

**AREAAL WADDENGEBIED OOST OP BASIS  
VAN LUCHTFOTOGRAFIE: SITUATIE 2-2007**

NAM

135302.001375

**AREAAL WADDENGEBIED OOST OP BASIS  
VAN LUCHTFOTOGRAFIE: SITUATIE 2-2007**

NAM

135302.001375

14 maart 2008

Versie 2.3

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
<b>1 Randvoorwaarden &amp; Uitgangspunten</b>	<b>4</b>
1.1 Inleiding	4
1.2 Waterstand(en)	4
1.3 Zonnestand	5
1.4 Zicht	5
1.5 Geschikte Vliegdagen	5
<b>2 Uitvoering</b>	<b>6</b>
2.1 Paspunten en Vliegplan	6
2.2 Fotovlucht 23 oktober 2007	8
2.3 Fotovlucht Verwerking	11
2.3.1 Ontwikkelen en scannen luchtfoto's	11
2.3.2 Verwerking GPS en INS gegevens	11
2.3.3 Triangulatie en Orthofoto Productie	12
2.3.4 Segmentatie en Classificatie	13
2.3.5 Areaal berekeningen	15
<b>3 Discussie en aanbevelingen</b>	<b>16</b>
<b>4 Conclusies</b>	<b>18</b>
Bijlage 1 Kaarten	19
Bijlage 2 Oppervlakten 23 oktober 2007	20
Bijlage 3 Samenvatting Opname	21

## Samenvatting

Op 23 oktober 2007 zijn analoge luchtfoto's genomen van de Waddenzee gebied Oost om de situatie van het areaal aan droog(vallend) gebied vast te leggen. Om de kwaliteit en herhaalbaarheid van deze 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.

## HOOFDSTUK

# 1

# Randvoorwaarden & Uitgangspunten

## 1.1

### INLEIDING

Voorafgaand aan de start van de gaswinning door NAM vanaf de locaties Moddergat (in 2007), Lauwersoog en Vierhuizen (naar verwachting in 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. De nulsituatie van voornoemde verhouding is vastgelegd op 1 april 2007 op basis van een laagwater situatie van -1.60m NAP. Jaarlijks zullen 2 vluchten worden uitgevoerd onder zoveel mogelijk gelijke omstandigheden om te kunnen vaststellen of er significante veranderingen zijn opgetreden in voornoemd verhoudingsgetal. Omdat de vlucht op 1 april 2007 is uitgevoerd onder omstandigheden die zich niet vaak voordoen, zal de feitelijke nulsituatie uiteindelijk worden vastgelegd op basis van -1.00m NAP. Ten opzichte van -1.60m NAP geeft dit een afwijking van 5-10 % in de afname van droog(vallend) areaal in het oostelijke deel van de Waddenzee (berekend uit lodinggegevens uit het jaar 2000 van Rijkswaterstaat). Op 23 oktober 2007 is de tweede fotovlucht voor het oostelijke deel van de Waddenzee uitgevoerd.

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 beschrijft de conclusies. In Bijlage 1 zijn opgenomen de Waddenzeekaarten per kombergingsgebied. Bijlage 2 geeft weer de berekende oppervlakten per 23 oktober 2007 en bijlage 3 geeft een samenvatting van de relevante feiten met betrekking tot de opname.

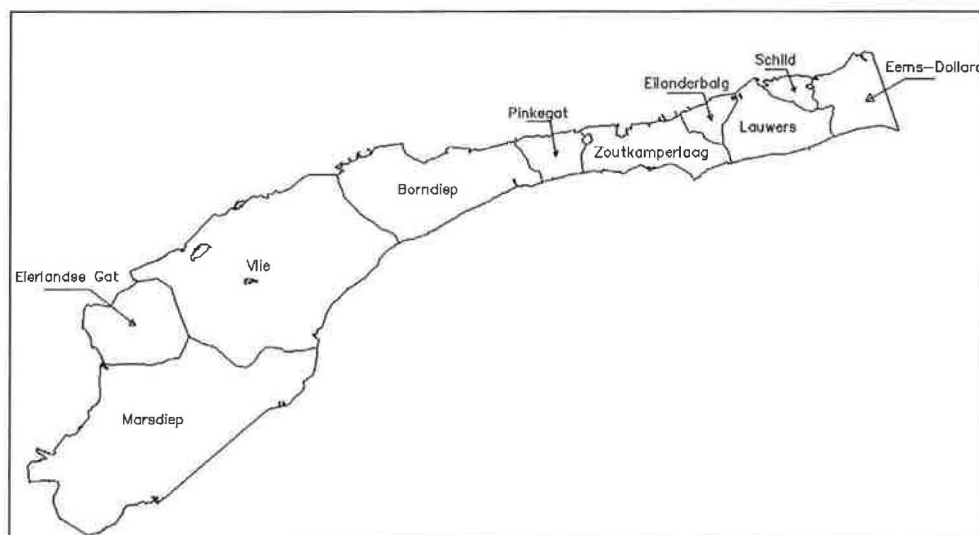
## 1.2

### 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.



Overzichtskaart 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  $15^\circ$  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. Dat verticaal zicht niet altijd gelijk is aan horizontaal zicht bleek ook op 27 maart 2007 toen het vliegtuig op basis van de actuele weerrapporten (minimaal zicht op vliegveld Leeuwarden: 18km!) wel naar de Waddenzee is gevlogen, maar geen foto's heeft kunnen maken vanwege onvoldoende zicht naar de grond.

### 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.

## 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
  - a. Scannen van analoge opnamen of processen van digitale opnamen
  - b. Verwerken van de GPS gegevens
  - c. Inpassing van de foto's in het lokale coördinatenstelsel (triangulatie)
  - d. Onthoeking van de foto's door middel van een hoogtemodel.
4. In dit specifieke project is er een extra slag noodzakelijk om de areaalberekeringen uit te voeren: classificatie
5. Aflevering

### 2.1

#### **PASPUNTEN EN VliegPLAN**

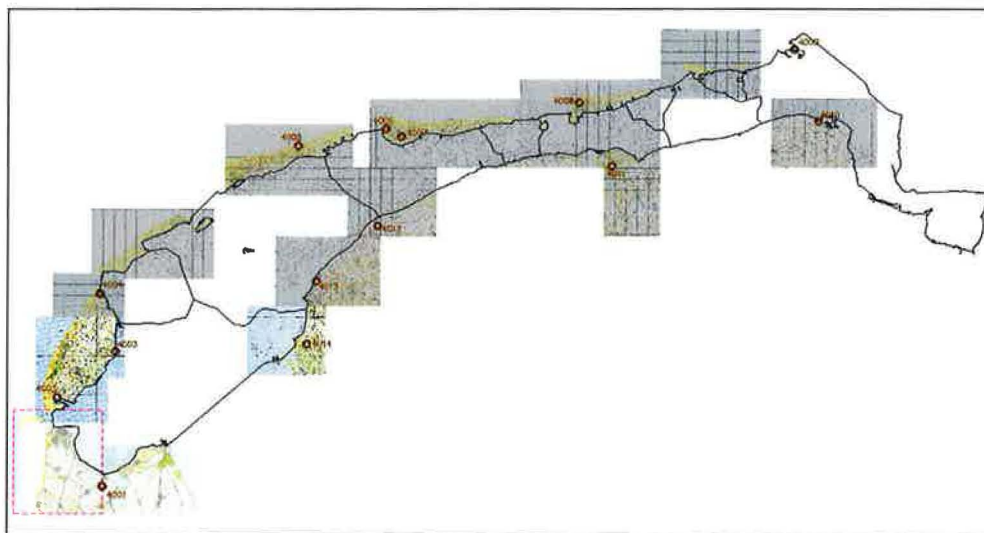
Om de luchtfoto's te kunnen inpassen in het lokale coördinatenstelsel, in Nederland geldt het Rijksdriehoekstelsel, moet er een relatie bestaan tussen de positie van meerdere punten in de foto en de corresponderende positie in het lokale coördinatenstelsel.

Om dit te bewerkstelligen worden punten, de zogeheten paspunten, gemarkeerd in het terrein die met behulp van landmeetkundige apparatuur worden ingemeten. Deze paspunten hebben een vast patroon: een grote zwarte ring met een witte kern. Deze paspunten worden op deze manier geschilderd om ze later te kunnen herkennen in de luchtfoto's.



### Paspunt 4010 bij Eemshaven

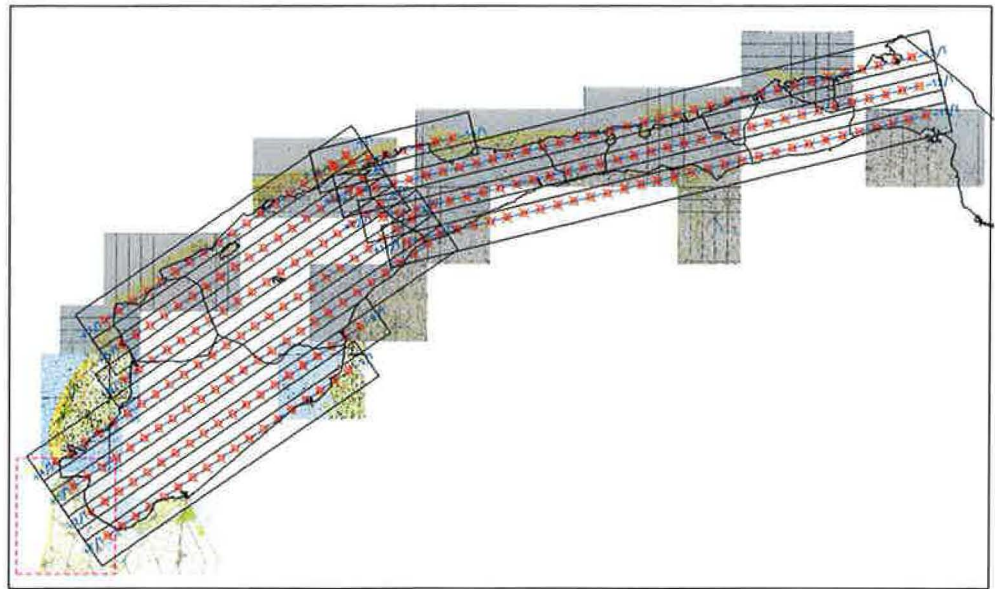
In het onderhavige project zijn nog voor de eerste fotovlucht van 1 april 2007 14 paspunten gelegd en ingemeten. Op het eiland Borkum zijn tijdens het leggen van de paspunten nog 3 natuurlijke paspunten extra ingemeten. Natuurlijke paspunten zijn bv. hoeken van starten, haaiantanden op de weg etc. Deze zijn als voorzorgmaatregel opgenomen indien het geschilderde paspunt op Borkum op een of andere manier ongeschikt blijkt te zijn.



Overzichtkaartje van de ligging van de paspunten

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. 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.



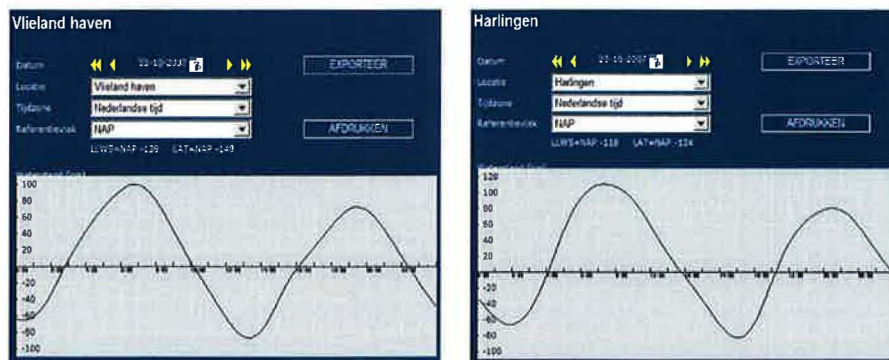
Overzichtkaartje met de ligging van de vliegstroken en de beeldmiddens van de opnamen.

## 2.2

### FOTOVLUCHT 23 OKTOBER 2007

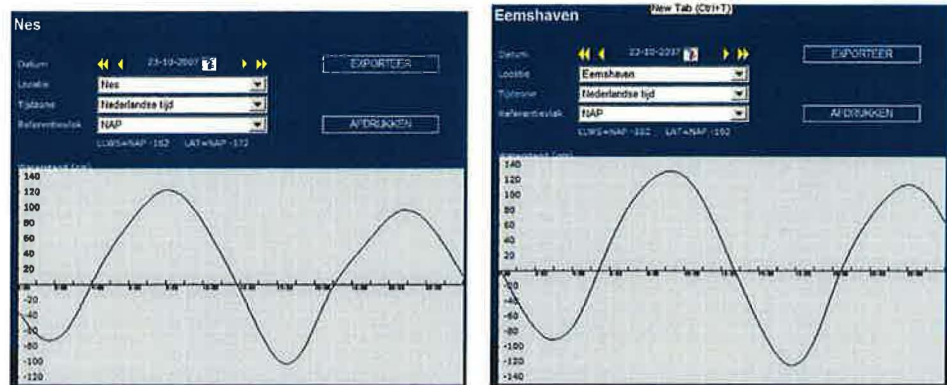
Na een lange periode met heel veel bewolking was het eindelijk op 11 oktober 2007 het weer gunstig om een fotovlucht uit te voeren. Iedereen was stand-by en alles stond klaar om te gaan vliegen. Het vluchtplan was gefaxed naar DutchMil (luchtverkeersleiding) en was het nu nog wachten op toestemming. Maar helaas werd deze niet gegeven. In verband met een grootscheepse oefening van de Luchtmacht boven de Waddeneilanden mocht er daar niet worden gefotografeerd.

Op 23 oktober was het weer redelijk om een nieuwe fotovlucht uit te voeren. Het astronomische getij voorspelde voor het westelijke gedeelte een waterstand van -80 cm bij Vlieland haven om 12.30 uur en bij Harlingen om 14.40 uur.



Astronomisch getij van Vlieland haven en Harlingen

Voor het oostelijke gedeelte voorspelde het astronomische getij een waterstand van -100 cm bij Nes om 14.00 uur en voor Eemshaven om 14.30 uur



Astronomisch getij van Nes en Eemshaven

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.

Na alle toestemmingen en procedures zijn de opnamen voor het oostelijke gedeelte gestart om 13.15 uur en is strook 3 geëindigd om 13.59 uur.

De werkelijke waterstanden waren op dat moment:

- -98,5 cm bij Nes om 13.17 uur
- -105,75 cm bij Eemshaven om 13.52 uur



Oblique opname Waddenzee

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.



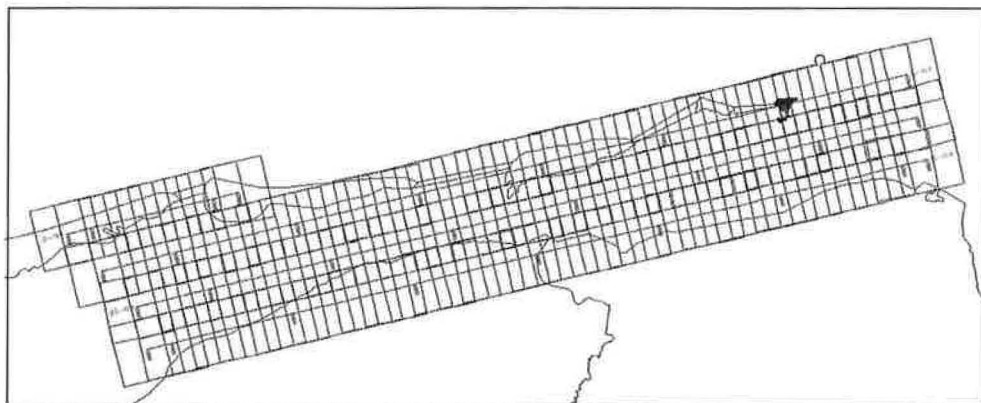
De RC30 gemonteerd in het vliegtuig

Opnamen zijn gemaakt op Kodak Color Negative 2444 film.



Foto 8109

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



Overzicht ligging analoge opnamen.

## 2.3

### **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

### 2.3.1

#### **ONTWIKKELEN EN SCANNEN LUCHTFOTO'S**

De luchtfoto's zijn gemaakt met de analoge RC30 camera. De film, Kodak 2444, is ontwikkeld conform specificaties van de fabrikant. Daarna wordt de film gescand met een Zeiss/Intergraph PhotoScan TD scanner. De scanresolutie is 14 mu.



Z/I scanner

De digitale beelden worden opgeslagen op externe harddisk. Hierdoor zijn de digitale foto's bruikbaar voor verdere verwerking.

### 2.3.2

#### **VERWERKING GPS EN INS GEGEVENS**

Met behulp van speciale apparatuur zijn tijdens de vlucht de positie van de opname zeer nauwkeurig vastgelegd. Deze meetgegevens worden gebruikt bij het triangulatieproces.



Overzichtskartaal met het werkelijk gevlogen traject

### 2.3.3

#### TRIANGULATIE EN ORTHOFOTO PRODUCTIE

Tijdens de triangulatie worden de foto's geïmagineerd 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.

Zodra deze punten zijn gevonden liggen de foto's relatief aan elkaar. De relatie met het lokale coördinatenstelsel wordt bepaald door de positie van de paspunten in de foto's. Er wordt een transformatiematrix opgesteld uit de bekende positie van de paspunten en de corresponderende positie uit de luchtfoto's. Met deze transformatiematrix wordt een kleinste kwadraten blokvereffening uitgevoerd. In totaal zijn er voor gebied oost in 116 foto's, 19506 metingen gedaan. Sigma naught is 5,9 um. Bij DMC is de pixelgrootte van de opname 12 um. Hieruit volgt dat de al gehele precisie van de aerotriangulatie en blokvereffening gelijk is aan een halve pixel. Gezien de moeilijke triangulatiesituatie over een groot wateroppervlak is dit een acceptabel resultaat.

Tijdens de triangulatie is weerom gebleken dat het vinden van verbindingpunten voor het gebied van de Waddenzee problemen oplevert omdat het wateroppervlak tijdens de vlucht veranderd (golven, wind etc.). Alle 2-voudige verbindingpunten, met uitzondering aan de randen, zijn verwijderd. Verder zijn alle automatische gevonden verbindingpunten nagelopen en waar nodig verbeterd en/of verwijderd.

Naar iedere verwerkingsronde wordt er een blokvereffening gedaan om te kijken of de resultaten verbeterd zijn.

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



Gebied oost

## 2.3.4

### SEGMENTATIE EN CLASSIFICATIE

Bij de verwerking van de luchtfoto's van 23 oktober 2007 is in eerste instantie uitgegaan van het principe om objectgerichte classificatie uit te voeren. Immers, het resultaat moet bestaan uit de objecten zandbanken, modderplaten, kweldergebieden en water(geulen). Om dit te bereiken is eerst een segmentatie op de beelden per kombergingsgebied uitgevoerd. Segmentatie is het opdelen van meerdere pixels in segmenten, waarbij elk segment overeenkomstige intrinsieke eigenschappen kent. Deze intrinsieke eigenschappen kunnen zijn:

- Kleur (R,G,B, maar ook nabij-infrarood)
- Textuur (patronen, structuren)
- Vorm (rond, vierkant, etc.).

Voor de segmentatie zijn de R,G,B beelden gebruikt. De software die hiervoor gebruikt is, is Definiens Professional. De segmentatie applicatie kan meerdere lagen (zoals R,G,B) tegelijk lezen, de zogenaamde multiresolutie segmentatie.

#### **WERKPROCES**

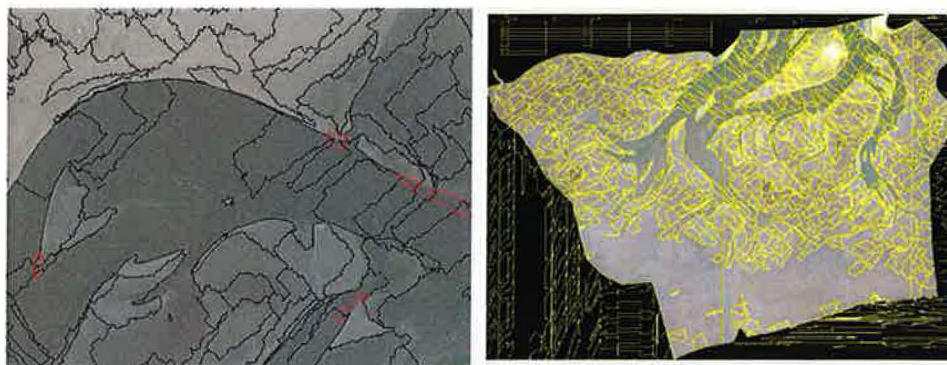
Eerst worden de luchtfoto's verwerkt tot gepostprocesde digitale beelden (de zogenaamde orthofoto's). Vervolgens worden er deelgebieden geselecteerd, welke in dit proces gelijk is gesteld aan de kombergingsgebieden. Hierna vindt de segmentatie plaats. Om te kunnen classificeren worden trainingsgebieden geselecteerd. Op basis van deze trainingsgebieden wordt de rest van het deelgebied geïdentificeerd. Van alle klassen worden de oppervlakten berekend, om zo te kunnen bepalen wat het percentage en oppervlakte land/water is per kombergingsgebied.

#### **SEGMENTATIE**

Voor dit Waddenzee onderzoek betekent dit bovenstaande werkproces, dat - nadat de orthofoto's per kombergingsgebied zijn aangeleverd - eerst een uitsnede plaatsvindt van de GeoTiff files, zodanig dat de orthofoto's precies aansluiten met de grenzen van het kombergingsgebied. Dit wordt gedaan om rekentijden te versnellen bij de segmentatie. De bestanden worden hierna opgeslagen als Imagine-files (\*.IMG). De multiresolutie segmentatie wordt hierna uitgevoerd, waarbij de standaardinstellingen van Definiens worden gehanteerd. Hierna kan de segmentatie worden uitgevoerd. Gebleken is dat de rekentijden hierbij variëren van 3 uur voor de kleinste kombergingsgebieden (ca 500 milj. pixels) tot meer dan 24 uur voor grote kombergingsgebieden (> 1,2 miljard pixels).

### RESULTATEN VAN SEGMENTATIE

De segmentatie van de RGB beelden vertonen een matige tot slechte kwaliteit. De reden hiervan is het lage onderscheidend vermogen van de RGB beelden. Hiermee wordt bedoeld dat de segmentatie methode de grenzen tussen land- en waterobjecten niet goed kan specificeren. In de twee onderstaande figuren worden voorbeelden gegeven van de segmentatie resultaten. Het linkerfiguur toont enkele segmentatielijnen welke op detailniveau enkele grenzen tussen twee verschillende segmenten niet weergeeft (deze zijn aangegeven met rood). Het rechterfiguur toont het segmentatie resultaat van het kombergingsgebied Pinkegat. Hierbij valt op dat de segmentatie in het noordelijke deel redelijk wordt uitgevoerd (met uitzondering van de eerdergenoemde grenzen op detailniveau), echter in het zuidelijke deel heeft de segmentatie niet goed plaats gevonden. Beide problemen zijn voorgelegd aan de softwareleverancier. Alleen het laatste probleem kon uiteindelijk worden opgelost door het gebruik van Definiens LDH software (LDH = Large Data Handling). Grote bestanden kunnen hiermee wel worden gesegmenteerd en geclassificeerd.



### CLASSIFICATIE

Het bestaan van weinig onderscheidend vermogen in de objecten en daardoor vele fouten in de segmentatie en classificatie (zoals weergegeven in het bovenstaande linkerfiguur) heeft doen besluiten, dat geen gebruik is gemaakt van de segmentatie resultaten. In plaats daarvan is de classificatie handmatig uitgevoerd door middel van digitalisatie. Een voorbeeld van handmatige digitalisatie is weergegeven in onderstaand figuur.



Hierbij is in onder andere gekeken naar de resultaten van de eerste vlucht, om ook in de gebieden waar het onderscheid tussen water en land niet eenvoudig is, zoveel mogelijk op elkaar aan te sluiten.

## 2.3.5

### AREAAL BEREKENINGEN

Na de classificatie wordt voor de klasse land/water per kombergingsgebied een oppervlakte berekend. Zie voor het resultaat Bijlage 1 (kaarten) en Bijlage 2 (oppervlakten). De verschillen in arealen in oppervlakten land tussen de opname van 23 oktober 2007 en de eerste opname van 1 april 2007 zijn weergegeven in onderstaande tabel:

#### **VERGELIJKING OPPERVLAKTEN NAJAAR 2007 VS VOORJAAR 2007**

<b>Klasse</b>	<b>Opp. Land 1-4-2007 km2</b>	<b>Opp. Land 23-10-2007 km2</b>	<b>Vershil In %</b>
Borndiep	211,97	189,61	-10,55
Pinkegat	48,76	46,47	-4,70
Zoutkamperlaag	109,02	102,70	-5,78
Eierlanderbalg	32,86	30,19	-8,13
Lauwers	110,08	99,58	-9,53
Schild	25,36	24,35	-3,98
Eems Dollard	54,79	48,06	-12,28

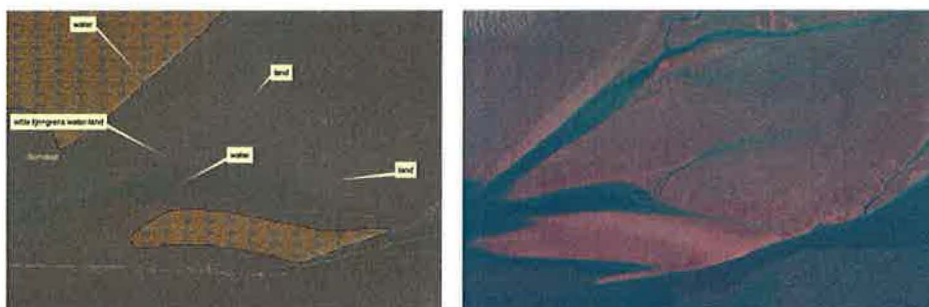
Bij de vergelijking zijn alle kombergingsgebieden van beide vluchten middels een visuele inspectie gecontroleerd op de classificatie van land- en watergebieden.

HOOFDSTUK

3

Discussie en  
aanbevelingen

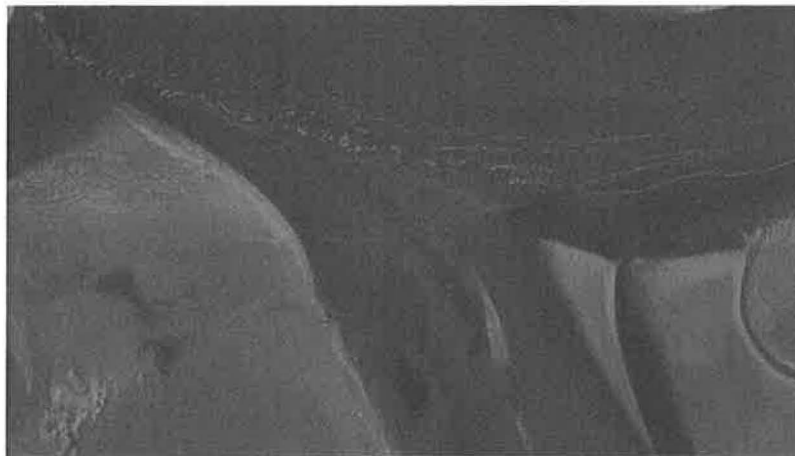
De verschillen in oppervlakten land tussen de tweede en de eerste vlucht toont aan dat de oppervlakte land is in de tweede vlucht met circa 5-10% is afgenomen. Een verklaring ligt in het feit dat in de eerste vlucht de waterstanden veel lager stonden dan wenselijk. De werkelijke betekenis van bovenstaande vergelijkingen wordt hierdoor lastig. Daarnaast is in de tweede vlucht een andere methodologie gehanteerd. In de tweede vlucht zijn enkel en alleen RGB beelden gevlogen. De RGB beelden hebben voor classificatie beduidend minder onderscheidend vermogen dan infrarood beelden (NIR), welke bij de eerste vlucht zijn gebruikt. Hieronder is een voorbeeld gegeven waaruit blijkt dat classificatie van land- en waterobjecten in RGB beelden (links) veel complexer is dan voor NIR beelden (rechts).



Voor de tweede vlucht is gekozen om het gebied te classificeren door middel van digitalisatie van de land- en waterobjecten, mede omdat de segmentatie van deze objecten met RGB weinig succesvol was. Digitaliseren is echter een subjectieve methode. Een operator of specialist moet zelf bepalen waar de grens tussen water en land zich bevindt, gegeven de waar te nemen informatie van de luchtfoto. Het gebruik van een segmentatie algoritme met vastgestelde parameters is een objectievere methode. Ook bij de segmentatiemethode en de daarbijbehorende automatisch classificatie van de objecten dient de specialist te controleren of de objecten goed zijn geclassificeerd. Zeker bij een laag onderscheidend vermogen (zoals bij de RGB-beelden) betekent dit dat hierop alsnog veel handmatige herclassificatie moet worden uitgevoerd, waardoor de classificatie evenmin objectief blijft.

Bij de classificatie van objecten door middel van digitalisatie is het van belang om bepaalde patronen van de wadplaten en de geulen te herkennen. Immers, de kleur tussen water en wadplaten is soms nauwelijks onderscheidend. Zo zijn watergeulen in de Wadden over het algemeen dendritisch (boomvormig). Dit houdt in dat de hoofdgeul zich steeds verder vertakt in smallere geulen. Daarnaast kunnen golfpatronen helpen in het onderscheid tussen

water- en land objecten. Witte schuimkoppen geven veelal waar de grens water/land zich bevindt. Echter dit is niet altijd het geval; soms kan dit ook betekenen dat twee geulen bij elkaar komen (zie figuur hieronder).



Door gebruik te maken van de resultaten van de eerste vlucht (segmentatie en classificatie van NIR beelden), kan er een duidelijke kwaliteitsverbetering optreden in de digitalisatie resultaten. Dit geldt met name voor de kombergingsgebieden Borndiep en Eems-Dollard.

In dit onderzoek heeft geen significantie toetsing plaatsgevonden tussen de verschillen in oppervlakten van de eerste en de tweede vlucht. Ten eerste omdat in de eerste vlucht de vlucht bij een lagere waterstand is uitgevoerd kan er geen realistische significantie toetsing worden uitgevoerd. Ten tweede zijn bij de tweede vlucht geen gegevens van het westelijke Waddengebied ingevlogen. Deze laatste gegevens, plus eventuele externe bronnen (diepte kaarten en lodingen van Rijkswaterstaat), kunnen belangrijke informatie verschaffen over de gemiddelde trend (afname of groei) van landobjecten.

Onze aanbevelingen voor de hieropvolgende vluchten zijn dan ook:

- Het gebruik van NIR beelden voor de segmentatie en classificatie zal leiden tot betere classificatie resultaten, omdat deze beelden contrastrijker zijn dan RGB beelden. Dit houdt in dat een grotere discriminatie mogelijk is tussen water- en landobjecten.
- 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 en het automatisch classificeren van de beelden
- 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.
- Compleet invliegen van het Waddengebied, zodat een betere trendberekening kan worden uitgevoerd.

## HOOFDSTUK

# 4 Conclusies

Het blijkt heel moeilijk te zijn om op een juiste voorspelling te kunnen doen van de werkelijke waterstand. Hoe groter het tijdsvak is tussen de voorspelling en de werkelijke uitvoering, hoe onnauwkeuriger deze is. Om dit te minimaliseren is na de eerste opname in april de procedure voor het uitvoeren van de fotovlucht aangepast. 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. Bij het einde van de derde strook was de waterstand bij Eemshaven -105,75 cm. Gezien de lengte van het traject was het niet mogelijk om hier eerder te eindigen.

De werkelijke opname tijd was van 13.15 tot 13.59 uur. Achteraf met de gegevens van de bekende waterstanden had dit moeten zijn van 13.17 tot 13.52 uur.

Ook 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. Zo is het voorgekomen dat een fotovlucht niet werd uitgevoerd omdat dat de gewenste waterstand niet werd bereikt (23 september 2007)

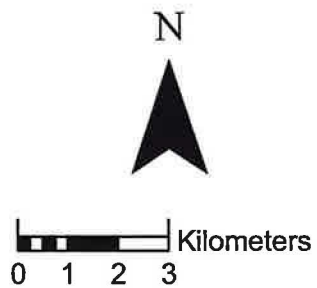
Helaas kon de fotovlucht ook een keer niet worden uitgevoerd door een oefening van de Defensie.

Het gebruik van RGB beelden (kleur) geeft meer problemen bij segmenteren dan bij NIR fotografie (narinfrared) zoals toegepast tijdens de eerste opname. Daarom is er tijdens het werkproces een parallel traject ingezet om de scheidingslijnen tussen water en land handmatig te digitaliseren. De waarden die voortkomen uit het digitaliseren zijn gebruikt in de tabellen van dit rapport. De problemen in de segmentatie hebben vooral te maken in het laag onderscheidend vermogen van de RGB luchtfoto's, waardoor segmentatie software een slecht resultaat voor de segmentatie en classificatie genereert.

De waterstanden tijdens de opnamen van de fotovlucht op 1 april 2007 waren extreem laag. Op basis van bestaande lodinggegevens uit de oostelijke Waddenzee in 2000 van Rijkswaterstaat is een schatting gemaakt dat het oppervlak ongeveer 10-15% groter zal zijn dan bij de geplande waterstand.

De verschillen in oppervlakten tussen de eerste en tweede opname, zoals weergegeven in paragraaf 2.3.5, zijn enerzijds te wijten aan de verschillende waterstanden en anderzijds door de toepassing van een ander werkproces (handmatige classificatie). Wat opvalt is dat de kombergingsgebieden Borndiep en Eems-Dollard enigszins sterker afwijken van de eerste opname dan de andere kombergingsgebieden.

# BIJLAGE 1 Kaarten



## Legenda

- Begrenzing opp: 305,87 km<sup>2</sup>
- Begrenzing 01/04/07
- land opp: 189,61km<sup>2</sup> 61,99%
- water opp: 116,26km<sup>2</sup> 38,01%



*Imagine the result*

Opdrachtgever : **Nederlandse Aardolie Maatschappij**

Project : **Waddenzee classificatie 23-10-07**  
Tijd van opname: 13:15 - 13:59 uur

Onderwerp : **Kombergingsgebied Borndiep**

Ontwerpfase : **Definitief**

Getekend : J.J.Ramirez	Goedgekeurd : D.E. van de Vlag
Datum : 29/02/2008	Datum : 04/02/2008
Besteknummer : N.V.T	Projectleider : J. Swarts
Schaal : 1 : 150.000	Vestiging : Apeldoorn
Bladformaat : 297 x 210 (A4)	Aroviewproject : N.V.T.
Projectnummer : 135302.001375	Layoutnaam : N.V.T.
	Versie : 03



### Legenda

- begrenzing opp: 61,34km<sup>2</sup>
- begrenzing 01/04/07
- land opp: 46,47km<sup>2</sup> 75,76%
- water opp: 14,87km<sup>2</sup> 24,24%



*Imagine the result*

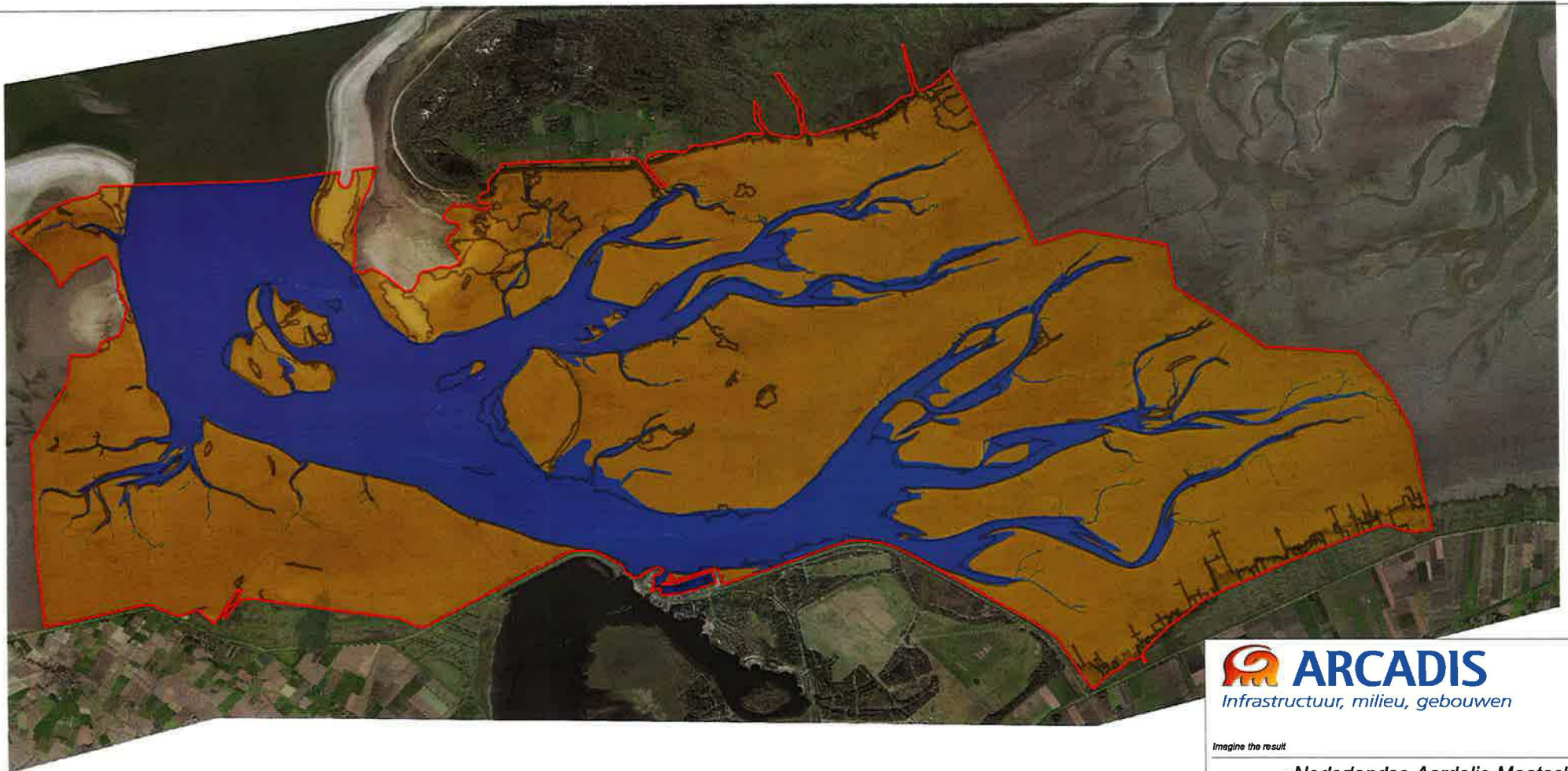
Oprichtgever : **Nederlandse Aardolie Maatschappij**

Project : **Waddenzee classificatie 23-10-07**  
Tijd van opname: 13:15 - 13:59 uur

Onderwerp : **Kombergingsgebied Pinkegat**

Ontwerpfase : **Definitief**

Getekend	: J.J.Ramirez	Goedgekeurd	: D.E. van de Vlag
Datum	: 04/02/2008	Datum	: 04/02/2008
Bestelnummer	: N.V.T.	Projectleider	: J. Swarts
Schaal	: 1 : 60.000	Vestiging	: Apeldoorn
Bildformaat	: 297 x 210 (A4)	Archiefproject	: N.V.T.
Projectnummer	: 135302.001375	Layoutnaam	: N.V.T.
		Versie	: 03



Imagine the result

Opdrachtgever : **Nederlandse Aardolie Maatschappij**

Project : **Waddenzee classificatie 23-10-07**  
Tijd van opname: 13:15 – 13:59 uur

Onderwerp : **Kombergingsgebied Zoutkamperlaag**

Ontwerpfase : **Definitief**

Getekend : **J.J. Ramirez** Goedgekeurd : **D.E. van de Vlag**

Datum : **29/02/2008** Datum : **29/02/2008**

Besteknummer : **N.V.T.** Projectleider : **J. Swarts**

Schaal : **1 : 100.000** Vestiging : **Apeldoorn**

Bladformaat : **297 x 210 (A4)** Arcviewproject : **N.V.T.**

Projectnummer : **135302.001375** Layoutnaam : **N.V.T.**





Versie : **03**

N



Kilometers  
00,45,9 1,8 2,7

### Legenda

-  begrenzing opp: 147,98km<sup>2</sup>
-  begrenzing 01/04/07
-  land, opp: 102,70km<sup>2</sup> 69,40%
-  water, opp: 45,28km<sup>2</sup> 30,60%



### Legenda

- begrenzing opp: 39,53km<sup>2</sup>
- begrenzing 01/04/07
- land opp: 30,19km<sup>2</sup> 76,37%
- water opp: 9,34km<sup>2</sup> 23,63%



*Imagine the result*

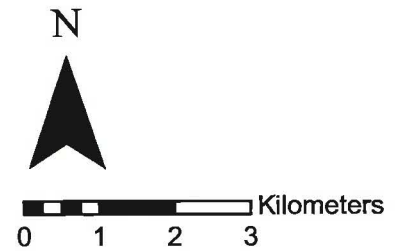
Opdrachtgever : **Nederlandse Aardolie Maatschappij**

Project : **Waddenzee classificatie 23-10-07**  
Tijd van opname: 13:15 – 13:59 uur

Onderwerp : **Kombergingsgebied Eilanderbalg**

Ontwerpfase : **Definitief**

Getekend : J.J.Ramirez	Goedgekeurd : D.E. van de Vlag
Datum : 29/02/2008	Datum : 29/02/2008
Besteknummer : N.V.T	Projectleider : J. Swarts
Schaal : 1 : 50.000	Vestiging : Apeldoorn
Blaadformaat : 297 x 210 (A4)	Archiefproject: N.V.T.
Projectnummer : 135302.001375	Layoutsnaam : N.V.T.
	Versie : 03



## Legenda

- begrenzing opp: 143,45 km<sup>2</sup>
- begrenzing 01/04/07
- land opp: 99,58 km<sup>2</sup> 69,42%
- water opp: 43,87 km<sup>2</sup> 30,58%



*Imagine the result*

Opdrachtgever : **Nederlandse Aardolie Maatschappij**

Project : **Waddenzee classificatie 23-10-07**  
Tijd van opname: 13:15 – 13:59 uur

Onderwerp : **Kombergingsgebied Lauwers**

Ontwerpfase : **Definitief**

Getekend : J.J.Ramirez Goedgekeurd : D.E. van de Vlag

Datum : 29/02/2008 Datum : 29/02/2008

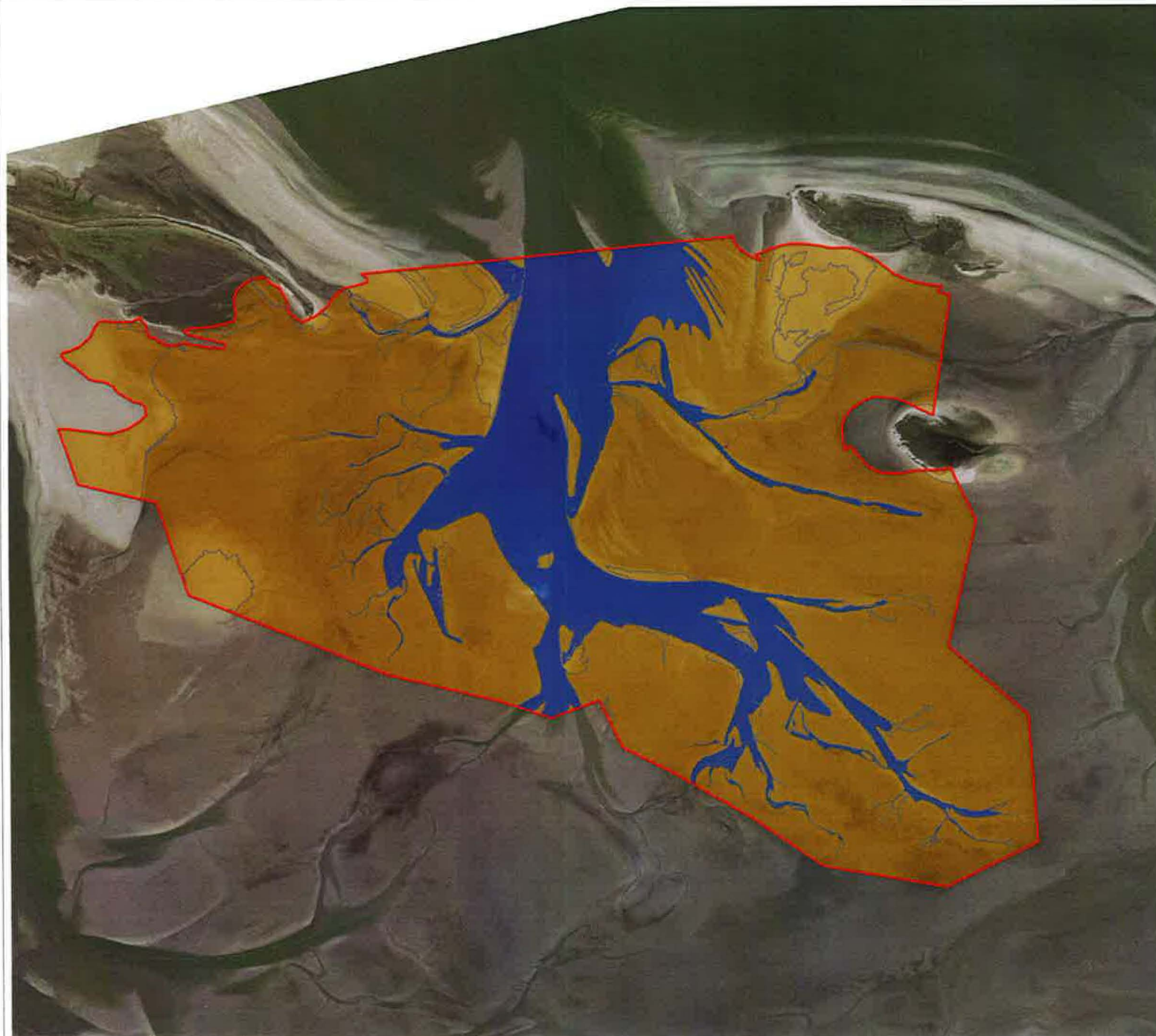
Besteknummer : N.V.T. Projectleider : J. Swarts

Schaal : 1 : 100.000 Vestiging : Apeldoorn

Bindformaat : 297 x 210 (A4) Arcviewproject : N.V.T.

Projectnummer : 135302.001375 Layoutnaam : N.V.T.

Versie : 03



0 0,3750,75 1,5 Kilometers

### Legenda

- begrenzing opp:30,59 km<sup>2</sup>
- begrenzing 01/04/07
- land, opp: 24,35km<sup>2</sup> 70,60%
- water, opp: 6,24km<sup>2</sup> 20,40%



*Imagine the result*

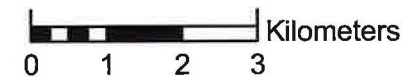
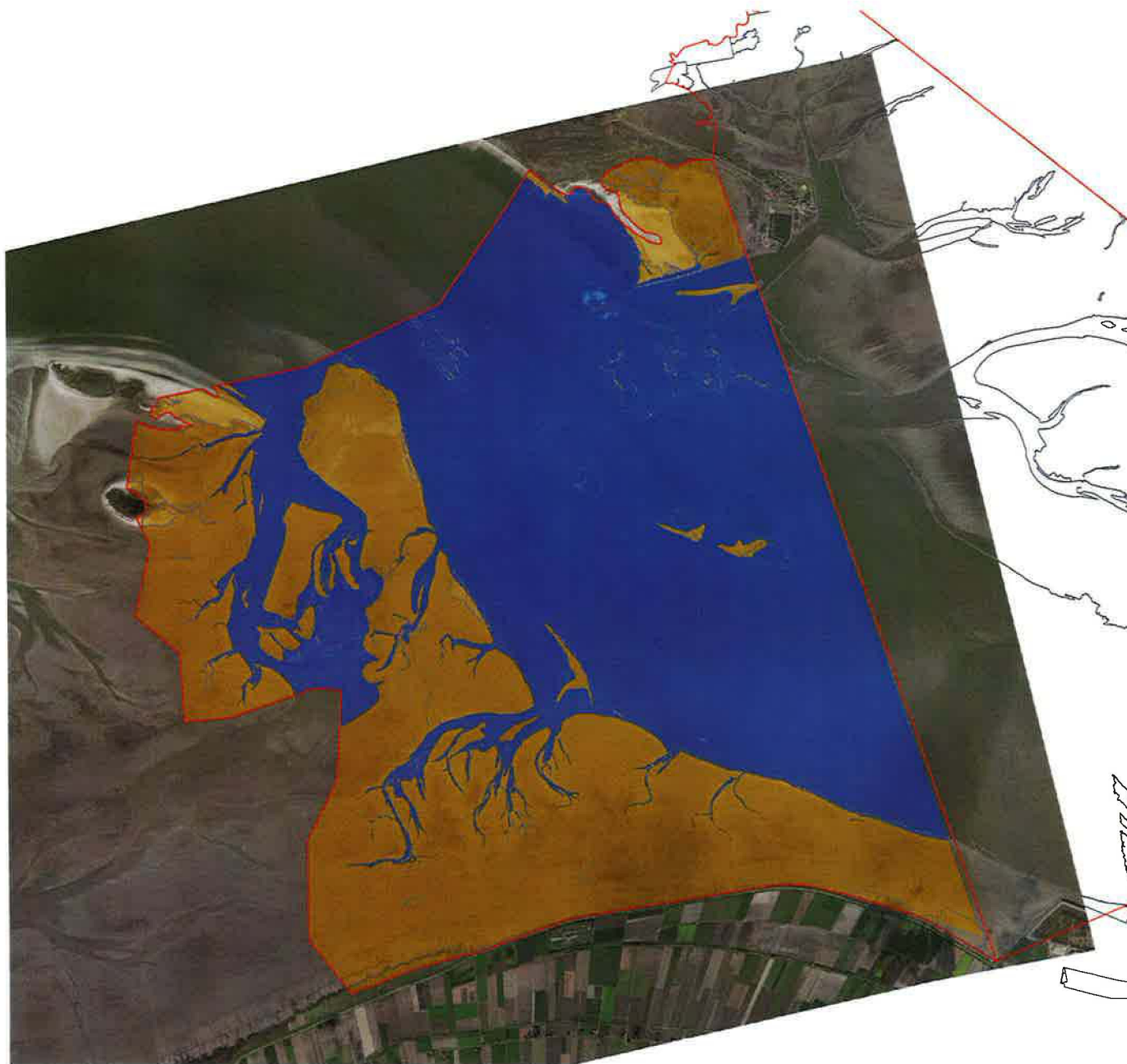
Oprichtgever : **Nederlandse Aardolie Maatschappij**

Project : **Waddenzee classificatie 01-04-07**  
Tijd van opname: 13:15 – 13:59 uur

Onderwerp : **Kombergingsgebied Schild**

Ontwerpfase : **Definitief**

Getekend : J.J.Ramirez	Goedgekeurd : D.E. van de Vlag
Datum : 29/02/2008	Datum : 04/03/2008
Besteknummer : N.V.T.	Projectleider : J. Swarts
Schaal : 1 : 50.000	Vestiging : Apeldoorn
Bledformaat : 297 x 210 (A4)	Architectproject : N.V.T.
Projectnummer : 135302.001375	Layoutnaam : N.V.T.
	Versie : 03



## Legenda

- begrenzing opp: 110,15km<sup>2</sup>
- begrenzing 01/04/07
- land opp: 48,06km<sup>2</sup> 43,64%
- water opp: 62,09km<sup>2</sup> 56,36%



Imagine the result

Opdrachtgever : **Nederlandse Aardolie Maatschappij**

Project : **Waddenzee classificatie 23-10-07**  
Tijd van opname: 13:15 – 13:59 uur

Onderwerp : **Kombergingsgebied Eems Dollard**

Ontwerpfase : **Definitief**

Getekend : J.J.Ramirez Goedgekeurd : D.E. van de Vlag

Datum : 29/02/2008 Datum : 04/02/2008

Besteksnummer : N.V.T. Projectleider : J. Swarts

Schaal : 1 : 100.000 Vestiging : Apeldoorn

Bisdoormaat : 297 x 210 (A4) Arcviewproject : N.V.T.

Projectnummer : 135302.001375 Layoutnaam : N.V.T.

Versie : 03

**Borndiep**

Klasse	Opp. in km2	In %
Land	189,61	61,99
Water	116,26	38,01
Totaal	305,87	100,00

**Pinkegat**

Klasse	Opp. in km2	In %
Land	46,47	75,76
Water	14,87	24,24
Totaal	61,34	100,00

**Zoutkamperlaag**

Klasse	Opp. in km2	In %
Land	102,70	69,40
Water	45,28	30,60
Totaal	147,98	100,00

**Eierlanderbaig**

Klasse	Opp. in km2	In %
Land	30,19	76,37
Water	9,34	23,63
Totaal	39,53	100,00

**Lauwers**

Klasse	Opp. in km2	In %
Land	99,58	69,42
Water	43,87	30,58
Totaal	143,45	100,00

**Schild**

Klasse	Opp. in km2	In %
Land	24,35	79,60
Water	6,24	20,40
Totaal	30,59	100,00

**Eems Dollard**

Klasse	Opp. in km2	In %
Land	48,06	43,63
Water	62,09	56,37
Totaal	110,15	100,00

## BIJLAGE 3

## Samenvatting Opname

**Algemeen**

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

**Waddenzee Oost**

Aantal stroken	4
Aantal foto's	116
Vliegtijd	44 minuten (strook 1 t/m 3)
Waterstand gepland	-1.00m NAP
Waterstand start	Nes -0.985m NAP
Waterstand eind strook 3	Eemshaven -1.0575 m NAP