp van het Multi Functioneel Presentatie Station (MFPS) programma van Rijkswaterstaat werd de verwachting voor de juiste waterstanden geschat op 16.44 en 17.33 uur. Na alle toestemmingen en procedures zijn de opnamen voor het oostelijke gedeelte

gestart om 16.44 uur en is strook 3 geëindigd om 17.31 uur. Op deze tijden waren de werkelijke waterstanden bij Nes en later bij Eemshaven -100cm.

De vergelijking tussen de astronomische en werkelijke waterstanden tijdens de vlucht is als volgt:



Astronomische waterhoogte t.ov. NAP (A) en werkelijke waterhoogte t.o.v NAP voor meetstation Eemshaven gedurende de vlucht van 7 mei 2008.



Astronomische waterhoogte t.ov. NAP (A) en werkelijke waterhoogte t.o.v NAP voor meetstation Nes gedurende de vlucht van 7 mei 2008.

2.3

FOTOVLUCHT 8 MEI 2008

Op 8 mei 2008 is het westelijke gedeelte gefotografeerd. De tijd tussen de waterstanden van Vlieland haven en Harlingen was te groot om volgens het standaard vliegplan te vliegen. Door heel langzaam te vliegen en ruim de bochten te nemen zou de vliegtijd passen met de voorspelde tijden van de waterstanden. Het is niet mogelijk om extra bochten te vliegen om

zo meer tijd te overbruggen omdat dan de fotografie onderling te veel verschilt en zo geen goede matching geeft voor de orthofoto.

Het astronomische getij voorspelde voor het westelijke gedeelte een waterstand van -80 cm bij Vlieland haven om 16.08 uur en bij Harlingen om 18.20 uur.

Met behulp van het MFPS programma werd de verwachting voor de juiste waterstanden geschat op 16.02 en 18.07 uur.

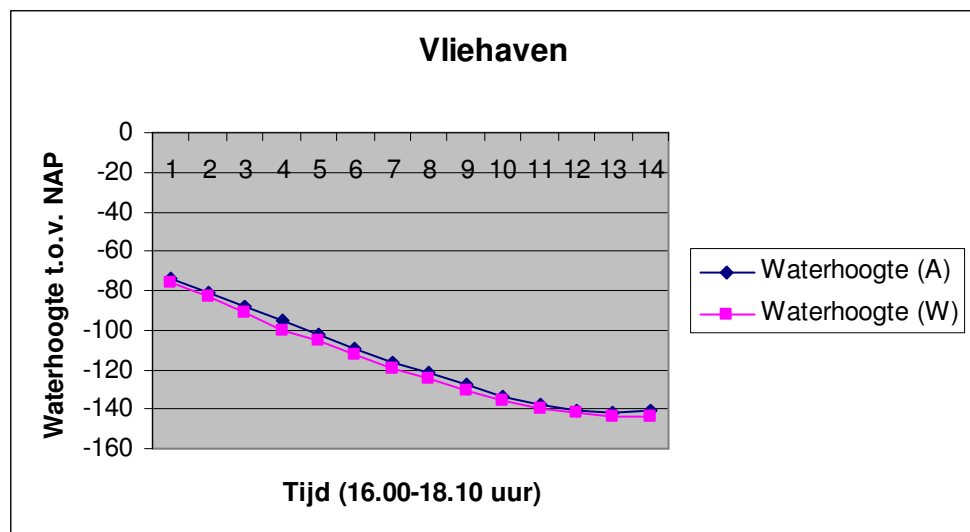
De opnamen voor het westelijke gedeelte zijn gestart om 16.01 uur en zijn geëindigd om 18.07 uur.

Door een plotselinge onverwachte wijziging van het getij had uiteindelijk de opnamen moeten worden opgenomen van 16.06 tot 18.00 uur.

De werkelijke waterstanden op het moment van de vluchtuitvoering waren:

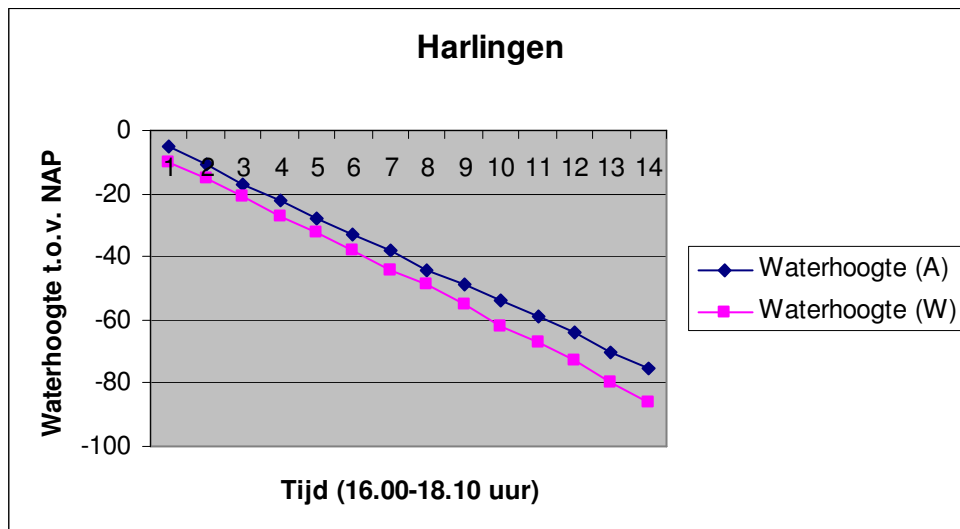
- -77 cm bij Vlieland haven
- -84 cm bij Harlingen

De vergelijking tussen de astronomische waterstanden en werkelijke waterstanden tijdens de vlucht is als volgt:



Astronomische waterhoogte t.ov. NAP (A) en werkelijke waterhoogte t.ov. NAP voor meetstation Vliehaven gedurende de vlucht van 8 mei 2008.

Door de zeer lage vliegsnelheid heeft het vliegtuig een grote hellingshoek naar achteren gehad. De gyroscoop is hierdoor buiten zijn tolerantie gekomen. Hierdoor is halverwege de eerste strook de opnamevervaardiging geblokkeerd. Na constatering werd de gyroscoop hersteld in de bocht en de snelheid werd iets verhoogd. Besloten werd om toch door te gaan met het project. Een herstart van het vliegproject was niet mogelijk omdat dan de waterstanden te veel zouden verschillen. Ook de vooruitzichten om de komende dagen dit gebied opnieuw te kunnen fotograferen waren niet gunstig omdat het getij alleen maar later zou worden.



Astronomische waterhoogte t.ov. NAP (A) en werkelijke waterhoogte t.o.v NAP voor meetstation Harlingen gedurende de vlucht van 8 mei 2008.

Het vliegtuig dat is gebruikt is de tweemotorige Piper PA-31-350 "Chieftain" met registratienummer PH-OTH.



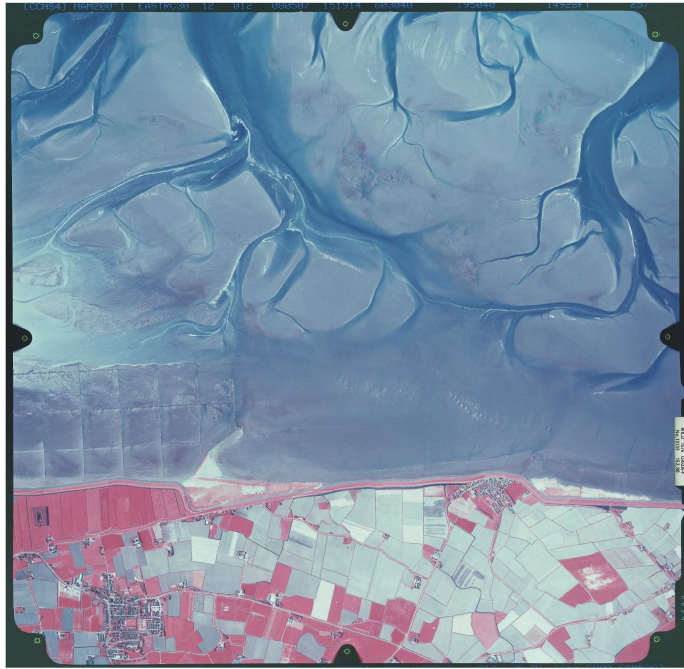
PH-OTH

De opnamen zijn vervaardigd met een analoge fotogrammetrische camera Leica RC30 met een lens (nummer 13135) die een brandpuntsafstand heeft van 153 mm.



De RC30 gemonteerd in het vliegtuig

De opnamen zijn gemaakt op Kodak Color Infra Red film.



Voorbeeld van foto 8134

Tijdens elke opname wordt nauwkeurig de positie (GPS) en bewegingen (INS) van het vliegtuig vastgelegd.

2.4

FOTOVLUCHT VERWERKING

Het proces van verwerken bestaat uit de volgende deelactiviteiten:

1. Ontwikkelen en scannen van de luchtfoto's
2. Verwerken van GPS en INS gegevens
3. Inpassing (triangulatie) van de luchtfoto's in het Rijksdriehoekstelsel (RD)
4. Onthoeking van de luchtfoto's
5. Classificatie van de luchtfoto's voor de areaalbepaling

2.4.1

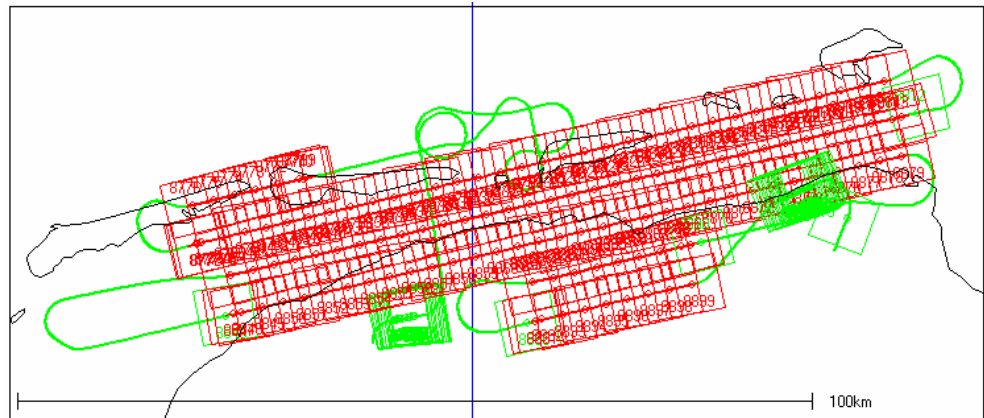
ONTWIKKELEN EN SCANNEN LUCHTFOTO'S

Op verzoek van de NAM is deze fotovlucht uitgevoerd met analoge kleur infrarood film. Spectraal gezien worden de kleuren banden infrarood, rood en groen opgenomen. De film is ontwikkeld conform specificaties van de fabrikant. Daarna wordt de film gescand met een Zeiss/Intergraph PhotoScan TD scanner in de kleuren rood, groen en blauw zodat de informatie afgebeeld kan worden op een computerscherm (RGB). De scanresolutie is 14 μ m. De digitale beelden worden opgeslagen op externe harddisk. Hierdoor zijn de digitale foto's bruikbaar voor verdere verwerking.

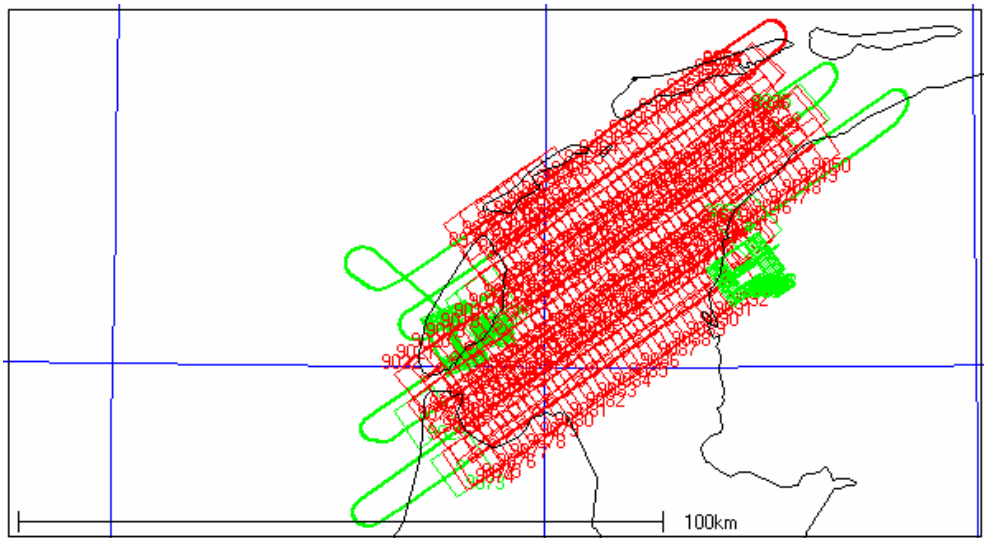
2.4.2

VERWERKING GPS EN INS GEGEVENS

Met behulp van GPS en INS zijn tijdens de vlucht de posities van de opnamen met een nauwkeurigheid van enkele centimeters vastgelegd. Deze meetgegevens worden gebruikt bij het triangulatieproces. Voor de visualisatie van het gevolgde traject zijn de X,Y, Z en tijdsgegevens van beide vluchten geleverd aan de NAM.



Overzichtskartaal met het werkelijk gevlogen traject deelgebied oost



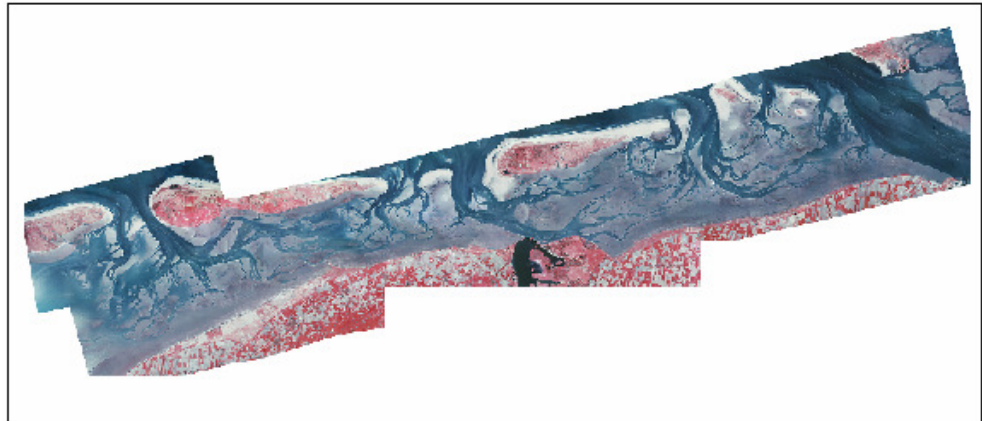
Overzichtskartaal met het werkelijk gevlogen traject deelgebied west

2.4.3

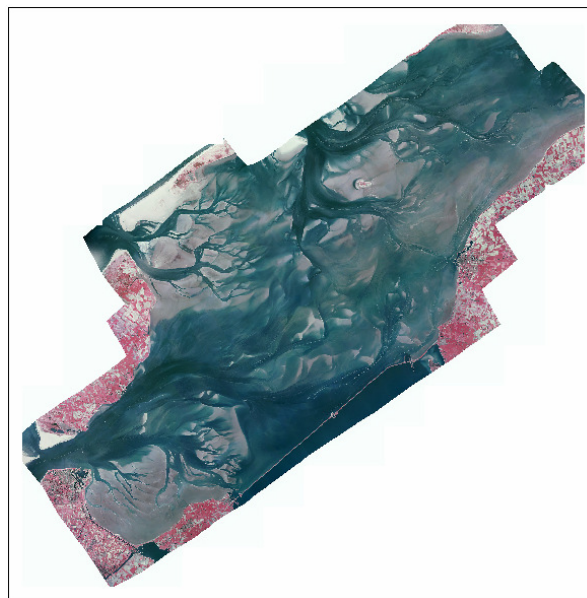
TRIANGULATIE EN ORTHOFOTO PRODUCTIE

Tijdens de triangulatie worden de foto's gepositioneerd in het RD stelsel. Dit gebeurt door de semi-automatische triangulatie software MATCH-AT. Om de losse foto's aan elkaar te rekenen moeten er eerst verbindingpunten tussen de foto's gevonden worden. Dit gebeurt automatisch door het zoeken van corresponderende punten in overlappende foto's, door middel van grijswaarde matching.

Met de gegevens zoals verkregen uit de triangulatie berekening worden de verwerkte digitale beelden gegeoreferereerd. Met andere woorden: de foto die in centrale projecties opgenomen is op 4500 meter hoogte wordt getransformeerd zodat deze op het maaiveld niveau komt te liggen. Het eind resultaat is een ortho in Rijksdriehoek coördinaten.



Gebied Oost als compleet orthofotomozaiek



Gebied West als compleet orthofotomozaiek

2.4.4

SEGMENTATIE EN CLASSIFICATIE

Er zijn verschillende beeldbewerkingmethoden om een thematische kaart met (landgebruik) klassen te maken vanuit luchtfoto's. Traditionele methoden omvatten onder andere pixelgebaseerde classificaties op basis van bijvoorbeeld het zogenaamde maximum-likelihood algoritme in beeldverwerkingspakketten als ERDAS-Imagine of ENVI. Hierbij wordt voor elke pixel in een bestand bepaald tot welke klasse het behoort, op basis van vooraf bepaalde parameters d.m.v. training areas. Nadeel aan dergelijke methoden is het feit dat alleen individuele pixels worden beschouwd, en niet de relatie tot de omgeving waarin vorm en structuur ook een belangrijke rol spelen.

Bovenstaande nadelen zijn te ondervangen door gebruik te maken van segmentatie technieken. Segmentatie is het opdelen van bestanden in logische segmenten, waarbij elk segment overeenkomstige intrinsieke eigenschappen kent. Deze intrinsieke eigenschappen zijn kleur (bijv. R, G, B en nabij-infrarood); textuur (patronen, structuren) en vorm (rond, vierkant, etc.). Wanneer een beeld eerst wordt gesegmenteerd in dergelijke logische eenheden en vervolgens wordt onderworpen aan een classificatie naar klassen, wordt over het algemeen een beter (nauwkeuriger) resultaat geboekt. Dit komt omdat de contextuele informatie van objecten wordt meegenomen in de procedure.

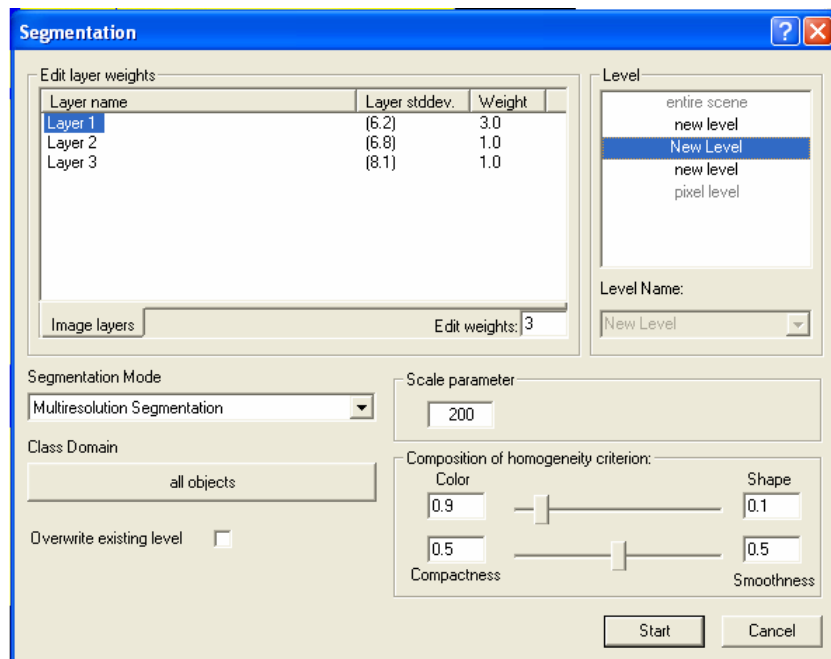
Definiens Professional LDH (Large Data Handling) is gebruikt om bovenstaande methode toe te passen. Zowel segmentatie als aansluitende classificatie is met deze software uitgevoerd. In de volgende paragrafen wordt een beschrijving gegeven van de diverse onderdelen van de segmentatie en classificatie procedure.

Bij de keuze van de methode is zoveel mogelijk getracht om de methode inzichtelijk, transparant, herhaalbaar en automatisch te maken, met het oog op de halfjaarlijkse herhaling van de vluchten en het maken van de kaarten. Het is de bedoeling om middels deze methode trends in mogelijke oppervlakte verschuivingen tussen oppervlaktes land en water zo nauwkeurig en objectief mogelijk te meten.

2.4.5

SEGMENTATIE

Voor de segmentatie zijn de G, R, NIR (Groen, Rood, Nabij-InfraRood) beelden gebruikt. Definiens kan meerdere lagen (zoals G, R, NIR) tegelijk lezen en ook gebruiken, de zogenaamde multiresolutie segmentatie. Dit betekent dat de informatie van iedere laag wordt meegenomen in het bepalen van de segmenten. Er zijn een aantal parameters, dat kan worden ingesteld voor de multiresolutie segmentatie procedure. Onderstaand figuur laat zien welke instelling zijn gebruikt voor de huidige beelden.

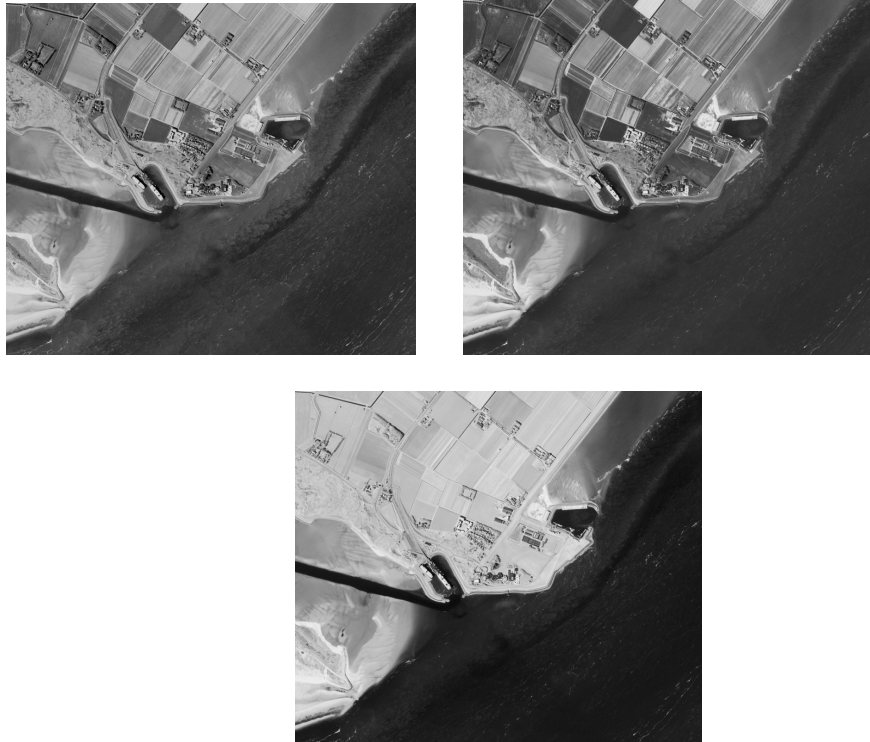


Instellingen multiresolutie segmentatie in Definiens.

Een van de belangrijkste parameters om in te stellen is de "schaal". Dit is een maat voor de grootte van de objecten uit de segmentatie. Een te grote schaalfactor zorgt voor een *laag* aantal *grote* objecten, waardoor de kans bestaat dat een enkel object meerdere klassen overlapt. Een te kleine schaalfactor zorgt voor een *hoog* aantal *kleine* objecten, waardoor het gevaar bestaat dat logische landgebruiksklassen te veel zijn onderverdeeld.

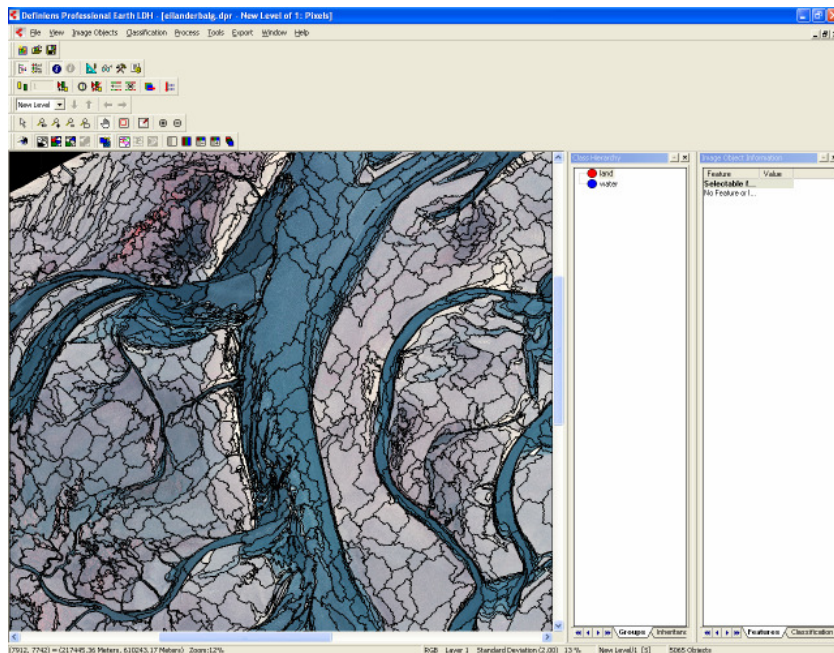
Bij de instellingen kan ook worden gekozen om een of meerdere lagen een groter gewicht te geven in het bepalen van de segmenten dan andere lagen. Dit kan nuttig zijn als er lagen zijn waarvan kan worden aangenomen dat deze een duidelijk onderscheidend vermogen hebben voor een bepaald doel met het oog op de classificatie. Het nabij-infrarode kanaal is bij uitstek geschikt voor onderscheid tussen land en water, omdat juist water oppervlaktes

als zeer donker worden waargenomen. Onderstaande figuur laat het verschil zien in onderscheidend vermogen tussen het groene, rode en nabij-infrarode kanaal.



Onderscheidend vermogen van de groen (linksboven), rood (rechtsboven), en nabij-infrarood (middenonder) kanalen met betrekking tot water. (komgebied Marsdiep).

Het nabij-infrarode kanaal krijgt in de procedure daarom het gewicht 3, tegen gewicht 1 voor het groene en rode kanaal.



Segmentatie van komgebied Eilanderbalg

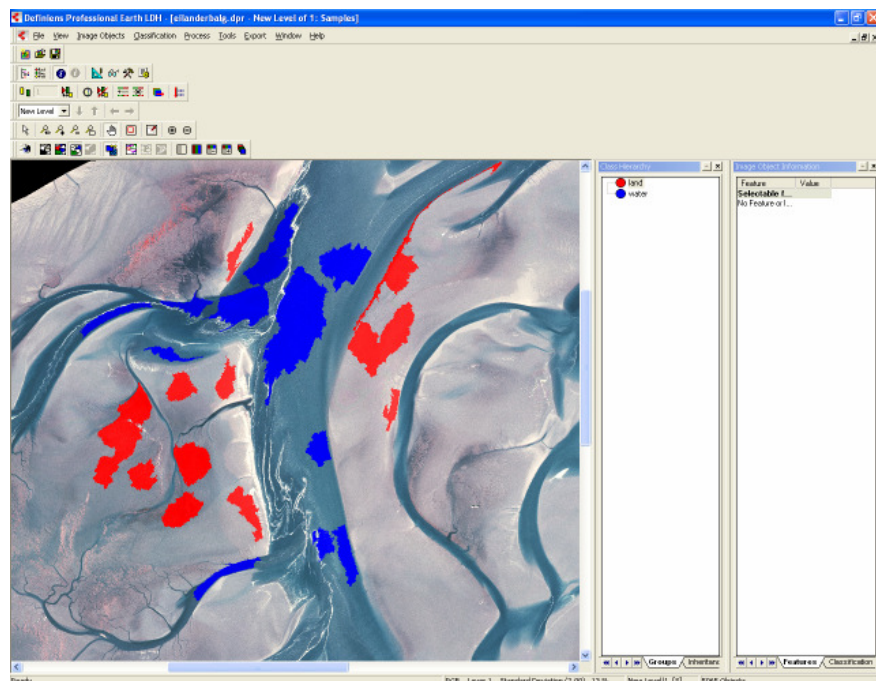
Het aantal segmenten per komgebied verschilt van enkele duizenden voor de kleinere komgebieden (Schild en Eilanderbalg), tot ongeveer 50.000 voor de grootste (Marsdiep en Vlie). Bovenstaande figuur laat de het resultaat van de segmentatie van komgebied Eilanderbalg zien.

2.4.6

CLASSIFICATIE

Classificatie is het indelen van de segmenten (volgende uit de segmentatie) naar landgebruiksklassen, te weten: land en water. Voor de classificatie zijn in eerste instantie trainingsgebieden aangewezen voor beide klassen, op basis waarvan de rest van de segmenten wordt ingedeeld. Het aanwijzen van traininggebieden gebeurt op basis van visuele inspectie van de gesegmenteerde beelden. In vele gevallen is het gemakkelijk om aan te wijzen waar land en water is. Water wordt gekenmerkt door kleur (blauw), structuur (heterogeen door o.a. golf patronen) en de aanwezigheid van boten. Land wordt gekenmerkt door kleur (licht, wit) en structuur (homogeen).

De trainingsgebieden dienen zo gekozen te worden, dat een representatieve selectie van zowel land als water gebieden wordt meegenomen. Dat wil zeggen dat moet worden geprobeerd om binnen elke klasse een range van samples te selecteren met verschillende waardes. Binnen de klasse water moeten bijvoorbeeld zowel diepe (donker) als ondiepe (lichtere tint) gebieden worden geselecteerd. Het selecteren van de samples gebeurt eenvoudig door het aanwijzen van segmenten uit de bovengenoemde segmentatie procedure. Hieronder is het resultaat van de selectie van trainingsgebieden te zien. De locaties van alle training samples worden digitaal opgeslagen (in een geotiff), zodat voor een volgende keer deze kunnen worden gebruikt, om een zo consistent mogelijke procedure te waarborgen.

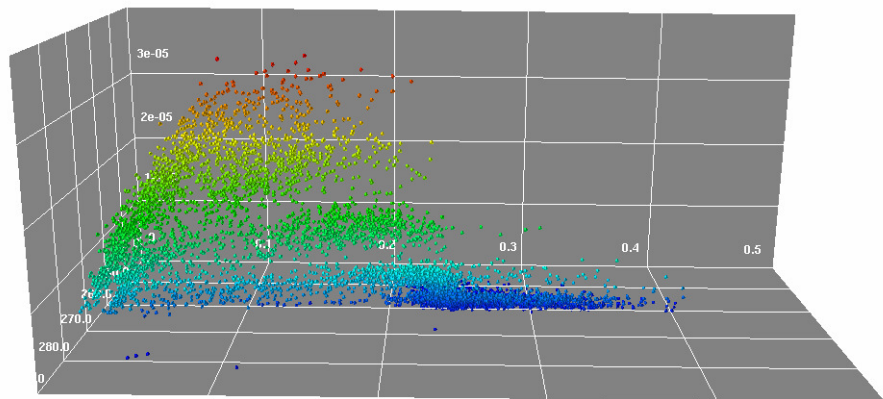


Selectie van training samples (komgebied Eilanderbalg). Blauw is water en rood is land.

De waardes van de pixels binnen de trainingsgebieden kunnen per klasse worden uitgedrukt in een zogenaamde feature space. Dit is een driedimensionale grafiek waarin

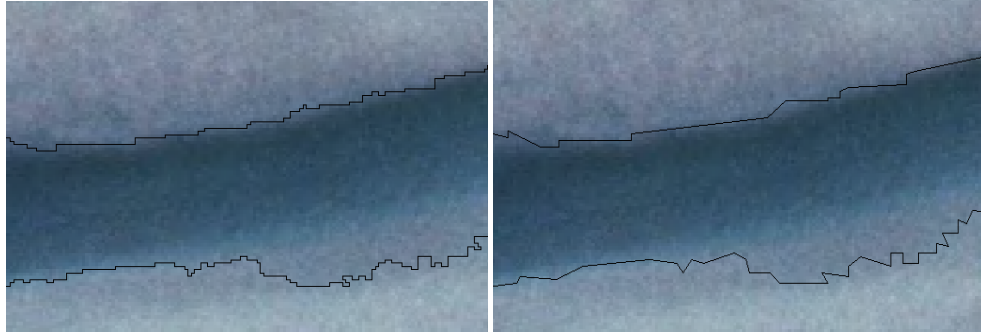
Iedere pixel met de waarden voor groen, rood en nabij-infrarood geplote kan worden. Iedere klasse (land en water) neemt zo een eigen gebied (cluster) in de feature space.

De classificatie wordt gedaan in Definiens door per segment te kijken naar de afstand van het te classificeren segment tot elke cluster in de feature space. De kortste afstand bepaald de klasse waartoe het segment wordt ingedeeld. Deze manier van classificeren wordt het zogenaamde nearest neighbour principe genoemd. De waarschijnlijkheidswaarden van elk segment m.b.t. de toedeling in klasse land of water wordt tijdens de classificatie opgeslagen per segment. Segmenten die *binnen* de cluster "land" van de training samples vallen krijgen waarde 1 voor klasse land en 0 voor klasse water. In dit geval is het duidelijk dat het segment als "land" zal worden geclassificeerd. In andere gevallen zullen segmenten zich buiten de clusters land en water van de training samples feature space bevinden. In deze gevallen geldt dat de afstand tot de beide clusters de waarschijnlijkheidswaarde bepalen. Een segment dat iets dichterbij de cluster "land" in de feature space zit dan bij de cluster "water" zal voor land bijvoorbeeld 0.75, en voor water de waarde 0.25 krijgen.



Voorbeeld van een 3D feature space van de een aantal geselecteerde training samples. De punten in de grafiek zijn waarden van de pixels in de training segmenten. De x, y en z as staan voor de groen, rood en nabij-infrarood band. De blauwe cluster kan bijvoorbeeld water zijn, en de groene cluster land

De resultaten van de classificatie worden weggeschreven naar een shapefile, waarbij alle segmenten inclusief de attributen klasse en waarschijnlijkheid worden meegenomen. Tijdens het wegschrijven van de polygonen is gekozen voor "polygoon smoothing". De normale modus voor het wegschrijven van de polygonen is het blokkige patroon dat ontstaat doordat de lijnen simpelweg de vierkante pixels volgen. Door de polygonen te smoothen, ontstaan natuurlijkere grenzen.



Normale polygonen (links), en polygonen na smoothing (rechts), Komgebied Schild.

Met behulp van de eerder genoemde waarschijnlijkheids waarden per segment wordt na de classificatie een statistische analyse gedaan. Definiens beschikt over dergelijke “nauwkeurigheidsbepaling” tools middels de “classification stability”, “best classification result” en “error matrix based on samples”. Van ieder van deze 3 nauwkeurigheidsbepaling tools wordt een kort rapportje uitgedraaid in de vorm van een *.csv file welke kan worden ingelezen in Excel. In de nauwkeurigheidsbepaling staan samenvattingen van het gemiddelde, minimum, maximum, standaard deviatie per klasse, evenals een analyse van de best mogelijke classificatie, en een vergelijking tussen de aangewezen training samples en de uiteindelijke classificatie van deze samples.

2.4.7

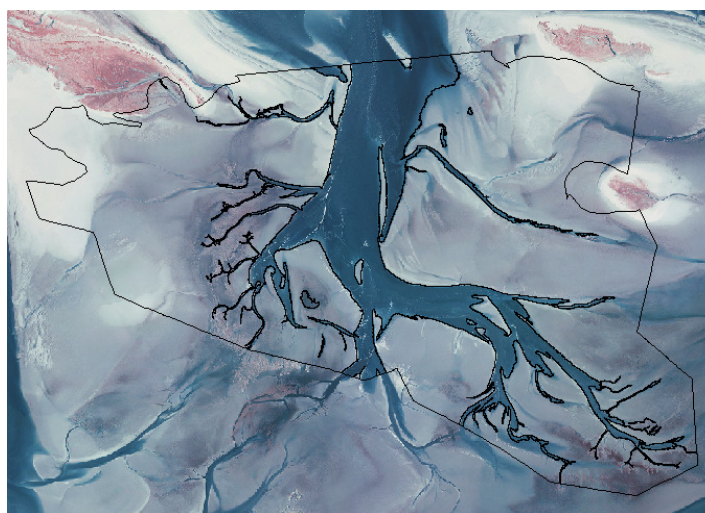
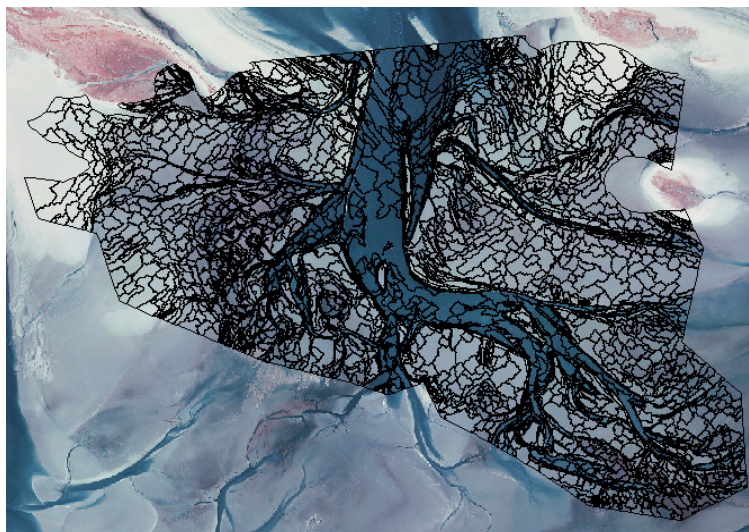
BEREKENING AREAAL LAND EN WATER

De shapefiles met smoothed polygonen worden vervolgens per komgebied geladen in een GIS verwerkingspakket (ArcView / ArcGIS). De eerste handeling is een handmatige controle van de resultaten. Een veel voorkomende anomalie is het voorkomen van schuimkoppen in het water oppervlakte die als land worden geclassificeerd vanwege de witte kleur. Deze worden eenvoudig handmatig veranderd naar water (zie onderstaande figuur).



Schuimkoppen op het water (links), en shapefile voor (midden) en na (rechts) handmatige aanpassingen (komgebied Schild).

Wanneer de handmatige controle en aanpassingen zijn voltooid, worden alle segmenten met dezelfde klasse geclusterd. Het resultaat is een shapefile met twee polygonen voor water en land. Hierna worden per klasse (polygoon) de arealen bepaald, welke worden toegevoegd aan de attribuuat velden van de shapefile.



Shapefile voor (boven) en na (onder) clustering (komgebied Schild).

De attribuut velden "oppervlakte" van de shapefile (als *.dbf file) kunnen gemakkelijk in Excel worden geïmporteerd en per komgebied naast elkaar worden gezet. Op deze manier ontstaat een overzicht van de oppervlaktes aan water en land per komgebied (zie bijlage 1 voor de kaarten en bijlage 2 voor de tabel).

2.4.8

AREAAL BEREKENINGEN

Na de classificatie wordt voor de klasse land/water per kombergingsgebied een oppervlakte berekend.

OOST: OPPERVLAKTEN VOORJAAR 2008

Komberging	Opp. Land 07-05-2008 km2 (III)
Borndiep	170,96
Pinkegat	47,06
Zoutkamperlaag	102,78
Eierlanderbalg	30,51
Lauwers	102,96

Schild	24,83
Eems Dollard	47,36

WEST: VERGELIJKING OPPERVLAKTEN VOORJAAR 2008

	Opp. Land 08-05-2008 km2 (IV)
Komberging	
Marsdiep	155,46
Vlie	153,74
Eierlandse Gat	101,33

Bij de vergelijking zijn alle kombergingsgebieden van beide vluchten middels een visuele inspectie gecontroleerd op de classificatie van land- en watergebieden.

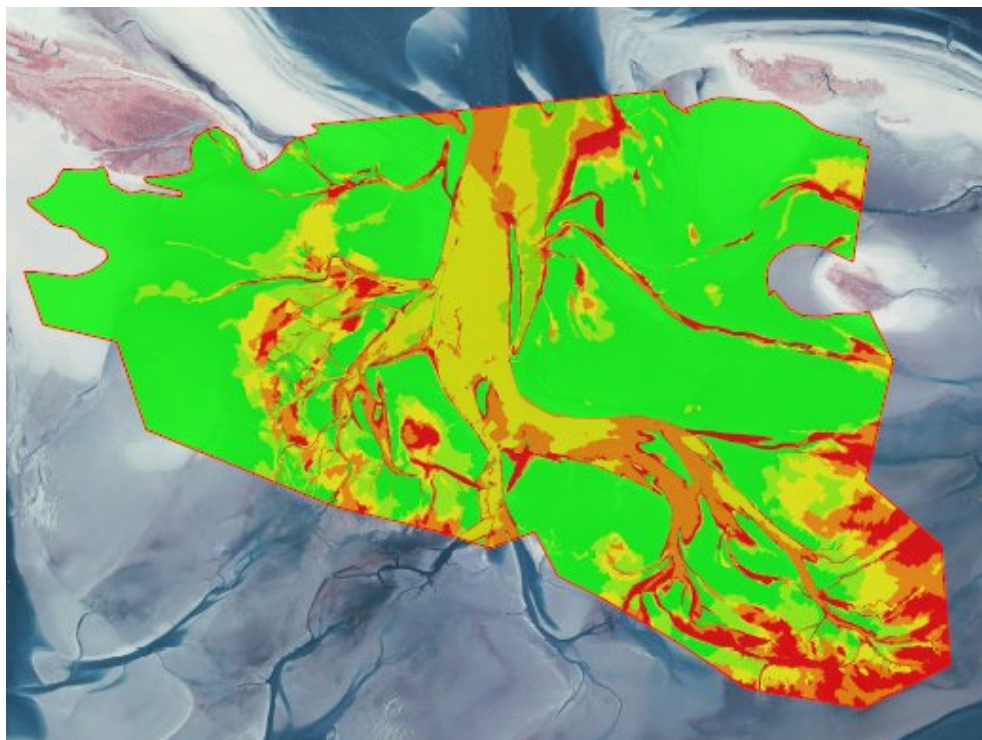
2.4.9

ROBUUSTHEIDANALYSE

De robuustheid van de classificatie is voor elke kombergingsgebied als kaart weergegeven in bijlage 3. De nauwkeurigheid van de classificatie wordt bepaald door de waarschijnlijkheidswaarde van de twee klassen op elkaar te delen, middels de volgeden formule:

$$P = ABS \left[\frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2} \right]$$

Met P als robuustheidindex, ABS als absolute waarde, p1 als waarschijnlijkheidswaarde van klasse 1 (land) en p2 als waarschijnlijkheidswaarde van klasse 2 (water). De waarde van P variëren tussen de 0 en 1, waarbij de waarde 0 weinig onderscheid tussen de twee klassen en de waarde 1 veel onderscheid geeft tussen de twee klassen. Uit de kaarten valt op te maken dat vooral aan de randen van de kombergingsgebieden (op de waterscheiding) en in geulen met veel water gevuld met slib lastig onderscheid te maken is tussen beiden klassen. Een voorbeeld van een dergelijke robuustheidskaart is hieronder weergegeven.



Robuustheidskaart van het gebied Schild. Groen geeft hoge robuustheid weer, rood geeft lage robuustheid weer.

HOOFDSTUK

3

Discussie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de verschillen die zijn op te merken uit de resultaten van de verschillende analyses. De vluchten zijn onder verschillende omstandigheden uitgevoerd met onderstaande kenmerken:

Vlucht 1 (7 mei 2008):

- Gevlogen met analoge CIR camera (kleuren infrarood)
- Alleen Oost gevlogen
- Classificatie automatisch uitgevoerd inclusief robuustheidsanalyse

Vlucht 2 (8 mei 2008):

- Gevlogen met analoge CIR camera (kleuren infrarood)
- Alleen West gevlogen
- Classificatie automatisch uitgevoerd inclusief robuustheidsanalyse

3.1.1

DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN VLUCHTEN

Een deel van komberging Vlie is niet opgenomen vanwege een technisch mankement. In deze vluchten zijn enkel en alleen CIR beelden gebruikt. De CIR beelden hebben voor classificatie beduidend meer onderscheidend vermogen dan de digitale infrarood beelden (NIR), welke bij de eerste vlucht zijn gebruikt.

Onze aanbeveling voor de hierop volgende vluchten is dan ook:

- Het gebruik van CIR beelden voor de segmentatie en classificatie zal leiden tot goede classificatie resultaten, omdat deze beelden contrastrijker zijn dan RGB beelden. Dit houdt in dat een grotere discriminatie mogelijk is tussen water- en landobjecten.

3.1.2

DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN BESTANDSGROOTTE

Er is gekozen voor een pixelgrootte van 45cm om voldoende detailinformatie te kunnen genereren. Met deze pixelgrootte worden de uiteindelijke orthofoto's voor beide gebieden ongeveer 100 Mb groot; gebied west: 60Gb in 26 bestanden, gebied oost: 40 Gb in 18 bestanden. De kombergingsgebieden bestaan uit meerdere bestanden. Voor de grote kombergingsgebieden Borndiep, Vlie en Marsdiep kan de segmentatie en classificatie software de grote bestanden niet aan en zijn de kombergingsgebieden in stukken geknipt en apart verwerkt en achteraf weer samengevoegd. Om de snelheid van verwerking te verhogen kan het zinvol zijn de resolutie van de beelden, tijdens het segmentatie en classificatie proces, te reduceren naar pixels van bijvoorbeeld 90cm. Hierdoor wordt een

factor 4 minder data verkregen waardoor de grote kombergingsgebieden in zijn geheel kunnen worden verwerkt. Nadere tests zijn hiervoor nodig om te bekijken wat het resultaat van deze reductie is op het eindresultaat. Naast een versnelling van de uitwerking heeft het gebruik maken van een lagere resolutie een positief effect op de consistentie van de classificatie omdat een consistente set van trainingsgebieden per komberging gebruikt wordt.

Onze aanbeveling voor de hierop volgende vluchten is dan ook:

- Het gebruik van lagere resolutie beelden voor de segmentatie en classificatie zal leiden tot snellere en eenduidige classificatie resultaten. Nader onderzoek is gewenst om het effect van deze reductie te analyseren.

3.1.3

DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN SEGMENTATIE EN CLASSIFICATIE

De segmentatie en classificatie van de luchtfoto's is uitgevoerd met behulp van het software pakket Definiens. Dit in tegenstelling tot de tweede vlucht toen de classificatie handmatig is uitgevoerd. In de voor deze vlucht uitgevoerde classificatie is daarnaast aandacht besteed aan het kwantificeren van de onzekerheden die een dergelijke segmentatie en classificatie met zich meebrengen, deze worden behandeld in 3.1.4. Nadere bestudering van de door Definiens gehanteerde methodiek leert dat Definiens een aantal parameters kan berekenen die de kwaliteit van de oplossing beschrijven. Daarnaast is aandacht besteed aan de werkwijze van segmenteren en classificeren. Allereerst is de segmentatie uitgevoerd waarbij gebieden met een zelfde homogeniteit worden samengevoegd. Op basis van deze homogene gebieden worden trainingsgebieden aangewezen, dit zijn gebieden waarbij de operator aangeeft of het land of water betreft. Op basis van deze trainingsgebieden wordt de classificatie uitgevoerd. Om eenduidigheid van methode na te streven verdient het aanbeveling bij de volgende vluchten zoveel mogelijk dezelfde trainingsgebieden te gebruiken. Uiteraard kunnen de trainingsgebieden qua structuur veranderen onder andere door verschuivingen in de land/water overgangen. Daarom moet bij de selectie van de trainingsgebieden de stabiliteit van een gebied mee worden genomen.

Onze aanbevelingen voor de hierop volgende vluchten zijn dan ook:

- De kwaliteit van de classificatie kan geborgd worden door het toepassen van een objectievere methode van classificeren. Het strekt tot aanbeveling om zoveel mogelijk gebruik te maken van een segmentatie algoritme met vastgestelde parameters, het automatisch classificeren van de beelden en het hergebruiken van zoveel mogelijk dezelfde trainingsgebieden.
- Het gebruik van kennis van het waddengebied, het herkennen van structuren en patronen en informatie van voorgaande vluchten zorgen voor een verbetering van de classificatie resultaten.

3.1.4

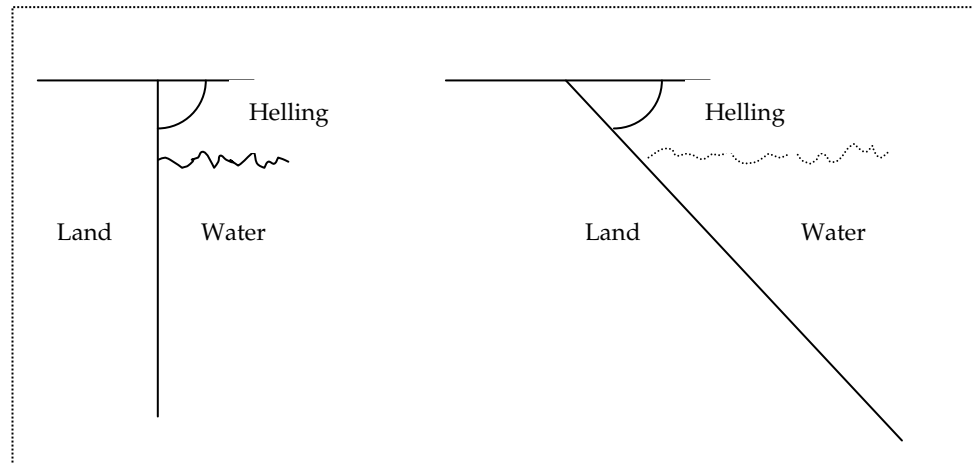
DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN ROBUUSTHEIDANALYSE

Tijdens de classificatie worden er zogeheten waarschijnlijkheidswaarden toegekend aan de polygonen. Deze geven aan of een polygoon in de feature space (zie 2.4.6) als land geclassificeerd moet worden of als water. Op basis van de waarschijnlijkheidswaarden kan een maat voor de robuustheid van de classificatie berekend worden door de formule uit 2.4.9 toe te passen. Dit levert de kaarten uit bijlage 3 op.

Uit deze kaarten valt op dat vooral de watergebieden een lagere robuustheid hebben en dat de scheiding tussen de klassen water en land hier niet robuust genoeg is. Oorzaken hiervoor kunnen zijn:

- De aanwezigheid van golfpatronen, schuimkoppen en boten in het water
- De aanwezigheid van sedimentatie in het water

Daarnaast is de scheiding land/water niet in alle gevallen een scherpe scheiding. De overgangsgebieden tussen land en water zijn vaak groot en het onderscheid tussen droog land, nat land en water is moeilijk te maken.



Mogelijke variaties in overgangen land/water: rechte geul (links) en glijdende geul (rechts)

Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van de bovenstaande simpele tekeningen. Deze tekeningen zijn schematisch opgezet waarbij de helling gebruikt kan worden om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid.

Is de hellingshoek namelijk klein dan is het gebied water op land groot, is de hellingshoek groot dan is het gebied water op land klein. Met andere woorden, de laagste robuustheid wordt bereikt bij gebieden met een lage hellingshoek omdat daar het onderscheid tussen land en water het laagst is. Een aantal voorbeelden:

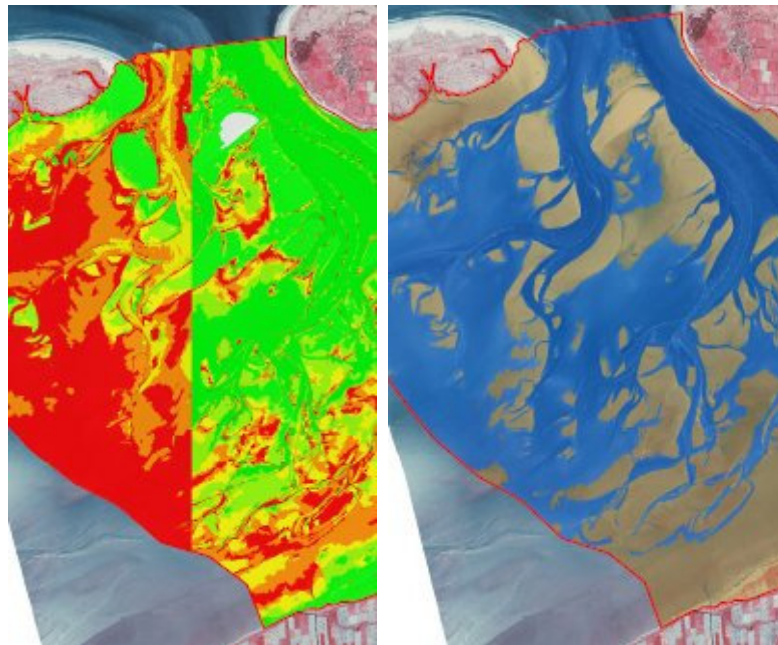
Hellingshoek	Horizontale verplaatsing per 1 m waterdiepte	Horizontale verplaatsing in pixels
90	0	0
80	0,18	0,39
70	0,36	0,81
60	0,58	1,28
50	0,84	1,86
40	1,19	2,65
30	1,73	3,85
20	2,75	6,11
10	5,67	12,60
1	57,29	127,31

Horizontale verplaatsing van de begrenzing land/water als functie van de hellingshoek.

Gebieden die een lage hellingshoek hebben, hebben een grotere kans verkeerd geclassificeerd te worden. Een voorbeeld, stel de hoeveelheid water op land is 20 cm diep en de hellingshoek is 10 graden dan bedraagt de horizontale verplaatsing iets meer dan 2,5 pixel. De complete tabel bij verschillende waterdieptes ziet er als volgt uit:

Hellingshoek	Verschuiving bij 10 cm waterdiepte {pixels}	Verschuiving bij 20 cm waterdiepte {pixels}	Verschuiving bij 50 cm waterdiepte {pixels}	Verschuiving bij 100 cm waterdiepte {pixels}
90	0	0	0	0
80	0,04	0,08	0,20	0,39
70	0,08	0,16	0,40	0,81
60	0,13	0,26	0,64	1,28
50	0,19	0,37	0,93	1,86
40	0,26	0,53	1,32	2,65
30	0,38	0,77	1,92	3,85
20	0,61	1,22	3,05	6,11
10	1,26	2,52	6,30	12,60
1	12,73	25,46	63,66	127,31

Daarnaast zijn vanwege de bestandsgrootte (zie 3.1.3) de kombergingen Borndiep, Vlie en Marsdiep in stukken geknipt en apart verwerkt. Hierdoor zijn in de robuustheidanalyse scheidingen tussen de aparte stukken waar te nemen.



Deel robuustheidskaart Borndiep (links) met scheiding tussen 2 deelstukken en de uiteindelijke classificatieresultaten (rechts)

De oorzaak kan liggen in de keuze van de trainingsgebieden die voor elk deelstuk apart worden geselecteerd. De classificatieresultaten zien er overigens goed uit.

Onze aanbevelingen voor de hierop volgende vluchten zijn dan ook:

- Een analyse naar de methode en nauwkeurigheidsoepaling die Definiens hanteert en de robuustheid van de classificatie moet uitgevoerd worden.
- De keuze van de trainingsgebieden moet geoptimaliseerd worden zodat een homogene, symmetrische robuuste classificatie per komberging ontstaat. Door een vergroting van de rekencapaciteit in combinatie met een verlaging van de resolutie kan de fragmentering van kombergingen worden voorkomen.

3.1.5

DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN GEBRUIK DATA

De dataset die elk halfjaar wordt gegenereerd is bruikbaar voor vele doeleinden. Opnamen bij laag water in deze hoge resolutie zijn vrij zeldzaam. Op basis van de laatste vlucht met CIR opnamen kan geconcludeerd worden dat deze beelden uitermate geschikt zijn om trends in vegetatie waar te nemen. In combinatie met vegetatieveldwerk kan op deze manier waarschijnlijk ook de vegetatieontwikkeling gemonitord worden.

Onze aanbeveling voor de hierop volgende vluchten is dan ook:

- Een onderzoek naar de bruikbaarheid van de beelden voor vegetatiemonitoring uit te voeren.

3.1.6

ALTERNATIEVEN VOOR LUCHTFOTOGRAFIE

In de gesprekken met NAM is een aantal malen gesproken over eventuele alternatieven voor luchtfotografie. Onder andere is gesproken over de inzet van satellietbeelden. Het grote verschil is de flexibiliteit van luchtfotografie om opnamen te maken bij laag water waar satellieten op vaste tijdstippen op de dag overkomen. Het samenvallen van opnamen bij laag water en mooi weer zal slechts sporadisch voorkomen.

Beide manieren hebben allebei mooi, onbewolkt weer nodig om goede opnamen te maken. Voordel van satellietbeelden is dat zij in 1 keer gebieden van 60x60km kunnen opnemen, dit gaat echter ten koste van de resolutie die bij luchtfotografie vele malen hoger kan zijn. Overigens is de huidige pixelgrootte van de luchtfoto's 45 cm, waar de ondergrens van de satellietbeelden op dit moment 60cm is.

Qua opnametechniek maken beide manieren gebruik van centrale projectie waarbij de satellietcamera's digitaal zijn en ook opnamen onder een bepaalde hoek kunnen maken waardoor de kans op zonneshittering toeneemt. Luchtfotografie kan zowel analoog als digitaal opnemen.

Het voordel van sommige satellietbeelden is het grotere spectrale bereik waardoor deze beelden ook bruikbaar worden voor uitgebreidere vegetatiestudies. Bij luchtfotografie is het spectrale bereik beperkt tot het nabij infrarood. Satellietensoren kunnen vaak tot aan het thermisch infrarood gaan.

Een alternatief voor opnamen in het zichtbare licht is het direct meten van terreinhoogten door middel van (airborne) laser scanning (LIDAR). De nauwkeurigheid van LIDAR is echte te laag om de aan de bodemdaling door gaswinning gerelateerde grootschalige veranderingen in de hoogteligging te kunnen meten¹. Een ander alternatief is de meting van deformaties (veranderingen in de hoogteligging) door middel van een tandem van InSAR satellieten. Deze techniek komt eind 2009 operationeel beschikbaar. De standaard PS InSAR aanpak kan op de Waddenzee niet worden toegepast.

¹ RWS-AGI: laseraltimetrie voor kwelder morfologie. 1 juni 2005. AGI rapportnummer: AGI-2005-GPMP-014

HOOFDSTUK

4 Conclusies

De procedure voor het uitvoeren van de fotovlucht is na de vorige vluchten aangepast en heeft bewezen te werken. Het vergt echter een continue bewaking van de meteo en getijgegevens. Naast de voorspelling die men doet bij vertrek vanaf het vliegveld heeft men nu ook tijdens het aanvliegen de tijdstippen van de te verwachte waterstanden doorgegeven aan de piloot. Door deze interpolatie van de werkelijke waterstanden was het mogelijk om de opnamen vrij dicht bij het tijdstip te laten beginnen bij de vooraf bepaalde waterstand.

De wind heeft een grote invloed op de waterstanden op deze toch vrij vlakke lage watergebieden. Door de sterke wind kan de werkelijke waterhoogte erg veel afwijken met de voorspelde. Ook hier vergt dit een continue bewaking van de wind gegevens.

Het gebruik van CIR beelden (kleuren infrarood) geeft minder problemen bij het segmenteren dan bij NIR fotografie (nabij infrarood) zoals toegepast tijdens de eerste opname en dan bij de RGB fotografie zoals toegepast tijdens de tweede vlucht.

Bijlage 1: Kaarten

Bijlage 2: Oppervlakten 7 en 8 mei 2008

OOST WADDENZEE

Borndiep

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	170,96	55,89
Water	134,95	44,11
Totaal	305,91	100,00

Pinkegat

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	47,06	76,71
Water	14,29	23,29
Totaal	61,35	100,00

Zoutkamperlaag

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	102,78	69,45
Water	45,22	30,55
Totaal	148,00	100,00

Eierlanderbalg

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	30,51	77,16
Water	9,03	22,84
Totaal	39,54	100,00

Lauwers

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	102,95	71,84
Water	40,37	28,16
Totaal	143,32	100,00

Schild

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	24,83	81,14
Water	5,77	18,86
Totaal	30,60	100,00

Eems Dollard

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	47,36	42,80
Water	63,29	57,20
Totaal	110,65	100,00

WEST WADDENZEE

Marsdiep

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	155,46	22,67
Water	530,24	77,33
Totaal	685,70	100,00

Vlie

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	153,74	23,96
Water	487,81	76,04
Totaal	641,55 ²	100,00

Eierlandse Gat

Klasse	Opp. in km ²	In %
Land	101,33	60,90
Water	65,05	39,10
Totaal	166,37	100,00

² Van het totale oppervlak van kombergingsgebied Vlie van 686,66 km² is 641,55 km² meegenomen in de analyse (zie paragraaf 2.3).

Bijlage 3: Robuustheidkaarten

Bijlage 4: Samenvatting opnamen

Algemeen

Vliegtuig	PH-OTH
Vlieghoogte	4500m
Camera	Leica RC30
Brandpuntsafstand	153mm
Film	Kodak ColorInfraRed

Waddenzee Oost

Aantal stroken	6
Aantal foto's	121
Vliegtijd	47 minuten (strook 1 t/m 3)
Waterstand gepland	-1.00m NAP
Waterstand start	Nes -1.00m NAP
Waterstand eind strook 3	Eemshaven -1.00 m NAP

Waddenzee West

Aantal stroken	7
Aantal foto's	118
Vliegtijd	126 minuten
Waterstand gepland	-1.00m NAP
Waterstand start	Vlieland haven -0.77m NAP
Waterstand eind strook 3	Harlingen -0.84 m NAP

