Ecologisch monitoringprogramma alternatieve stortlokaties Westerschelde:

T0 Oostelijke Westerschelde

D. van der Wal, A. Wielemaker, D. Raymaekers, E. Knaeps, T. Ysebaert,
T.J. Bouma, H. Hummel, P.M.J. Herman

Eindrapport
februari 2010

216459

Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW),
Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie
Korringaweg 7, Postbus 140, 4400 AC, YERSEKE, Nederland
URL http://www.nioo.knaw.nl

Rapport 8/8 (deelopdracht 2/2)

	Doc:	NIOO_Walsoorden3_Eindrapport_deel2.doc
	Naam:	Project Walsoorden 3, Rapport 8/8, Deel 2/2 (Rug van Baarland / T0)
	Datum:	10.02.2010
	In opdracht van:	MOW, Afdeling Maritieme Toegang
	Namens opdrachtgever:	Frederik Roose / Ann Govaerts
	Uitvoering door:	NIOO-KNAW en VITO-TAP
	Versie:	**Revisie:**

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

Te citeren als:

D. van der Wal, A. Wielemaker, D. Raymaekers, E. Knaeps, T. Ysebaert, T.J. Bouma, H. Hummel & P.M.J. Herman (2010). *Ecologisch monitoringprogramma alternatieve stortlokaties Westerschelde; T0 Oostelijke Westerschelde.* Eindrapport. Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW) in samenwerking met VITO-TAP, 114 pp.

Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen

Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie
Korringaweg 7, Postbus 140, 4400 AC YERSEKE, Nederland
URL: http://www.nioo.knaw.nl

Inhoudsopgave

Dankwoord 7

Samenvatting 9

1. Inleiding 13

2. T0 Rug van Baarland: subtidaal en intertidaal 16

2.1. T0 Rug van Baarland: subtidaal 16

2.1.1. Macrobenthos 16

2.1.2. Korrelgrootte-verdeling van het sediment 25

2.1.3. Morfodynamiek 27

2.1.4. Respons van het macrobenthos op de omgeving 29

2.2. T0 Rug van Baarland: intertidaal 31

2.2.1. Macrobenthos 31

2.2.2. Chlorofyl-a en andere pigmenten 35

2.2.3. Spectrale reflectie en digitale foto's 36

2.2.4. Korrelgrootte-verdeling van het sediment en vochtgehalte 37

2.2.5. Hydrodynamiek 39

3. T0 Oostelijke Westerschelde: intertidaal 52

3.1. Ground-truthing 52

3.1.1. Ground-truthing survey 2007 52

3.1.2. Ground-truthing survey 2008 52

3.1.3. Vergelijking ground-truthing 2007 en 2008 56

3.2. Synoptische hyperspectrale surveys vanuit een vliegtuig 57

3.2.1. Synoptische survey vanuit een vliegtuig, 2007 57

3.2.2. Synoptische survey vanuit een vliegtuig, 2008 69

3.2.3. Vergelijking sediment-ecotoop bedekking 2007-2008 77

4. Conclusies 79

Referenties 80

Appendices 81

Appendix I: Overzicht bemonstering 83

Appendix II: Responscurven macrobenthos subtidaal 84

Appendix III: Classificatie beelden 2007 (VITO-TAP) 85

Appendix IV: Classificatie beelden 2008 (VITO-TAP) 98

Appendix V: Staafdiagrammen verandering 2007-2008 (VITO-TAP) 112

Dankwoord

Dit onderzoek werd uitgevoerd door de werkgroep Ruimtelijke Ecologie (RE), Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie (CEME) van het Nederlands Instituut voor Ecologisch Onderzoek (NIOO-KNAW) in opdracht van Maritieme Toegang en het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout (WLB) in Borgerhout. Onderaannemers in dit project waren VITO-TAP (Els Knaeps en Dries Raymaekers) voor het uitvoeren van de hyperspectrale vluchten en het bewerken, classificeren en analyseren van de beelden, en de Monitor Taakgroep (MT) van het CEME voor het bemonsteren en analyseren van het macrobenthos. Het onderzoek is een onderdeel van het 'Ecologisch monitoringsprogramma alternatieve stortlokaties', dat vanaf 2004 door CEME wordt uitgevoerd.

We willen hierbij een aantal personen bedanken die hebben bijgedragen aan dit project. Allereerst danken we ir. Frederik Roose en drs. Ann Govaerts van Maritieme Toegang voor het leiden van het project. De begeleidingsgroep, naast ir. Frederik Roose en drs. Ann Govaerts bestaande uit ir. Y.M.G. Plancke, ir. S.J. Ides en prof. dr. F. Mostaert van het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout, prof. ir. J.J. Peters van PAET, ir. Y. Meersschaut van Maritieme Toegang, drs. D.J. de Jong en ir. G.J. Liek van Rijkswaterstaat, Dienst Zeeland, ir. J.G. de Ronde van Deltares, dr.ir. M. Huygens van Soresma en E. Leys en F. Claes van Eurosense, danken we voor advies en het beschikbaar stellen van gegevens.

L. van IJzerloo en J. van Soelen hebben geassisteerd in het veld en in het laboratorium. O.J.A. van Hoesel, A. Engelberts, L. de Witte, A. Dekker, E. Hartog, M.M. Markusse, en W.C.H. Sistermans van de Monitor Taakgroep hebben gezorgd voor de bemonstering en analyse van de macrofauna. Daarnaast werd veldassistentie verleend door onder andere A. Tramper en F. Montserrat.

De bemanning van de Luctor, K. van Sprundel, G. Weststrate, P. Coomans, K. Verschuren, A. Tramper en M. Kristallijn, danken we voor transport naar de slikken en platen. Tot slot willen we J.M. Houtekamer, H. Francke, C. van Zetten en A. Tramper bedanken voor de korrelgrootte- en pigmentanalyses.

Samenvatting

De Westerschelde heeft een belangrijke rol voor de scheepvaart; het estuarium verschaft toegang tot de haven van Antwerpen. Er wordt continu gebaggerd om de diepte van de vaargeulen op peil te houden. Daarnaast wordt aanlegbaggerwerk uitgevoerd wanneer wordt beslist een vaargeul te verruimen om diepere schepen toegang tot de haven te verschaffen. Zowel voor het baggerwerk voor aanleg als voor onderhoud moeten stortplaatsen worden gevonden voor de grote hoeveelheden zand of slib, waarbij de toegankelijkheid van de havens, de veiligheid en de natuurlijkheid van het estuarium niet in gevaar mogen komen. Het karakteristieke meergeulensysteem van de Westerschelde met intergetijdengebieden, die van groot belang zijn voor de ecologie van het estuarium, moet daarbij gehandhaafd worden.

In de afgelopen jaren zijn ideeën ontwikkeld voor een alternatieve stortstrategie. Daarbij wordt de stort verplaatst van secundaire (meestal vloed)geulen naar ondiepe lokaties dicht bij de eroderende koppen van platen. Daardoor zouden drie doelstellingen kunnen worden verenigd: (1) het positief beïnvloeden van de morfologie, (2) het gestorte zand wordt gestort met als doel dat het blijft liggen, waardoor het onderhoud op de baggerdrempels zal afnemen, (3) door het wijzigen van de stromingen ter hoogte van de plaatkop zou er slibrijk materiaal in het subtidaal en op de plaat worden afgezet, wat van het subtidale en intertidale gebied een ecologisch waardevoller gebied maakt. Na positieve resultaten van een uitgebreide haalbaarheidsstudie zijn twee experimenten met een proefstort uitgevoerd nabij de Plaat van Walsoorden, en is de ecologische en morfologische ontwikkeling gevolgd. Gezien de positieve resultaten van de proeven bij de Plaat van Walsoorden is onderzocht welke mogelijke andere lokaties in de Westerschelde geschikt zouden zijn om een soortelijke stortstrategie toe te passen voor het bergen van baggerspecie. Eén van de meest waarschijnlijke zones die in aanmerking komt voor het toepassen van een dergelijke strategie is de plaatrand bij de Rug van Baarland. Daarnaast is een aantal andere mogelijke alternatieve stortlokaties aangewezen, waaronder de diepe delen van de geulen in het oostelijk deel van de Westerschelde.

In dit onderzoek is een monitoringprogramma opgezet waarmee de ecologische effecten van een mogelijke proefstorting nabij de Rug van Baarland kunnen worden gedetecteerd. Tevens is een T0 in kaart gebracht van de oostelijke Westerschelde, maar met nadruk op de mogelijke stortlokatie ten westen van de Rug van Baarland.

De T0 van de Rug van Baarland is opgedeeld in de ecologie van het subtidaal en het intertidaal. In het ecologisch monitoringsprogramma van de Rug van Baarland en omstreken is het macrobenthos (ongewervelde bodemdieren >1 mm) als indicator gebruikt. Het macrobenthos is zeer gevoelig voor veranderingen van de omgeving. Het heeft daarnaast een essentiële rol in de

ecologie van het estuarium: het is het voornaamste voedsel van vele vogels die in het estuarium overwinteren of broeden, en speelt ook een rol als voedsel voor vissen. Het macrobenthos is daarom een belangrijke parameter, waarmee de ecologische gevolgen van verstoringen zoals het storten van sediment, te meten zijn. Naast het macrobenthos zijn relevante omgevingsfactoren bepaald, zowel in het subtidaal (hoogteligging en sedimentsamenstelling) als in het intertidaal (sedimentsamenstelling en microfytobenthos (micro-algen die in en op het sediment leven), door intensieve bemonstering.

In het subtidaal werd een zeer rijke macrobenthosgemeenschap gevonden in het potentiële stortgebied, met de hoogste biomassa van macrobenthos in slibrijk, laagdynamisch substraat. Twee dichtbijgelegen subtidale gebieden, die als controle zijn bemonsterd, hadden een significant lagere biomassa, dichtheid en soortenrijkdom. Het onderzoek toont het nut aan van een intensieve inventarisatie voorafgaand aan het storten. Het laat ook zien dat een controlegebied voor een potentiële stortlokatie niet alleen moet worden uitgekozen op vergelijkbare diepte, maar vooral op een vergelijkbaar slibgehalte en substraatdynamiek. Gezien de grote ecologische rijkdom van het potentiële stortgebied ten westen van de Rug van Baarland kan men zich afvragen of de stortlokatie geschikt is. Inmiddels is de potentiële stortlokatie daarom verlegd naar het meer dynamische deel ten westen van de plaat.

In het intertidaal is een redelijk hoge biomassa macrobenthos gevonden met een groot aandeel *Macoma balthica* (nonnetje), en plaatselijk grote dichtheden van met name *Hydrobia ulvae* (wadslakje). De uiterste westzijde van de plaat is armer aan biomassa. De hoeveelheid chlorofyl neemt ook toe van west naar oost op de plaat. Hydrodynamische metingen in het intertidaal laten grote verschillen zien in hydrodynamiek, met zowel eb- als vloed-dominantie.

Er is gebruik gemaakt van teledetectie vanuit een vliegtuig om jaarlijks gebiedsdekkende, zeer gedetailleerde informatie over het sediment en chlorofylgehalte te verkrijgen. Deze beelden, ingewonnen in augstus 2007 en 2008, vormen de T0 van het intertidaal van de oostelijke Westerschelde, samen met een intensieve groundtruthing op een aantal slikken en platen. De beelden zijn geclassificeerd tot sediment-ecotopenkaarten, waarin onderscheid is gemaakt in korrelgrootte (nat, droog, fijn of slibhoudend zand en waterverzadigd sediment), microfytobenthos (matig hoge, hoge en zeer hoge concentratie), en schor. De classificaties van 2007 en 2008 zijn met elkaar vergeleken. Verschillen in sedimentsamenstelling en microfytobenthosbiomassa kunnen het gevolg zijn van seizoenale en jaar-tot-jaar veranderingen. De getijomstandigheden tijdens het inwinnen van de vlucht zijn verder bepalend voor verschillen in areaal, vocht en microfytobenthosconcentraties aan het oppervlak. Tussen 2007 en 2008 is echter met name het aandeel slibhoudend zand toegenomen, ten nadele van vrijwel alle klassen. Ook de bedekking schor is toegenomen, ten nadele van het microfytobenthos. Het microfytobenthos is in alle klassen sterk verminderd. Een statistische analyse van de monsters die zijn genomen voor de groundtruthing van de vluchten bevestigt dat het slibgehalte significant hoger was in 2008 dan in 2007.

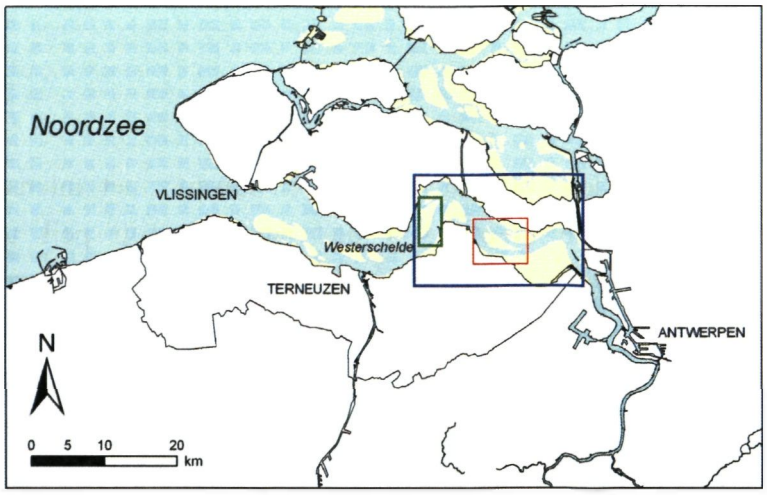
1. Inleiding

In vele kustwateren, estuaria en havens met intensieve scheepvaart wordt regelmatig gebaggerd om de diepte van de vaargeulen op peil te houden. Bovendien wordt ook aanlegbaggerwerk uitgevoerd wanneer wordt beslist een vaargeul te verruimen om grotere schepen toegang tot de havens te verschaffen. Zowel voor het baggerwerk voor aanleg als voor onderhoud moeten stortplaatsen worden gevonden voor grote hoeveelheden zand of slib.

Ook voor de Westerschelde (Figuur 1) zal een verdere verdieping een grote baggerinspanning vergen. Tot nu toe werd sediment gestort in nevengeulen, bij voorkeur niet al te ver verwijderd van de drempels waar het sediment wordt opgebaggerd. Het gevolg daarvan was dat de getijdenstromen het zand binnen de kortste keren terugbrachten. Het is ook de vraag hoeveel sediment in de vloed- en ebscharen gestort kan worden tot deze hun schaarfunctie verliezen, en er een ééngeulstelsel zou komen. Na de tweede verdieping van de Westerschelde in 1997/1998 bepaalde Rijkswaterstaat dat de baggerspecie uit het oostelijke deel van de Westerschelde, waar het onderhoud van de vaargeul het meeste werk gaf, verder naar het westen moest worden gestort. Die voorwaarde werd mede gesteld om te voorkomen dat de nevengeulen zo ver met baggerzand zouden worden gevuld dat de stroming er geheel zou verdwijnen. Dat zou ten koste gaan van het kenmerkende karakter van de Westerschelde als estuarium met een vertakt geulensysteem.

De Haven van Antwerpen heeft om een verdere verdieping van de Westerschelde gevraagd, om de toegang van de steeds groter wordende schepen te kunnen blijven waarborgen. Hiervoor is een langetermijn visie (LTV) opgezet door zowel de Nederlandse als Vlaamse overheid voor de drie belangrijkste functies van het estuarium: veiligheid (tegen overstroming), toegankelijkheid van de havens en natuur en is een *Ontwikkelingsschets* opgesteld voor een duurzame toekomst van de Westerschelde. Binnen het raamwerk van LTV is door de Haven van Antwerpen een onafhankelijke groep van deskundigen (Port of Antwerp Expert Team: PAET) aangewezen om ideeën te formuleren om het storten op een constructieve manier te gebruiken voor het morfologisch beheer van de Westerschelde. PAET heeft ervoor gepleit het materiaal te storten op plaatsen waar het de natuurwaarden van het estuarium kan versterken, en waar het tevens kan helpen om de stromingspatronen in het estuarium te reguleren en de morfologie te beheren. Het basisidee was om het storten te verplaatsen van de secundaire (meestal vloed-)geul naar ondiepe lokaties dicht bij de eroderende koppen van platen. Daardoor zouden drie doelstellingen kunnen worden verenigd: (1) het positief beïnvloeden van de morfologie ten gevolge van het storten (bijv. effectievere verdeling eb-vloedstroom), (2) het gestorte zand wordt gestort met als doel dat het blijft liggen, in tegenstelling tot stortingen in de nevengeul. Hierdoor

zal het onderhoud op de baggerdrempels afnemen, (3) door het wijzigen van de stromingen ter hoogte van de plaatkop zou er slibrijk materiaal op worden afgezet in het subtidaal en intertidaal, zodat het areaal ecologisch waardevol gebied toeneemt. Als mogelijk geschikte lokatie werd de Plaat van Walsoorden aangewezen (Figuur 1). Hier is in 2004 en 2006 de *alternatieve stortstrategie* in de praktijk, maar op kleine schaal, toegepast (Waterbouwkundig Laboratorium, 2003 en 2006). Een uitgebreid monitoringsprogramma werd opgezet om de eventuele effecten van de proefstorting op de morfologie, sedimentologie, hydrodynamica en ecologie te volgen (Leys et al., 2006; Plancke & Ides, 2006; Forster et al., 2006; Van der Wal et al., 2007, Vos et al. 2009; Van der Wal et al., 2010). De resultaten van de twee experimenten zijn morfologisch gezien positief, en er zijn geen negatieve ecologische effecten waargenomen. Desondanks werd er vooralsnog geen ecologisch waardevolle habitat gecreëerd.



Figuur 1. Oostelijke Westerschelde (in blauwe rechthoek), Rug van Baarland (in groene rechthoek) en Plaat van Walsoorden (in rode rechthoek).

Inmiddels is in de *Ontwikkelingsschets* het concept van 'flexibel storten' opgenomen om eventueel negatieve effecten van de verruiming van de vaargeul te voorkomen of te verminderen. Het meergeulenstelsel wordt hierbij in stand gehouden. Daarnaast wordt een toename beoogd van ecologisch waardevol gebied, d.i. laagdynamisch ondiep water en intergetijdengebied. De uitgangspunten zijn hierdoor vergelijkbaar met die van de alternatieve stortstrategie. Bij flexibel storten wordt bijgestuurd op basis van (voortschrijdend) inzicht, monitoring van effecten en praktische uitvoeringsaspecten zonder dat hiervoor een nieuwe vergunning nodig is.

Onderzocht moet worden welke lokaties in de Westerschelde, waaronder de plaatranden, geschikt zouden zijn voor het bergen van baggerspecie op een morfologische en ecologisch verantwoorde wijze. Eén van de meest waarschijnlijke zones die in aanmerking komt voor het toepassen van zo'n flexibele stortstrategie is de zuidwestelijke rand (plaatrand) van de Rug van Baarland (zie Figuur 1). Met het oog op het flexibel stortbeleid is opdracht verleend voor het ontwikkelen van een ecologisch monitoringprogramma in dit gebied. Het macrobenthos (ongewervelde bodemdieren >1 mm) is als indicator gebruikt. Het macrobenthos is zeer gevoelig voor veranderingen van de omgeving (Van der Wal et al., 2008). Het heeft daarnaast een essentiële rol in de ecologie van het estuarium: het is het voornaamste voedsel van vele vogels die in het

estuarium overwinteren of broeden, en speelt ook een rol als voedsel voor vissen. Het macrobenthos is daarom een belangrijke parameter, waarmee de ecologische gevolgen van verstoringen zoals het storten van sediment, te meten zijn. Naast het macrobenthos zijn relevante omgevingsfactoren bepaald, zowel in het subtidaal (hoogteligging en sedimentsamenstelling) als in het intertidaal (sedimentsamenstelling en microfytobenthos (micro-algen die in en op het sediment leven), door bemonstering.

Daarnaast is tijdens het onderzoek een aantal andere mogelijke alternatieve stortlokaties aangewezen, waaronder de diepe delen van de geulen in het oostelijk deel van de Westerschelde. Van deze gebieden is ook een T0 van de ecologische toestand van het intertidaal in kaart gebracht.

In dit rapport wordt dus een inventarisatie van de ecologische T0 beschreven van het oostelijk deel van de Westerschelde, en met name van de Rug van Baarland. Een (statistische) analyse van de resultaten valt buiten de opdracht voor dit onderzoek, en kon daarom slechts summier worden uitgevoerd. Het onderzoek is uitgevoerd door NIOO. De hyperspectrale surveys zijn georganiseerd, geclassificeerd en geanalyseerd door VITO-TAP.

2. T0 Rug van Baarland: subtidaal en intertidaal

2.1. T0 Rug van Baarland: subtidaal

2.1.1. Macrobenthos

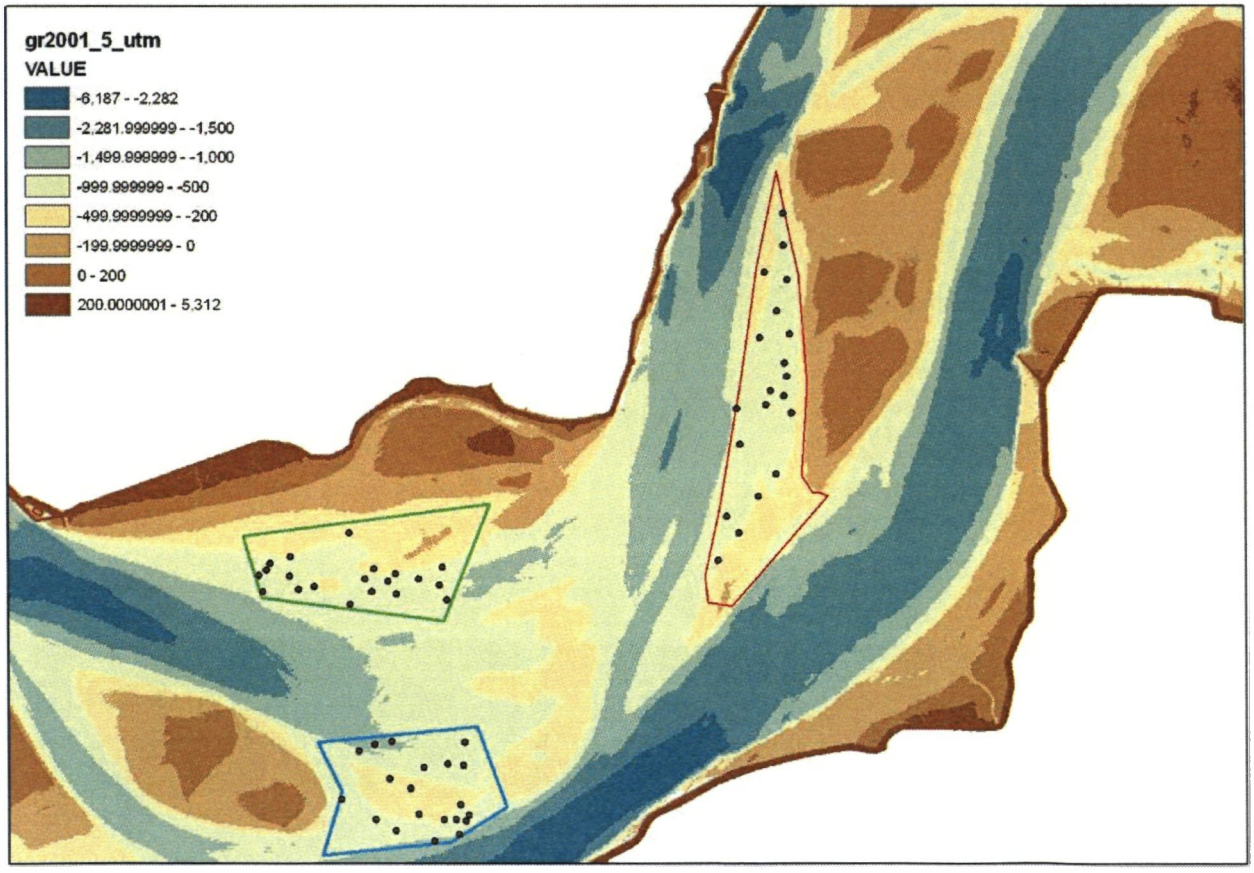
Bemonstering macrobenthos

NIOO heeft subtidale bemonsteringen uitgevoerd als T0 voor een geplande plaatrandstorting bij de Rug van Baarland. De bemonstering richt zich op de volgende drie subtidale gebieden (Figuur 2):

(1) potentiële stortlokatie (potentieel impactgebied, I1)

(2) controlegebied ten zuiden van de Plaat van Baarland/Slikken van Everingen (gebied C1).

(3) controlegebied ten oosten van de Plaat van Everingen (gebied C2)



Figuur 2. Bemonsteringspunten in het subtidaal, september 2007, met het potentiele impactgebied I1 (rood), en de controlegebied C1 (groen) en C2 (blauw), met hoogten in cm NAP.

De subtidale bemonstering voor de T0 is uitgevoerd in september 2007 (najaarsmeting) en in april 2008 (voorjaarsmeting), zodat ook de seizoensvariatie in beeld is gebracht. Binnen elk van de drie gebieden werden bij iedere campagne 20 stations willekeurig gekozen. Tijdens de uitvoering op 20 en 24 september bleken de hoogstgelegen punten (ca >-3 m NAP) zelfs niet te kunnen worden bemonsterd bij vloed. Daarom zijn op 27 september de 12 overgebleven monsters genomen op random plaatsen, maar met een diepte van minimaal -4 m NAP. In de periode 7-11 april 2008 zijn opnieuw monsters genomen op 60 random lokaties in het subtidaal (wederom 20 lokaties per gebied), weer met een minimale monsterdiepte van -4 m NAP.

De monsters werden genomen en verwerkt volgens de (ISO) protocollen die NIOO toepast voor de Rijkswaterstaat-monitoring. Met behulp van het NIOO onderzoeksvaartuig 'Luctor' werd de bemonstering uitgevoerd met een Reineck box-corer (oppervlak 0.77 m^2) tot op een diepte van 30 cm (Figuur 3). Aan boord werden drie sub-cores (8 cm diameter en 30 cm diepte) uit de Reineck box core gestoken en samengevoegd. Dit monster werd gezeefd op een zeef met maaswijdte 1 mm en in potten opgeslagen. Het macrobenthos monster is gefixeerd met een scheutje pH-geneutraliseerde formaldehyde voor analyse in het laboratorium.

Figuur 3. Monstername met box corer (foto links), nemen van subcores voor macrobenthos en sediment (foto midden) en zeven van de subcores voor macrobenthos (foto rechts).

Laboratoriumanalyse van het macrobenthos

De macrobenthosmonsters zijn in het laboratorium uitgezocht en gedetermineerd aan de hand van recente literatuur. Bij eventueel taxonomische problemen is een referentiecollectie aanwezig, die wordt beheerd door een taxonoom. Alle dieren worden, indien mogelijk, tot op soortniveau gedetermineerd, anders wordt een hoger taxonomisch niveau gehanteerd. Bodemdieren die tot dezelfde taxa behoren, zijn geteld en nat gewogen. Aan de hand van conversiefactoren zijn biomassagegevens berekend. Tweekleppigen zijn gewogen en gemeten en er is een regressielijn gemaakt door gedroogde exemplaren per lengteklasse gedurende 2 uur te verassen op 580°C. De soorten zijn daarnaast ingedeeld in functionele groepen, op grond van hun voornaamste voedingsbron, namelijk in: *Suspension Feeders* SF (filtreerders), *Deposit Feeders* DF, *Surface Deposit Feeders* SDF, *Predators* P, *Omnivores* O, en een kleine niet ingedeelde groep. Een overzicht van de meest voorkomende soorten is gegeven in Tabel 1. De analyse levert de volgende gegevens op:

(1) de biomassa van de soorten, d.i. het totale drooggewicht aan asvrije organische stof van de organismen per m^2. De biomassa omvat alle organische stof, maar omdat asvrij drooggewicht wordt gebruikt, bijvoorbeeld niet de kalk van schelpen.

(2) soortendichtheid, d.i. het aantal individuen dat van een soort wordt gevonden per m^2. Het aantal gevonden individuen per monster wordt hiertoe gedeeld door de oppervlakte van het monster.

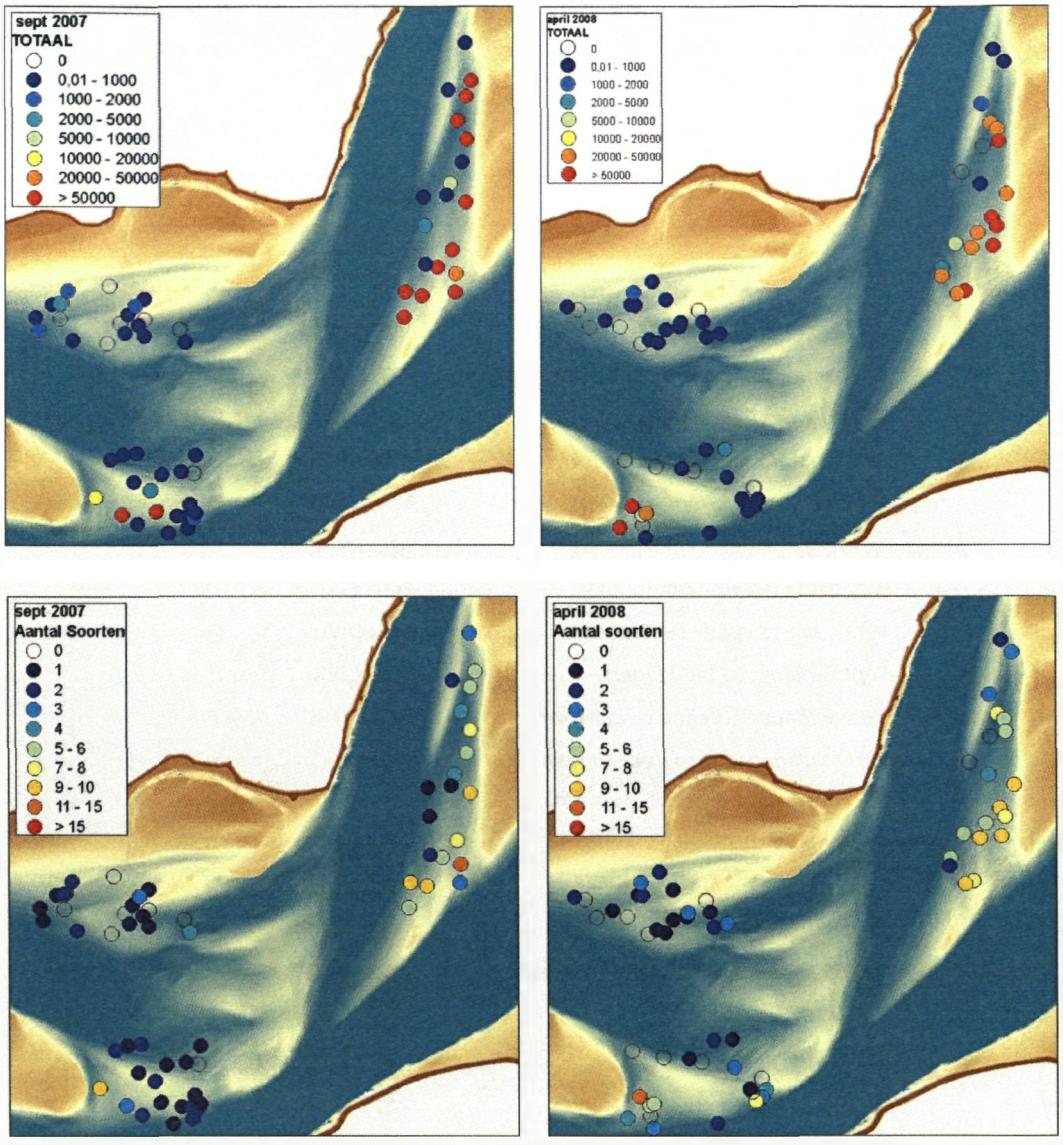
(3) diversiteit van een gemeenschap, een aanduiding voor hoeveel verschillende soorten er op een plaats zijn aangetroffen. Als maat voor diversiteit is hier gewerkt met het aantal soorten per monster. Deze maat is afhankelijk van monstergrootte, en kan dus niet per m^2 worden omgerekend; soortenrijkdom is daarom een relatieve en geen absolute maat.

Verspreiding van het macrobenthos nabij de Rug van Baarland

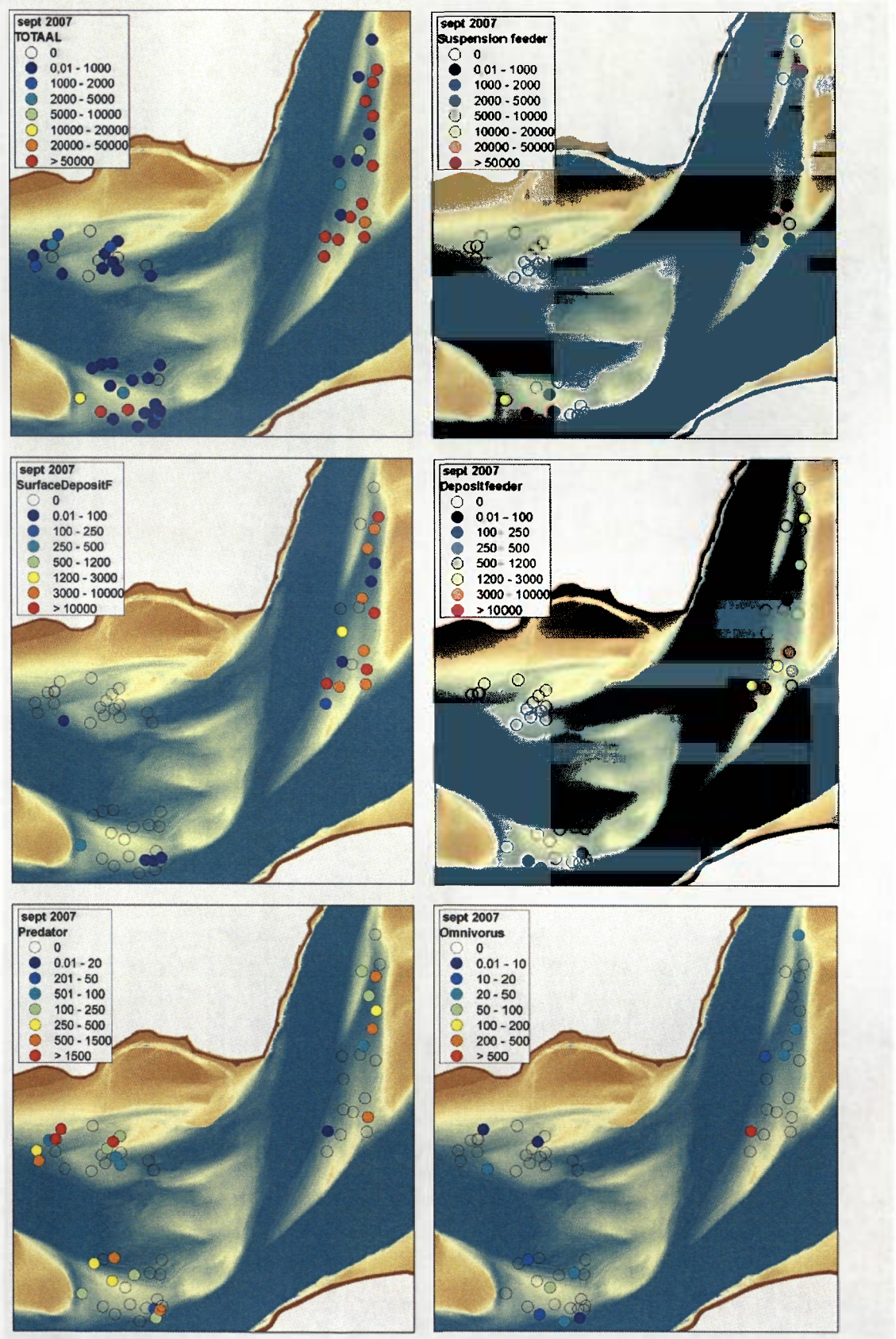
Figuur 4 geeft de resultaten van de macrobenthosbemonstering in september 2007 en april 2008. Het patroon van september 2007 en april 2008 is consistent. Opvallend is de grote biomassa en het grote aantal soorten van monsterpunten bij het geplande plaatrandstortgebied. Deze hoge waarden worden veroorzaakt door hoge biomassa's *deposit feeders*, *surface deposit feeders* en filtreerders (*suspension feeders*) (Figuur 5). Dit zijn met name hoge biomassa's *Ensis* en grote dichtheden *Aphelochaeta marioni* en *Heteromastus filiformis*. De controlegebieden zijn over het algemeen iets armer, met uitzondering van het gebied net ten oosten van de Plaat van Everingen (Figuur 6-9). Een *ANOVA* analyse is uitgevoerd om te toetsen of de gevonden verschillen in macrobenthos tussen de sites en tussen de twee campagnes significant zijn (Tabel 2). Er blijken significante verschillen te zijn in totale biomassa, totale dichtheid en aantal soorten macrobenthos tussen de sites: I1 is het rijkst, en C1 is het armst aan macrobenthos. De verschillen tussen de twee seizoenen (iets hogere biomassa in het najaar, en een iets hogere dichtheid in het voorjaar) zijn niet significant.

Tabel 1. Enkele kenmerkende macrobenthossoorten van de Rug van Baarland en omgeving, met voedselgroep (Deposit Feeders DF, Omnivores O, Predators P, Surface Deposit Feeders SDF en Suspension Feeders SF).

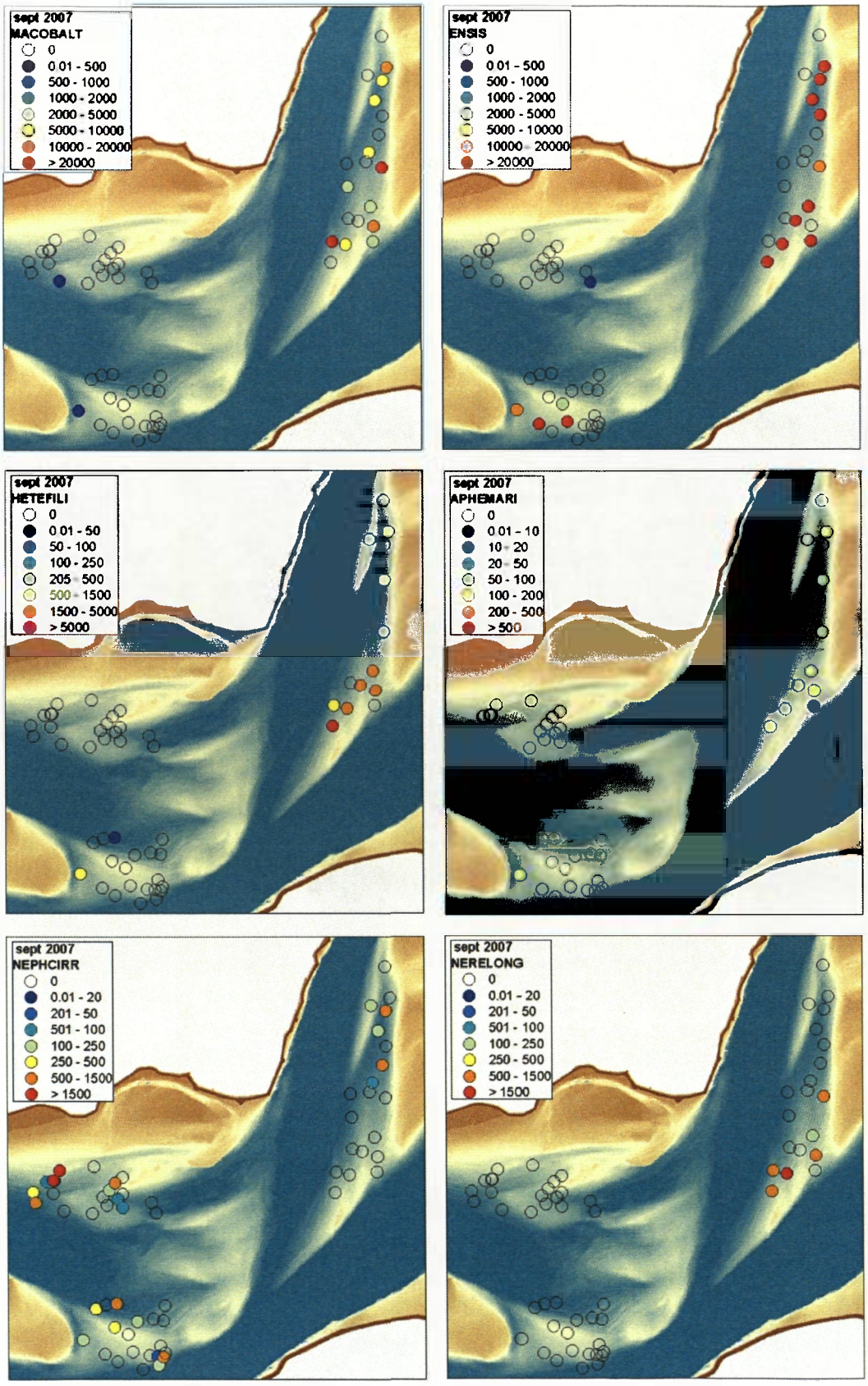
Fylum en klasse	Soort	Afkorting	Groep
ANNELIDA (ringwormen)			
Oligochaeta (regenwormen)			
Polychaeta (borstelwormen)	*Arenicola marina* (Zeepier)	ARENMARI	DF
	Heteromastus filiformus (Rode draadworm)	HETEFILI	DF
	Capitella Capitata (Slangpier)	CAPICAPI	DF
	Scolopsos armiger (Wapenworm)	SCOLARMI	DF
	Aphelochaeta marioni (een kokerworm)	APHEMARI	DF
	Polydora ligni (een kokerworm)	POLYLIGN	DF
	Pygospio elegans (Zandpijp)	PYGOELEG	DF
	Nereis diversicolor (Zeeduizendpoot)	NEREDIVE	O
	Nepthys cirrosa (Zandzager)	NEPHCIRR	P
	Eteone longa (Groengele wadworm)	ETEOLONG	P
	Spio martinensis (een kokerworm)	SPIOMART	SDF
MOLLUSCA (schelpdieren)			
Gastropoda (slakken)	*Hydrobia ulvae* (Wadslakje)	HYDRULVA	SDF
Bivalvia (tweekleppigen)	*Cerastoderma edule* (Kokkel)	CERASEDUL	SF
	Macoma balthica (Nonnetje)	MACOBALT	SDF
	Scrobicularia plana (Platte slijkgaper)	SCROPLAN	SDF
ARTHROPODA (geleedpotigen)			
CRUSTACEA (schaaldieren)			
Isopoda (pissebedden)	*Eurydice pulchra* (Agaatpissebed)	EURYPULC	SDF
Amphipoda (vlokreeften)	*Bathyporeia pilosa* (Kniksprietkreeft)	BATHPILO	SDF
	Corophium volutator (Slijkgarnaal)	COROVOLU	SDF
	Haustorius arenarius (Zandvlokreeft)	HAUSAREN	SDF



Figuur 4. Totale biomassa (in mg/m^2) van het macrobenthos en aantal soorten.



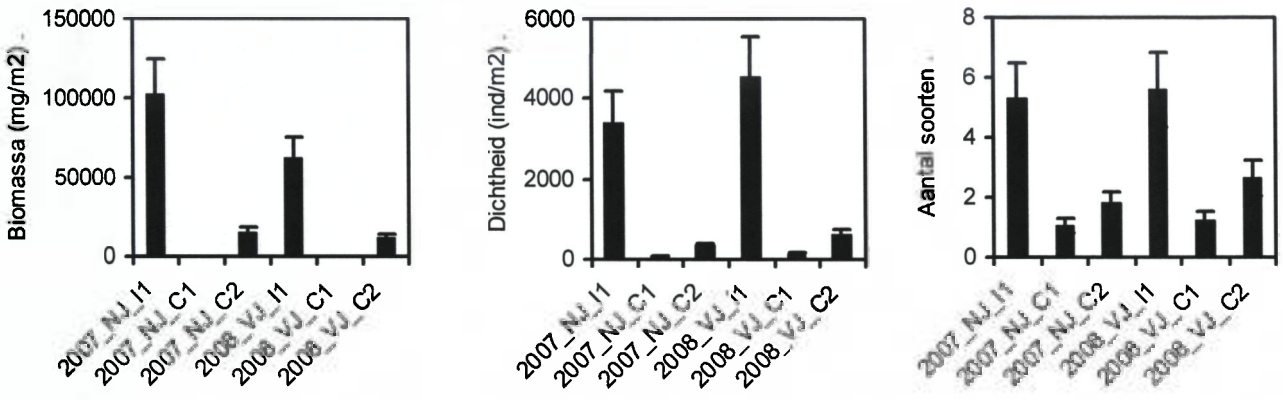
Figuur 5. Biomassa (in mg/m^2) van het macrobenthos voor de verschillende functionele groepen voor september 2007.



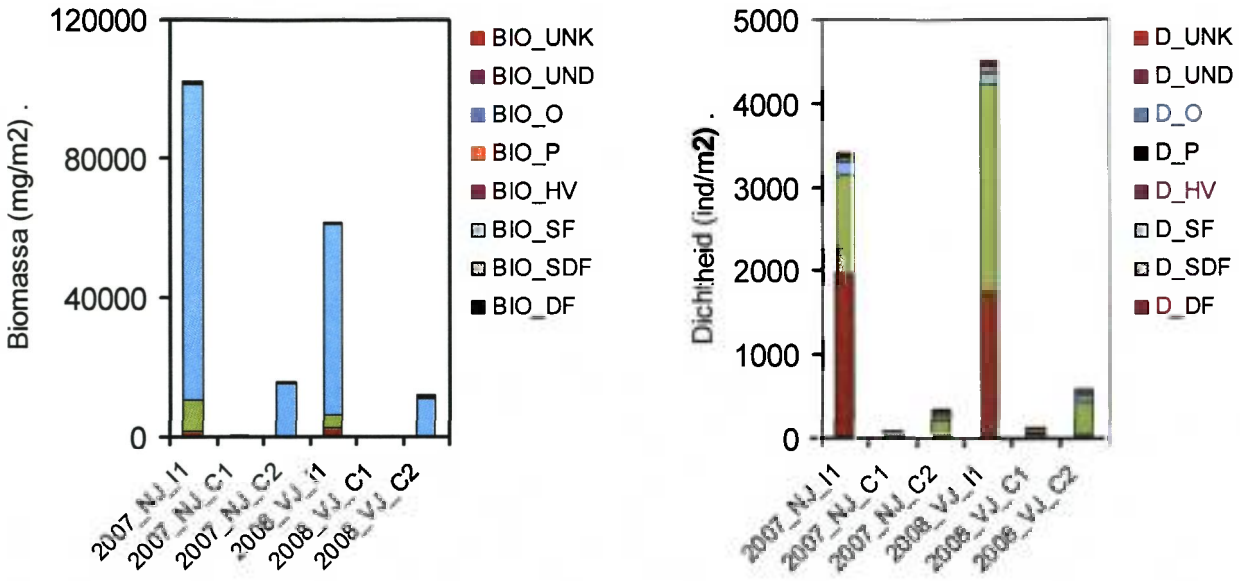
Figuur 6. Biomassa (in mg/m^2) van het macrobenthos voor de verschillende macrobenthossoorten in september 2007.

Tabel 2. ANOVA voor het toetsen van verschillen in macrobenthos tussen subtidale gebieden en seizoenen (monstername in september 2007 en april 2008).

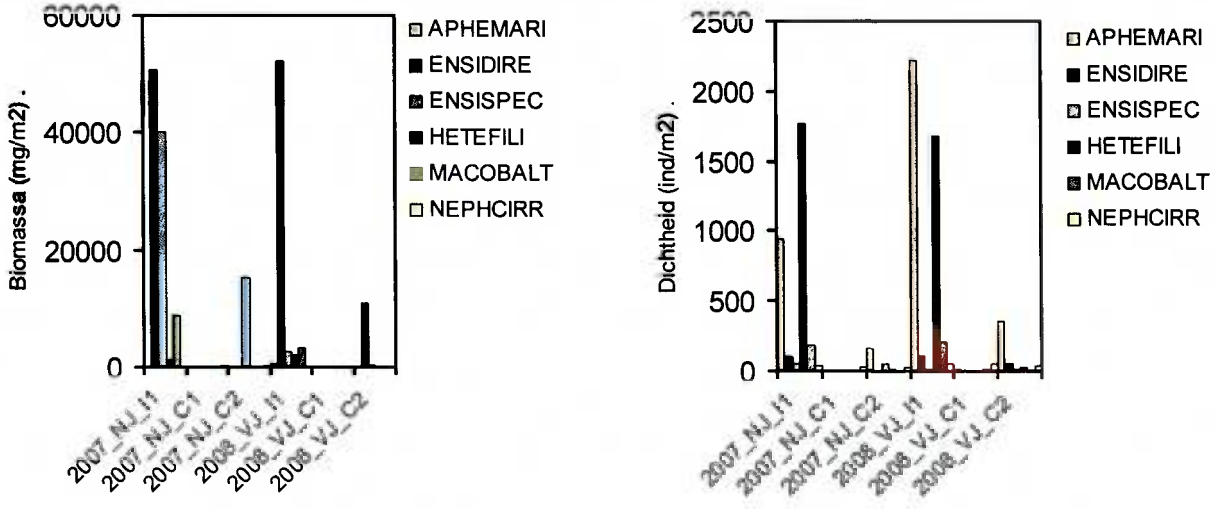
Variable	Effect	SS	df	MS	F	p
ln(biomassa)	Seizoen	17.5	1	17.5	1.54	.217
	Gebied	721.4	2	360.7	31.79	.000*
	Seizoen*Gebied	.8	2	.4	.04	.964
ln(dichtheid)	Seizoen	.1	1	.1	.02	.901
	Gebied	257.1	2	128.5	23.81	.000*
	Seizoen*Gebied	9.4	2	4.7	.87	.423
Aantal soorten	Seizoen	6.1	1	6.1	1.03	.313
	Gebied	400.6	2	200.3	33.81	.000*
	Seizoen*Gebied	2.4	2	1.2	.21	.814



Figuur 7. Gemiddelde biomassa, dichtheid en aantal soorten per subtidaal gebied. I1 is het gebied ten westen van de Rug van Baarland, C1 is het gebied ten zuiden van de Plaat van Baarland en C2 is het gebied nabij de Plaat van Everingen.



Figuur 8. Gemiddelde biomassa en dichtheid van trofische groepen (DF = deposit feeders, SDF = surface deposit feeders, SF= Suspension feeders, HV=herbivores, P=predators, O=omnivores, UND = undetermined en UNK= unknown).



Figuur 9. Gemiddelde biomassa en dichtheid van een aantal kenmerkende soorten (zie Tabel 1).

2.1.2. Korrelgrootte-verdeling van het sediment

Bemonstering van het sediment

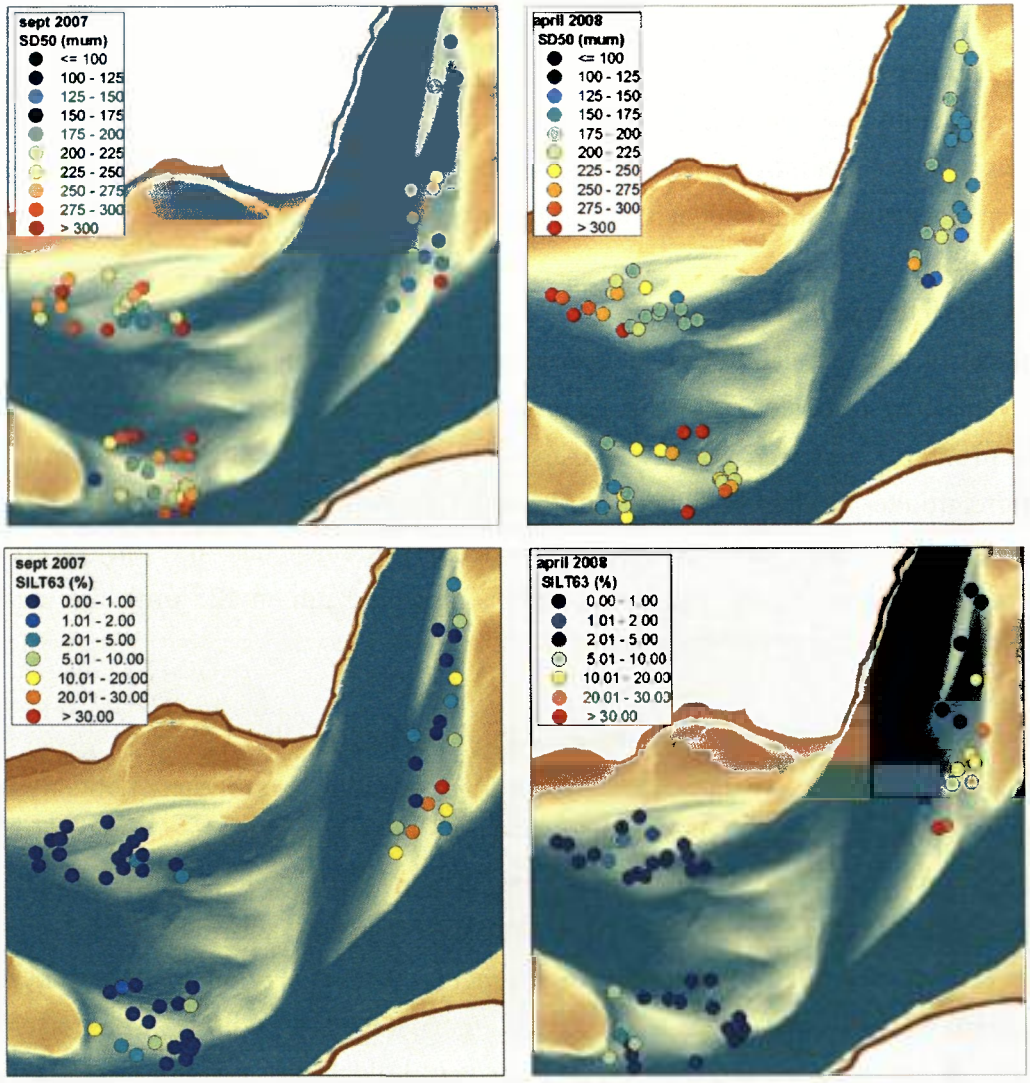
De korrelgrootteverdeling van het sediment is in september 2007 en april 2008 bepaald op dezelfde lokaties als het macrobenthos. Uit dezelfde box-core werd sediment verzameld, gebruik makend van een afgezaagde spuit met een binnendiameter van 2 cm en een diepte van 5 cm.

Laboratorium-analyse van het sediment

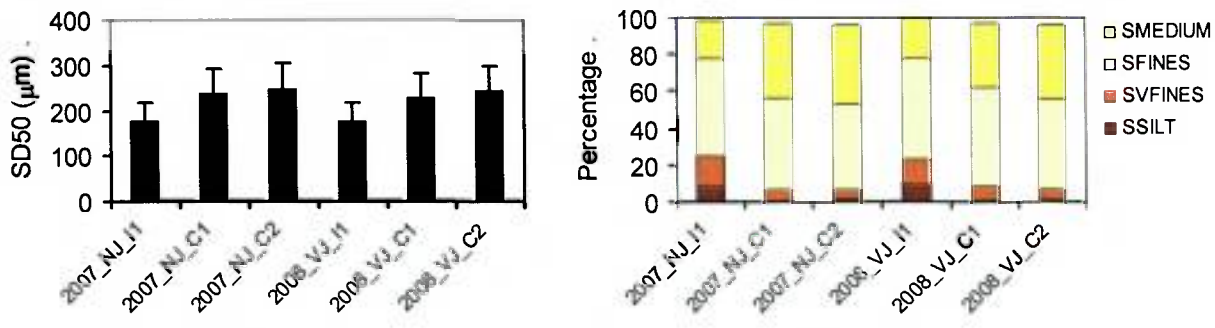
De monsters zijn het laboratorium gevriesdroogd. Daarna zijn ze over een 1 mm zeef gehaald en van ieder monster is vervolgens een submonster van het materiaal < 1mm geresuspendeerd in zoet water en geanalyseerd met behulp van een Malvern *laser particle sizer*. Een aantal korrelgrootte-parameters is bepaald, inclusief de mediane korrelgrootte (SD50) en het percentage slib (gedefinieerd als het percentage deeltjes kleiner dan 63 µm). Verder zijn onderscheiden: het percentage zeer fijn zand (deeltjes tussen 63 µm en 125 µm), fijn zand (125-250 µm) en middelgrof zand (250-500 µm).

Korrelgrootte-verdeling van het sediment nabij de Rug van Baarland

Figuur 10 laat een grote verscheidenheid aan korrelgroottes zien in het subtidaal, met een voor subtidale begrippen zeer hoog slibgehalte (>10%) op enkele lokaties, met name in het potentiële stortgebied ten westen van de Rug van Baarland. De mediane korrelgrootte is iets kleiner in het potentiële impactgebied dan in de controlegebieden, de hoeveelheid slib en zeer fijn sediment juist iets hoger, en de hoeveelheid grof sediment iets lager (Figuur 11). Voor de mediane korrelgrootte en slibgehalte is een *ANOVA* analyse uitgevoerd om te toetsen of de verschillen in sediment tussen de gebieden significant zijn, en of er verschillen zijn tussen de waarnemingen in september 2007 en april 2008 (Tabel 3). De verschillen tussen de gebieden blijken significant, en de verschillen tussen de seizoenen niet, conform de verschillen in macrobenthos.



Figuur 10. Sedimentparameters van monsters in het subtidaal.



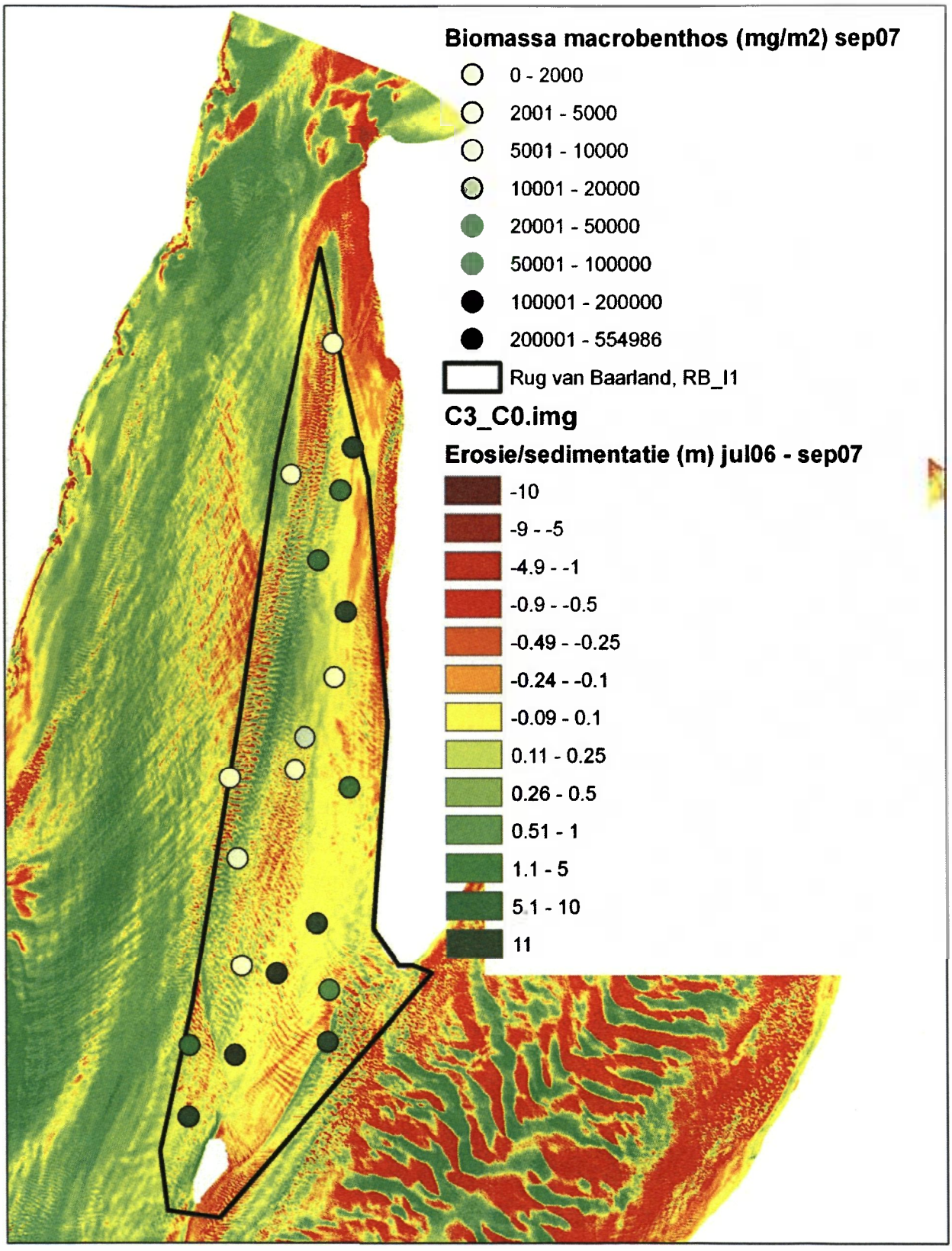
Figuur 11. Sedimentparameters van monsters in het subtidaal, gemiddeld per vak (I1, C1 en C2), en per campagne (najaar 2007 en voorjaar 2008)

Tabel 3. Verschillen in mediane korrelgrootte en slibgehalte (al dan niet arcsinus-getransformeerd) tussen subtidale gebieden en verschillen tussen de monstername in september 2007 en april 2008 getoetst met ANOVA.

Variable	Effect	SS	df	MS	F	p
SD50	Seizoen	806.	1	806.	.26	.609
	Gebied	105E3	2	525E2	17.13	.000*
	Seizoen*Gebied	389.	2	195.	.06	.939
SSILT63	Seizoen	.	1	.1	.00	.949
	Gebied	1512.	2	756.2	21.00	.000*
	Seizoen*Gebied	14.	2	6.9	.19	.825
SSILT63, asin	Seizoen	.000	1	.0000	.02	.886
	Gebied	.865	2	.433	21.61	.000*
	Seizoen*Gebied	0.011	2	0.005	.27	.768

2.1.3. Morfodynamiek

Er is een analyse gemaakt van de multibeammetingen die zijn ingewonnen door Eurosense in het gebied rond de Rug van Baarland. In het gebied worden megaribbels gevonden, die duiden op een hoge dynamiek, zij het dat de ribbels kleiner zijn dan ten zuidoosten van de Rug van Baarland. In GIS zijn verschilkaarten gemaakt van de opeenvolgende surveys. Uit de morfologische veranderingen blijkt dat het gebied ten westen van de Rug van Baarland op veel plaatsen laagdynamisch is (Figuur 12), hoewel een episodisch karakter van de veranderingen (bijvoorbeeld als gevolg van stormen) niet kan worden uitgesloten. De geringe dynamiek komt overeen met de grote ecologische rijkdom die is gevonden. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij het aanwijzen van dit gebied als stortlokatie.



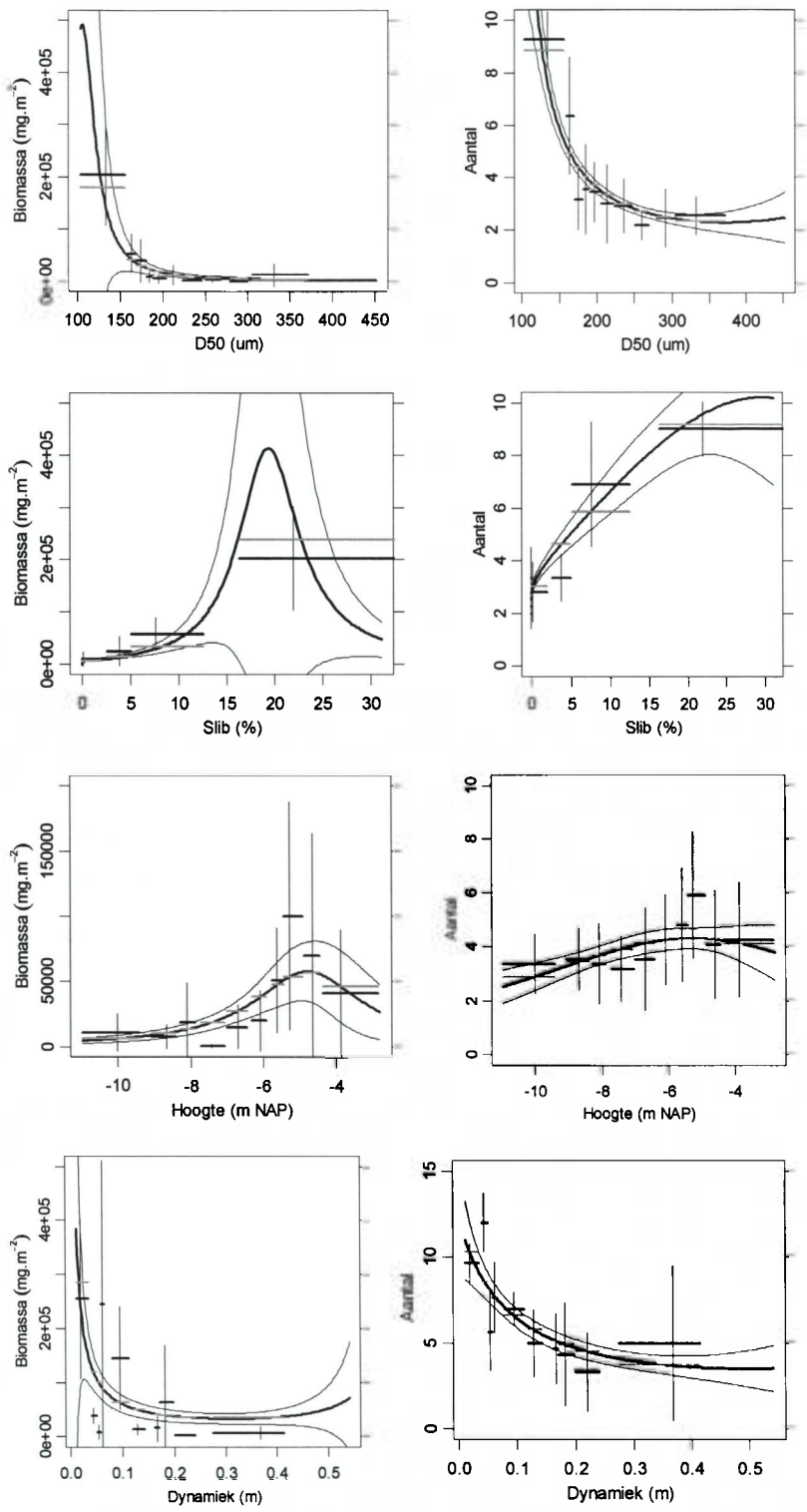
Figuur 12. Totale biomassa (in mg/m^2) van het macrobenthos in september 2007 ten westen van de Plaat van Baarland, met als backdrop de hoogteveranderingen uit twee bathymetrische opnamen door Eurosense. Het gele gebied geeft laagdynamisch gebied weer.

2.1.4. Respons van het macrobenthos op de omgeving

Biomassa, dichtheid en soortenrijkdom van het macrobenthos kunnen samenhangen met de omgeving van het macrobenthos. Om deze relaties te onderzoeken hebben we een regressie-analyse uitgevoerd van het macrobenthos als functie van de omgevingsvariabelen (Figuur 13). De methode is uitvoerig beschreven in Forster et al. (2006) en Van der Wal et al. (2008). De regressie-analyse is een toepassing van een *generalized linear model*; in dit geval zijn geobserveerde y-waarden een inverse polynomiale functie van onafhankelijke variabelen x. Verder wordt aangenomen dat er ruis is op de waarnemingen, en wordt een aannemelijk model voor de fouten verondersteld. Het model wordt aan de gegevens aangepast door het minimaliseren van de log-likelihood. Om na te gaan of de modellen een redelijke fit gaven van de gemiddelde biomassa, dichtheid en soortendiversiteit werd een figuur gemaakt die het model grafisch voorstelt en samenvat. De dikke lijn geeft de modelvoorspelling bij variërende x-waarden, terwijl alle andere x-variabelen constant worden gehouden op hun gemiddelde waarde. De dunne lijnen eromheen geven de standaardfout van de voorspelling. De gegevens zijn samengevat in 10 klassen van elk een gelijk aantal waarnemingen, volgens oplopende waarde van de x-waarde. De dikke zwarte lijn geeft het gemiddelde van de y-waarde van die klassen, terwijl de breedte van diezelfde lijn de x-range van de klasse weergeeft. De vertikale dunne lijn door het gemiddelde geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval van het klassegemiddelde. De overeenkomstige dikke grijze lijn geeft voor elke klasse het gemiddelde van de modelvoorspellingen voor waarnemingen in die klasse.

De analyses zijn uitgevoerd voor biomassa van het macrobenthos en aantal soorten als functie van de mediane korrelgrootte, het slibgehalte en de diepte (afgeleid uit een dieptegrid van Rijkswaterstaat uit 2001 met 20 m resolutie) voor de drie subtidale gebieden gezamelijk. Daarnaast zijn de in de vorige paragraaf beschreven multibeammetingen van respectievelijk 14 juli 2006, 22 augustus 2006, 14 november 2006 en 28 september 2007 gebruikt om per monsterpunt een standaarddeviatie van de hoogte te berekenen als maat voor de substraatdynamiek.

De analyses (Appendix II) laten zien dat het slibgehalte de beste respons geeft (laagste AIC): hogere biomassa's en aantallen soorten zijn gevonden in de slibrijkere gebieden. Voor het aantal soorten is daarnaast de respons op mediane korrelgrootte significant. De respons van het macrobenthos op diepte laat een optimum zien bij -5 m NAP, maar is niet significant, mogelijk door gebruik van een verouderde bathymetrie. Voor het gebied ten westen van de Rug van Baarland blijkt een significante respons op de substraatdynamiek. De interactietermen zijn echter niet significant, hetgeen wijst op een lineaire toename van macrobenthos met afnemende substraatdynamiek.



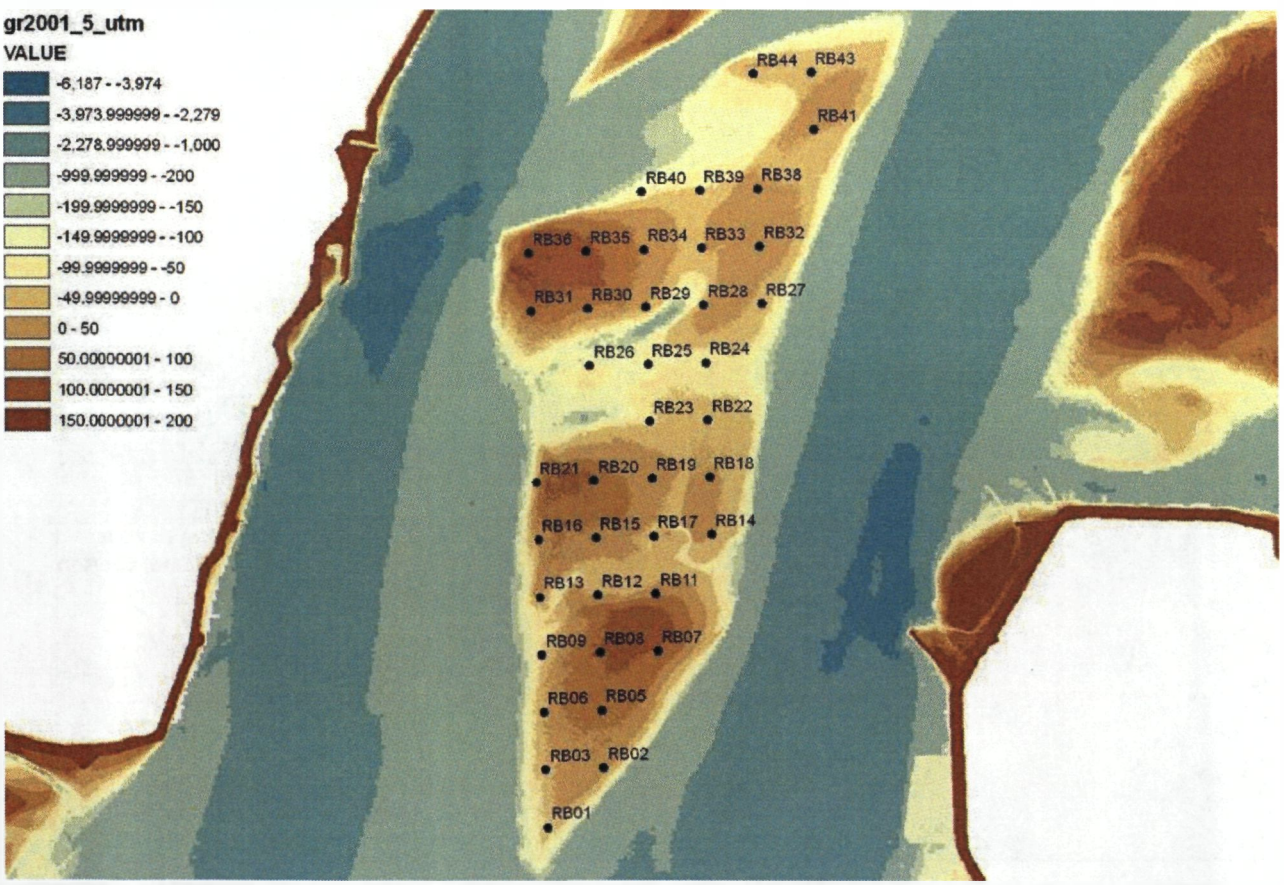
Figuur 13. Responscurven van de biomassa van het macrobenthos en het aantal macrobenthossoorten op mediane korrelgrootte, slibgehalte en diepte van de drie subtidale gebieden. Voor het gebied ten westen van de Rug van Baarland (I1) is daarnaast de respons van het macrobenthos op de dynamiek (gedefinieerd als de standaarddeviatie van de hoogte uit de vier multibeam surveys) berekend. Zie tekst voor uitleg van de figuren.

2.2. T0 Rug van Baarland: intertidaal

2.2.1. Macrobenthos

Bemonstering en laboratoriumnalyse van het macrobenthos

Het macrobenthos op de Rug van Baarland (intertidaal) is bemonsterd in de herfst van 2007 (19 en 20 september) en lente van 2008 (8 en 11 april 2008). Door deze keuze van seizoenen zijn de monsters direct vergelijkbaar met de bemonsteringen in het subtidaal, de bemonsteringen uitgevoerd voor het project Monitoring Walsoorden, en de bemonsteringen die het NIOO uitvoert voor Rijkswaterstaat in de Deltawateren. Omdat in dit stadium nog geen exact impactgebied is aangewezen, is gekozen voor een egale verdeling van de 40 stations over de plaat (Figuur 14). Op de 40 lokaties zijn monsters genomen voor macrobenthos volgens protocollen gebruikt voor de biomonitoring van de Westerschelde. Voor het macrobenthos werden drie cores (8 cm diameter, 30 cm diepte) gestoken en samengevoegd. Dit monster werd in het veld gezeefd op een zeef met maaswijdte 1 mm en gefixeerd met formaldehyde voor latere analyse. De gebruikte analyse-methode voor het macrobenthos is identiek aan die van het subtidaal.

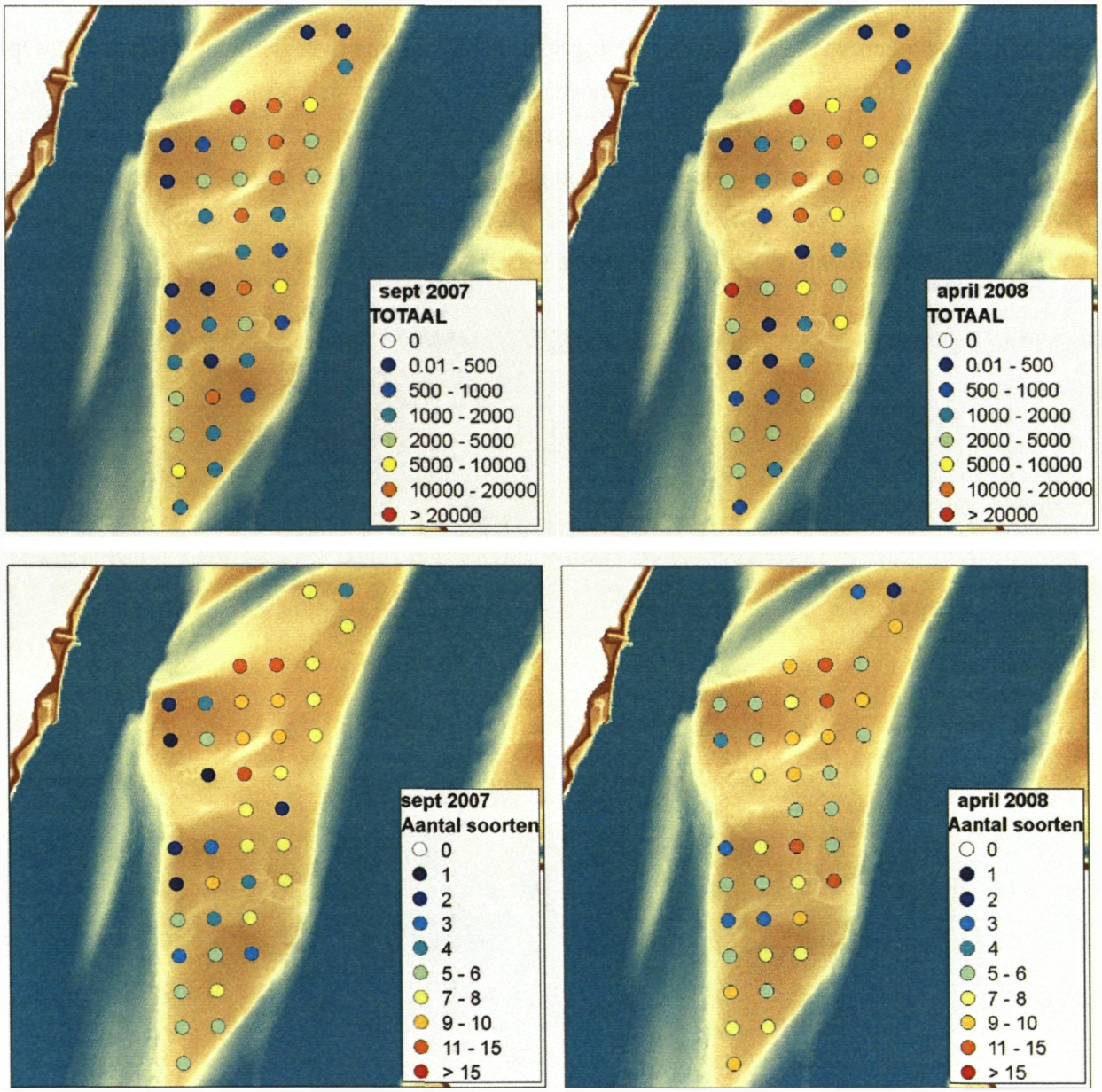


Figuur 14. Bemonsteringslokaties op de Rug van Baarland met hoogteligging (2001) in cm NAP.

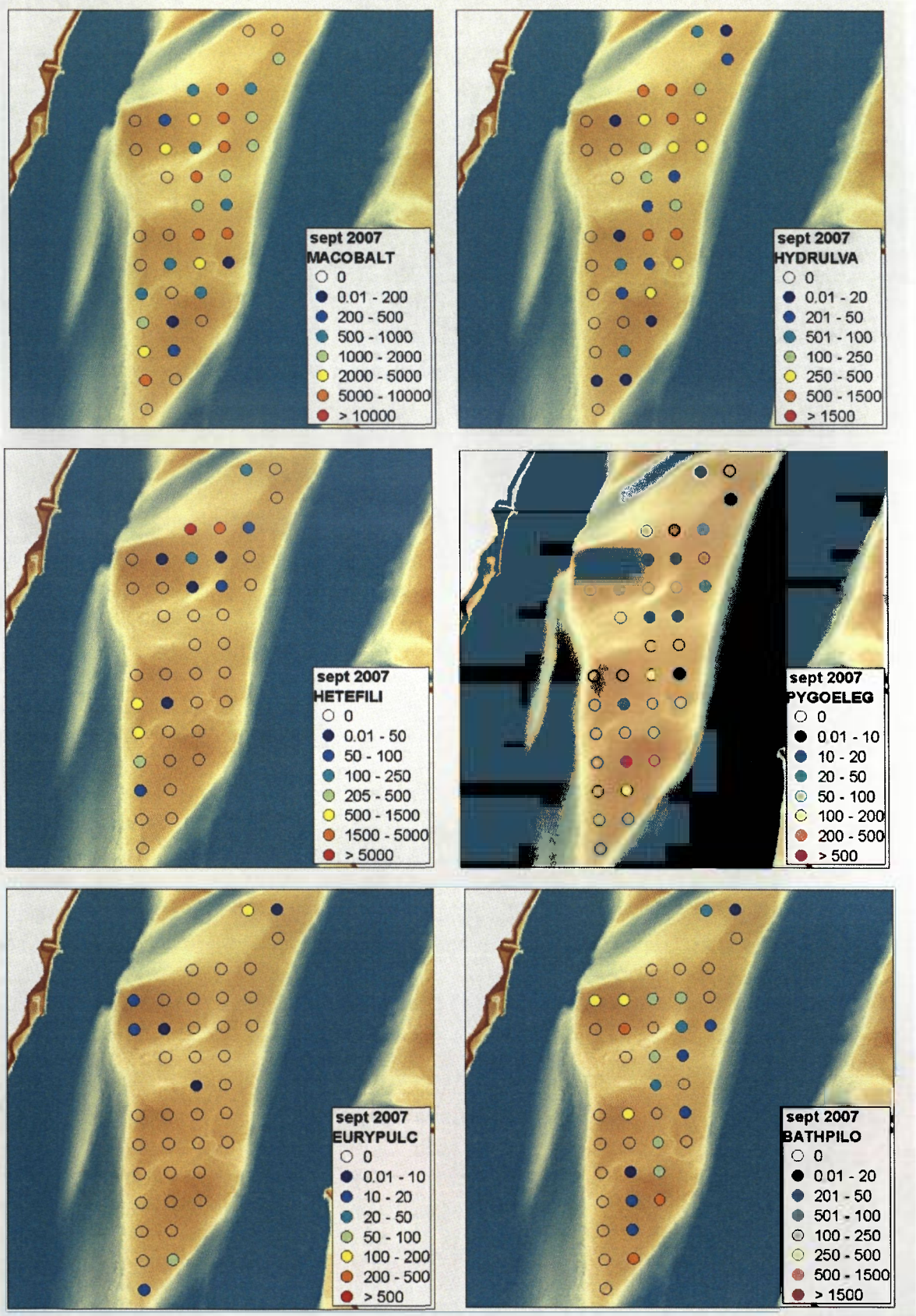
Macrobenthos van de Rug van Baarland

Op de plaat is de grote variatie op korte afstand van het macrobenthos opvallend (Figuur 15). Het macrobenthos is gekenmerkd door het grote aandeel van *Surface deposit feeders* in het intertidaal in zowel biomassa als dichtheid (Figuur 17). Deze wordt veroorzaakt door hoge biomassa's *Macoma balthica*, en grote aantallen van de relatief kleine *Hydrobia ulvae*. De uiterste westzijde van de plaat is relatief arm in macrobenthos (Figuur 16 en 18).

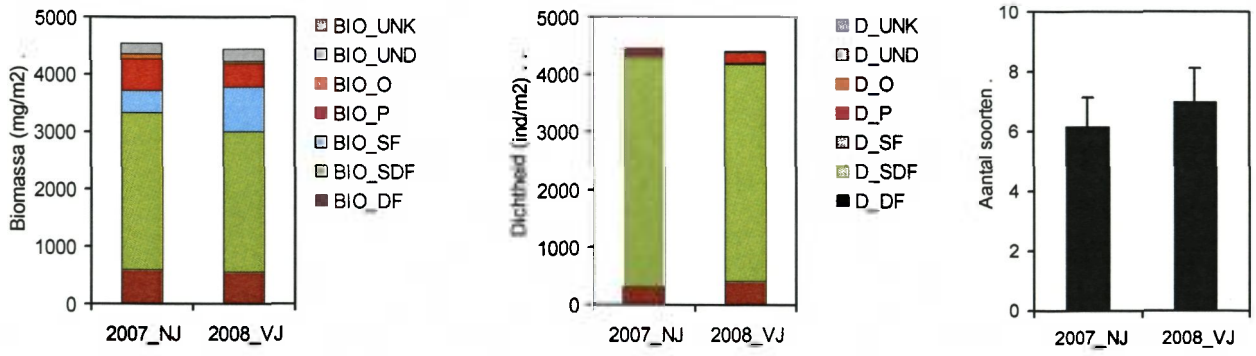
De resultaten van april 2008 zijn consistent met die van september 2007. Totale biomassa en dichtheid van het macrobenthos is iets groter in het voorjaar dan in het najaar, maar het aantal macrobenthossoorten is juist weer iets groter in het najaar. Een *ANOVA* wijst uit dat de verschillen tussen de twee seizoenen niet significant zijn (Tabel 4).



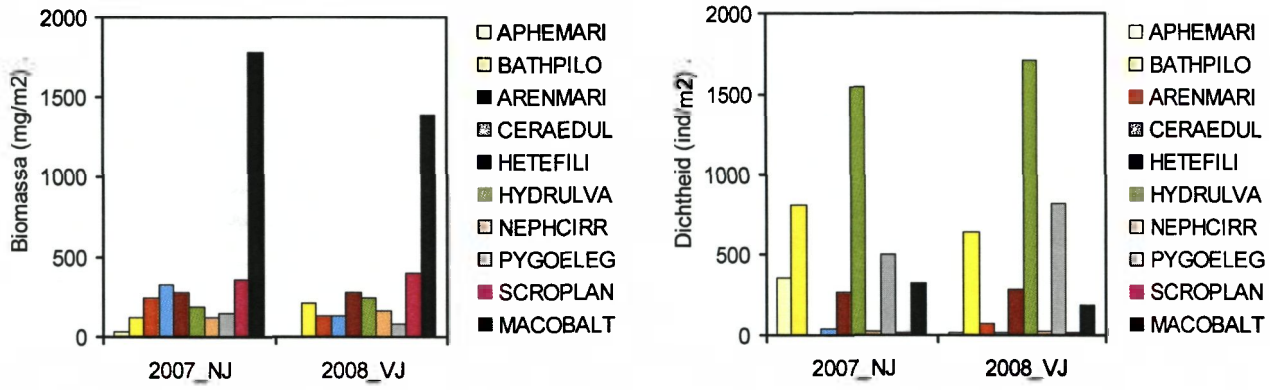
Figuur 15. Totale biomassa (in mg/m2) van het macrobenthos en aantal soorten, Rug van Baarland.



Figuur 16. Biomassa (in mg/m2) van een aantal soorten macrobenthos, Rug van Baarland.



Figuur 17. Biomassa en dichtheid van het macrobenthos per voedselgroep, en aantal soorten, intertidaal Rug van Baarland. Zie Tabel 1 voor afkortingen.



Figuur 18. Biomassa en dichtheid van een aantal karakteristieke macrobenthossoorten, intertidaal Rug van Baarland. Zie Tabel 1 voor afkortingen.

Tabel 4. ANOVA van seizoen (april 2008 versus september 2007) met bemonsteringsstation als random factor.

Variabele	Effect	df	MS	DSE df	DSE MS	F	p
ln(biomassa)	Seizoen	1	.442	38.00	1.250	.353	.556
	Station	39	3.077	38.00	1.250	2.461	.003*
ln(dichtheid)	Seizoen	1	.544	38.00	.518	1.049	.312
	Station	39	3.241	38.00	.518	6.254	.000*
Aantal soorten	Seizoen	1	16.62	38.00	4.984	3.334	.076
	Station	39	13.80	38.00	4.984	2.770	.001*

2.2.2. Chlorofyl-a en andere pigmenten

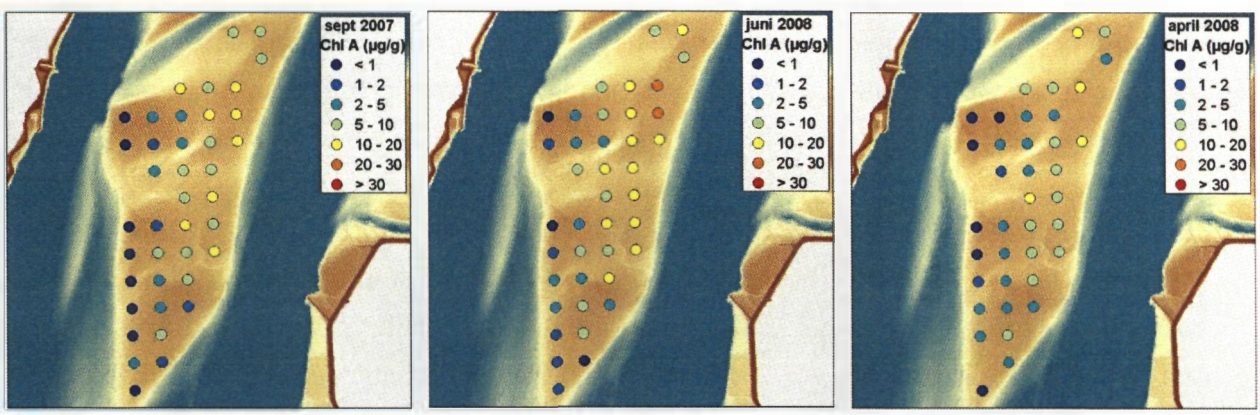
Bemontering en laboratoriumanalyse van chlorofyl-a en andere pigmenten

Voor de bepaling van chlorofyl, als maat voor de hoeveelheid benthische algen, werden door NIOO drie sedimentmonsters gestoken van de bovenste 1 cm met een afgezaagde spuit met binnendiameter van ca 1 cm (totaal oppervlak 3.982 cm^2). Deze monsters werden direct bevroren en in het donker bewaard. De bemonstering is verricht in september 2007, april 2008 en juni 2008.

De monsters worden in het laboratorium gevriesdroogd en verder bewaard in een -80°C vriezer tot latere analyse. De pigmenten zijn geëxtraheerd uit ca 1 g gehomogeniseerd materiaal in 10 ml 90% aceton en geanalyseerd met behulp van de reverse-phase High Performance Liquid Chromatography (HPLC) methode. De verkregen spectra zijn vergeleken met standaard spectra; een piek bij 664 nm is gebruikt voor de identificatie van chlorofyl-a.

Chlorofyl en andere pigmenten op de Rug van Baarland

Het chlorofyl-a gehalte is weergegeven in Figuur 19. Er is een ruimtelijke gradient te zien van west (zeer weinig chlorofyl) naar oost (meer chlorofyl). De verschillen in chlorofyl tussen de campagnes van september 2007 en april 2008 zijn niet significant (Tabel 5).



Figuur 19. Chlorofyl genomen op de 40 monsterstations op de Rug van Baarland.

Tabel 5. ANOVA van seizoen (april 2008 versus september 2007) en station, met bemonsteringsstation als random factor.

Variabele	Effect	df	MS	DSE df	DSE MS	F	p
SSILT63	Seizoen	1	5.01	38.00	3.579	1.400	.244
	Station	40	34.53	38.00	3.579	9.646	.000*
SSILT63, asin	Seizoen	1	.000	38.00	.002	.06	.812
	Stationn	40	.021	38.00	.002	13.73	.000*
SD50	Seizoen	1	5.	38.00	140.7	.03	.853
	Station	40	2282.	38.00	140.7	16.21	.000*
Chla	Seizoen	1	.51	37.00	4.251	.120	.731
	Station	39	32.89	37.00	4.251	7.737	.000*

2.2.3. Spectrale reflectie en digitale foto's

Reflectiemetingen van het sediment

Reflectiemetingen (metingen van de 'kleur' van het sedimentoppervlak) zijn uitgevoerd met behulp van een draagbare hyperspectrale radiometer (TRIOS Ramses) als snelle, alternatieve methode om de hoeveelheid benthische algen vast te stellen in het veld.

Individuele spectra werden gemeten op de vaste stations op een hoogte van 40 cm boven het sedimentoppervlak; per lokatie zijn drie *random* gekozen metingen uitgevoerd. Voor iedere lokatie zijn de spectra geconverteerd naar reflectantie, en het gemiddelde reflectantie-spectrum is per lokatie opgeslagen. Van iedere lokatie is daarnaast ook een digitale foto genomen.

Bepalen vegetatie-index

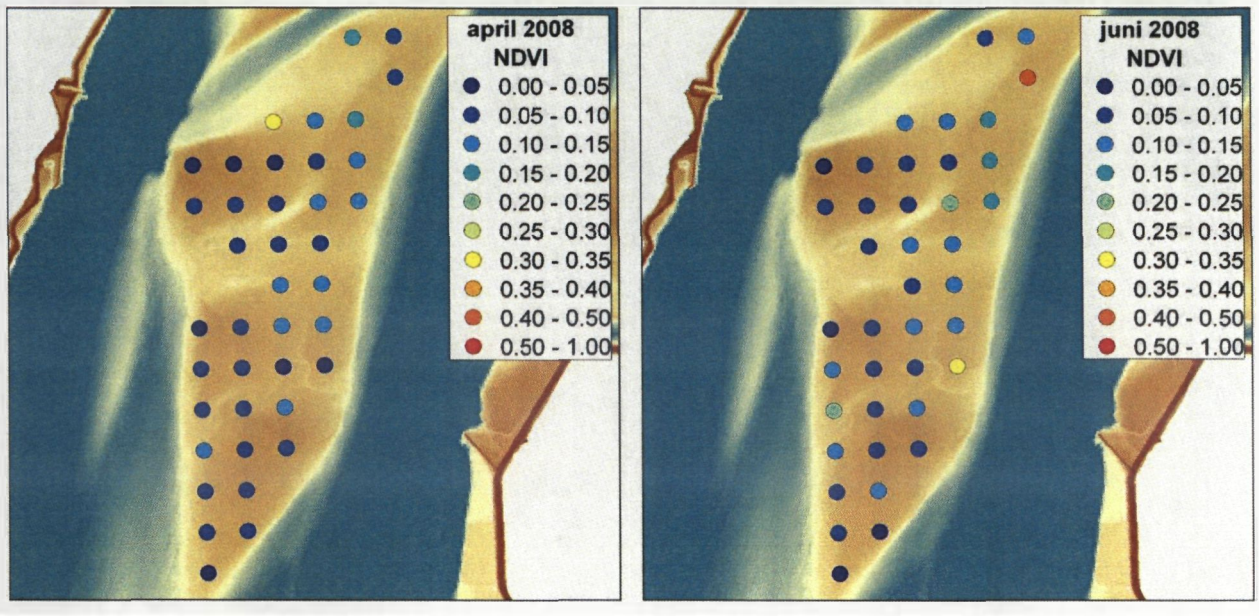
Uit de reflectantie-spectra zijn waarden voor de vegetatie-index NDVI bepaald. Deze index is gebaseerd op informatie uit het rode en nabij-infrarode deel van het elektromagnetisch spectrum. Voor de rode band (R_{683nm}) is een gemiddelde reflectantie uit de RAMSES spectra berekend over de golflengten 678nm tot en met 689nm, en voor de infrarode band (R_{866nm}) is een gemiddelde reflectantie uit de Ramses spectra berekend over de golflengten 857nm tot en met 874nm, met voor de NDVI:

$$NDVI = (R_{866nm}-R_{683nm})/(R_{866nm}+R_{683nm})$$

Omdat chlorofyl (en dus macrofyten zoals *Spartina* (Slijkgras) *Aster* (Zeeaster) en *Salicornia* (Zeekraal) maar ook het microfytobenthos) energie absorbeert in met name het rode deel van het electromagnetisch spectrum geeft de NDVI hogere waarden naarmate de biomassa, bedekking of gezondheid van de vegetatie toeneemt (Tucker, 1979; Van der Wal et al. 2008).

NDVI op de Rug van Baarland

De metingen in september 2007 zijn helaas niet gelukt, maar in april en juni 2008 zijn wel succesvolle spectra gemeten, waaruit de NDVI is berekend (Figuur 20). Ook in deze metingen is een gradient van west naar oost te zien, hoewel minder duidelijk als bij het chlorofylgehalte.



Figuur 20. NDVI uit spectraalmetingen genomen op de 40 monsterstations op de Rug van Baarland.

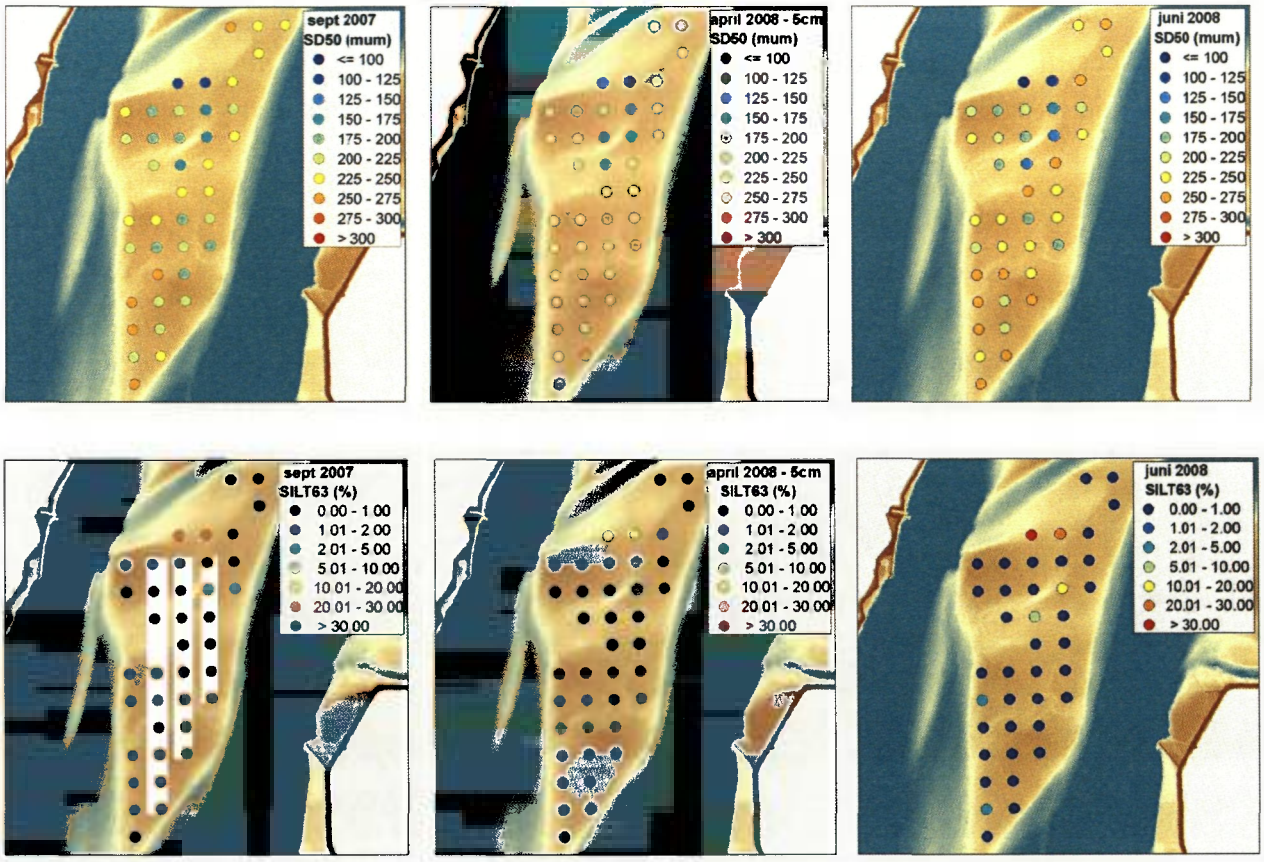
2.2.4. Korrelgrootte-verdeling van het sediment en vochtgehalte

Bemonstering en korrelgrootte-analyse van het sediment

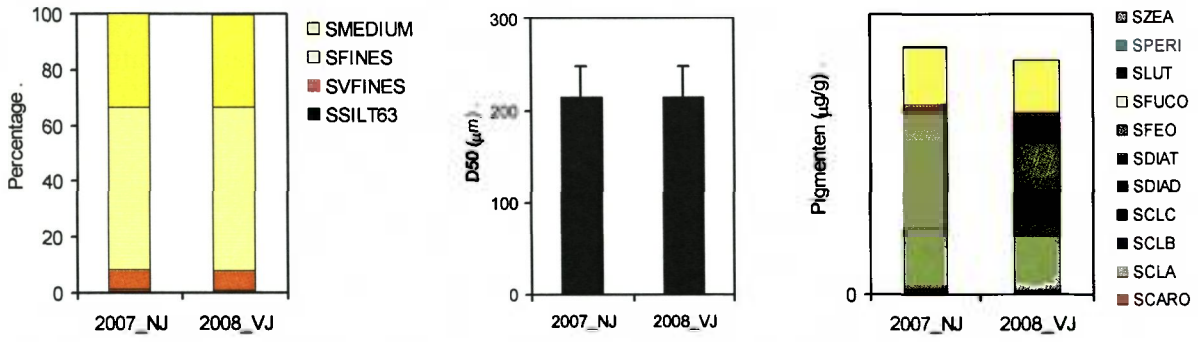
Sediment is verzameld tot op een diepte van 5 cm gebruik makend van een afgezaagde spuit met een binnendiameter van 2 cm. Deze monsters zijn in het laboratorium gevriesdroogd voor latere korrelgrootteanalyse met behulp van een Malvern *laser particle sizer.*

Korrelgrootte-verdeling van het sediment op de Rug van Baarland

De plaat is redelijk zandig (SD50 ca 150-250 mu), en slechts op enkele plaatsen slibrijk (Figuur 21 en 22). Deze slibrijke lokaties zijn ook de gebieden waar de hoogste biomassa macrobenthos en microfytobenthos is gevonden (bijvoorbeeld lokatie RB40). Het sediment is iets fijner in de herfst dan in de lente. Een ANOVA analyse wijst uit dat de verschillen tussen de campagnes in september 2007 en april 2008 echter niet significant zijn (Tabel 5).



Figuur 21. Mediane korrelgrootte (SD50) en slibgehalte in het intertidaal van de Rug van Baarland.



Figuur 22. Korrelgrootteverdeling van het sediment en pigmenten in het sediment, Rug van Baarland.

2.2.5. Hydrodynamiek

Opstelling van de apparatuur voor de hydrodynamische metingen

Op een aantal plaatsen op de plaat zijn in november 2007 frames geplaatst voor hydrodynamische metingen (Figuur 23 en 24), ongeveer parallel met de stroomribbels, en langs een transect loodrecht op de kleine stroomribbels, min of meer loodrecht op de hoogtelijnen. Een lokatie bevindt zich bij punt RB03 (zuidelijk transect) en een andere lokatie bevindt zich tussen RB15, RB16, RB20 en RB21 (noordelijk transect) (Figuur 24). Op elke lokatie zijn vier afzonderlijke opstellingen geplaatst in een transect. Aan twee van deze frames is een elektromagnetische stroomsnelheidsmeter (EMF), een hoogfrequente druksensor (voor het meten van golfhoogte) en een OBS troebelheidsmeter (voor het meten van gesuspendeerd materiaal) bevestigd, die zijn aangesloten op een autonoom veldmeetstation. Op twee andere punten is alleen een druksensor geplaatst aan een metalen buis. De EMF en OBS meters zijn steeds ingezet op een hoogte van 20 cm hoogte. De EMF meet stroomsnelheid in x- en y-richting ten opzichte van de overheersende vloedrichting, d.i. loodrecht op de stroomribbels. De druksensoren zijn overal op een vingerdikte vanaf de bodem opgehangen (Figuur 23-27).

De apparatuur is ingezet op 13 november, en uit het veld gehaald op 16 november 2007. Helaas bleek bij het uitlezen dat er een defect was aan beide dataloggers. Een van de dataloggers (noordelijke transect) kon hierdoor niet meer worden uitgelezen, de andere datalogger (zuidelijke transect) heeft na een automatische reset toch steeds het inkomend tij geregistreerd.

Door het uitvallen van de dataloggers is besloten om de metingen nogmaals uit te voeren in januari 2008, met dezelfde meetopstelling, en meetlokaties. De meetopstelling is ingezet op 10 januari en weer opgehaald op woensdag 16 januari 2008.

In april 2008 zijn opnieuw hydrodynamische metingen uitgevoerd. Er zijn twee frames geplaatst, met OBS en EMF apparatuur op 20 cm en 70 cm hoogte. Deze metingen hadden tot doel een karakterisatie te geven van de twee punten, omdat ecotoopkarteringen en stroommodellen een tegenstrijdige uitkomst geven over de dynamiek van deze lokaties: de stroommodellen geven aan dat P9 hoogdynamisch is, terwijl de ecotopenkaart een laagdynamische situatie weergeeft (Figuur 23 versus Figuur 24). De korrelgrootte-analyse bevestigt het beeld dat P9 iets laagdynamischer is dan P10 (mediane korrelgrootte op P10 ca 250-275 μm, en bij P9 ca 200-225 μm), maar de biomassa van het macrobenthos is vergelijkbaar.

Hydrodynamiek van de Rug van Baarland

De metingen van waterstand, stroomsnelheid, stroomrichting, en concentratie zwevende stof zijn uitgezet in de Figuren 28 tot en met 30. Daarnaast zijn de metingen over een getijdencyclus per campagne uitgezet ten opzichte van uren na hoog water (Figuren 31 tot en met 32). Bij een vergelijking tussen de metingen moet rekening worden gehouden met

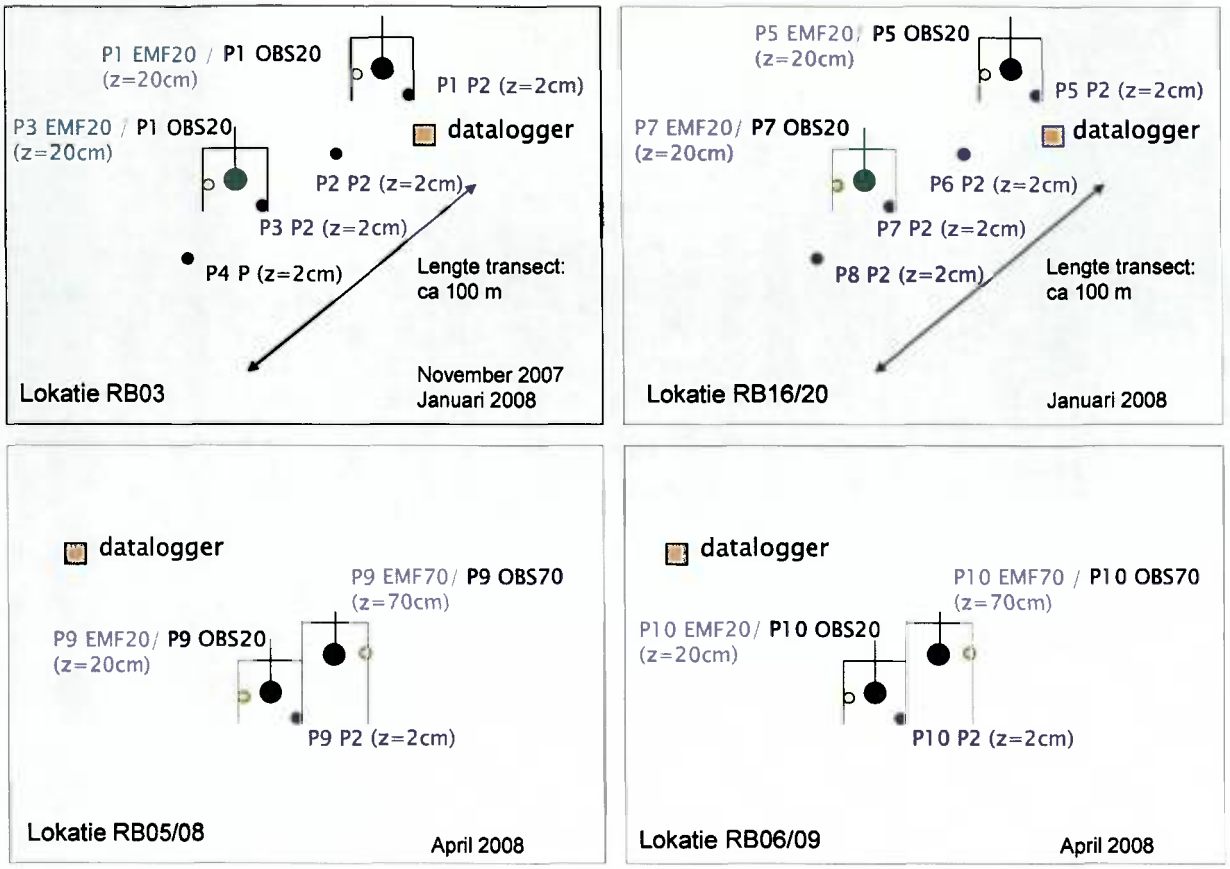
weersomstandigheden (Tabel 6) en met verschillen in springtij/doodtij fase. Per campagne kunnen de verschillende meetpunten wel direct met elkaar worden vergeleken.

De meetpunten P5 tot en met P8 vormen het meest zuidelijke transect. Uit een vergelijking van de waterstanden tussen de campagnes in november 2007 en januari 2008 blijkt al dat de waterstanden hoger waren in januari, samenhangend met de zuiderstorm in die periode. Ook de zwevend stof concentraties zijn veel hoger in januari dan in november. De verdeling van de stroomsnelheid over het getij is gecompliceerder. Alleen stroomsnelheden bij inkomend tij zijn hoger in januari dan in november. Zowel de punten P5 als P7 zijn vloeddominant, maar bij punt P7 is dit sterker dan bij punt P5. Op de punten op het noordelijke transect (P1-P4) is de eb- en vloedstroming ongeveer even sterk. De stroomsnelheid bij inkomend tij is lager dan bij de punten P5 en P7, en bij uitgaand hoger dan bij de punten P5 en P7.

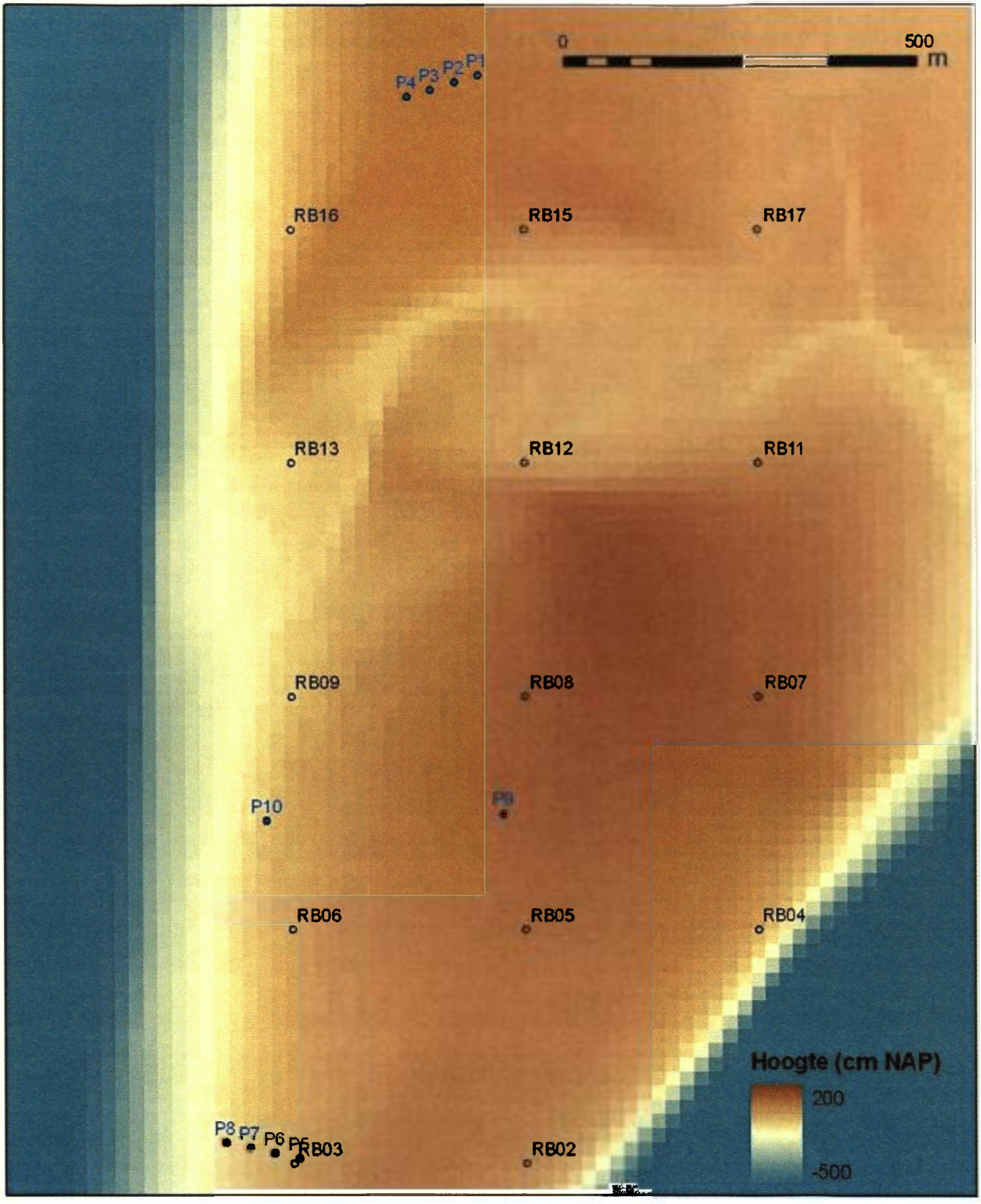
De punten P9 en P10 zijn in april 2008 gemeten. Beide punten zijn weer vloeddominant. Met name bij punt P10 zijn zeer lage stroomsnelheden gemeten tijdens uitgaand tij. De stroomsnelheden bij ingaand tij zijn vergelijkbaar. Bij P10 vindt een sterke afname plaats in zwevend stof concentratie tijdens de kentering, en zeer hoge concentraties direct voor en na hoog water. De hydrodynamiek bij P10 lijkt daarom dynamischer dan bij P9. Er lijkt echter geen sprake te zijn van een duidelijke laagdynamische situatie bij P9.

Tabel 6. Weersomstandigheden (windkracht en richting gemiddeld per juliaanse dag JD) tijdens de stroommetingen. Bron: KNMI.

	14-16 Nov 2007	11-16 Jan 2008	8-11 April 2008
Dag 1	JD 318, 3 Bft NNO	JD 11, 5 Bft Z	JD 99, 3 Bft ZZW
Dag 2	JD 319, 2 Bft NNO	JD 12, 5 Bft ZW	JD 100, 2 Bft N
Dag 3	JD 320, 3 Bft WZW	JD 13, 5 Bft Z	JD 101, 2 Bft NO
Dag 4	-	JD 14, 6 Bft Z	JD 102, 4 Bft ZW
Dag 5	-	JD 15, 7 Bft Z	-
Dag 6	-	JD 16, 4 Bft ZZW	-



Figuur 23. Schematische voorstelling van de meetopstellingen op de Rug van Baarland.

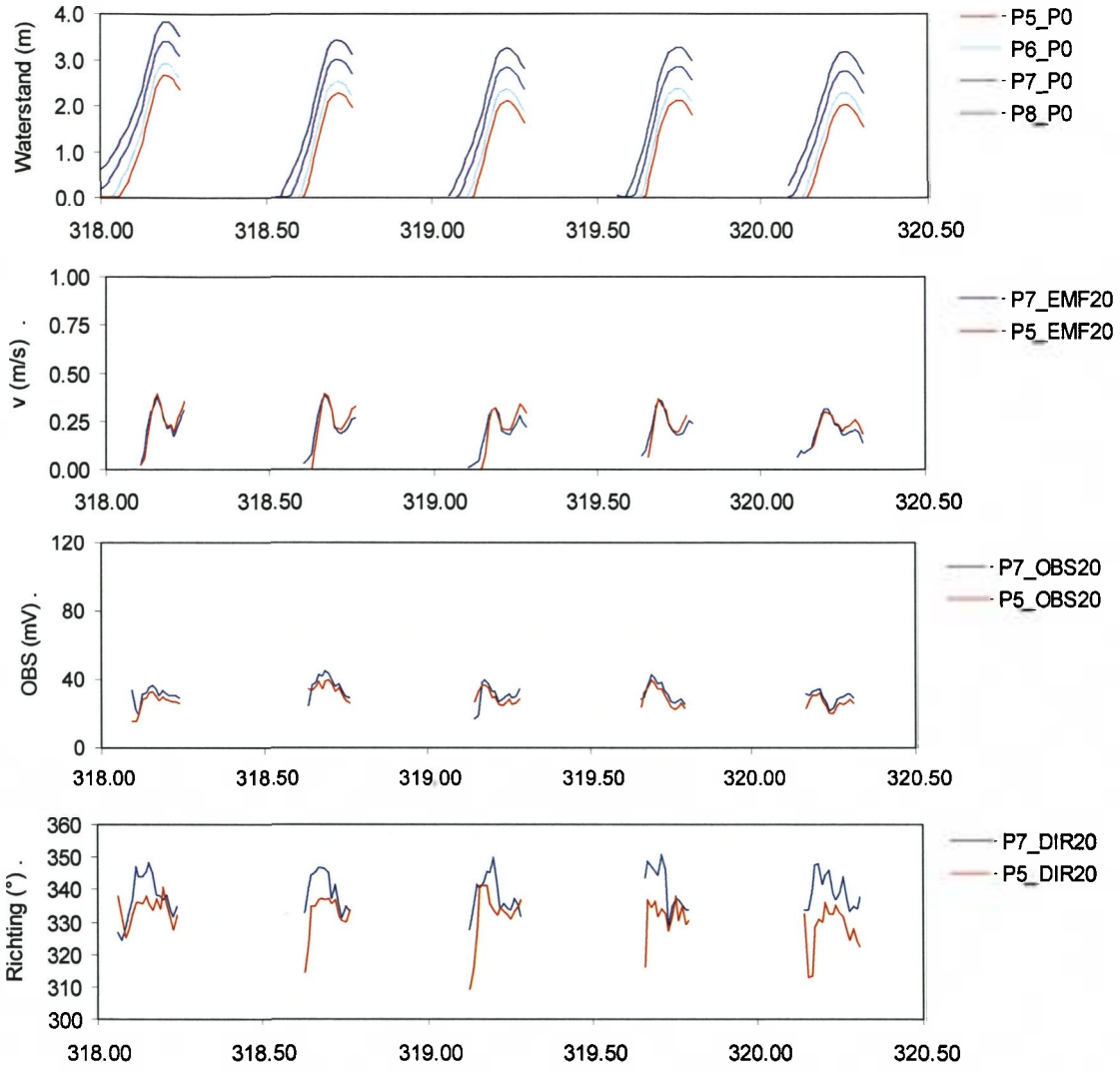


Figuur 24. Overzicht van de punten (in blauw) waarop hydrodynamische metingen zijn verricht in de periode november 2007 tot en met april 2008. In zwart zijn, ter orientatie, de vaste monsterpunten in het intertidaal weergegeven.

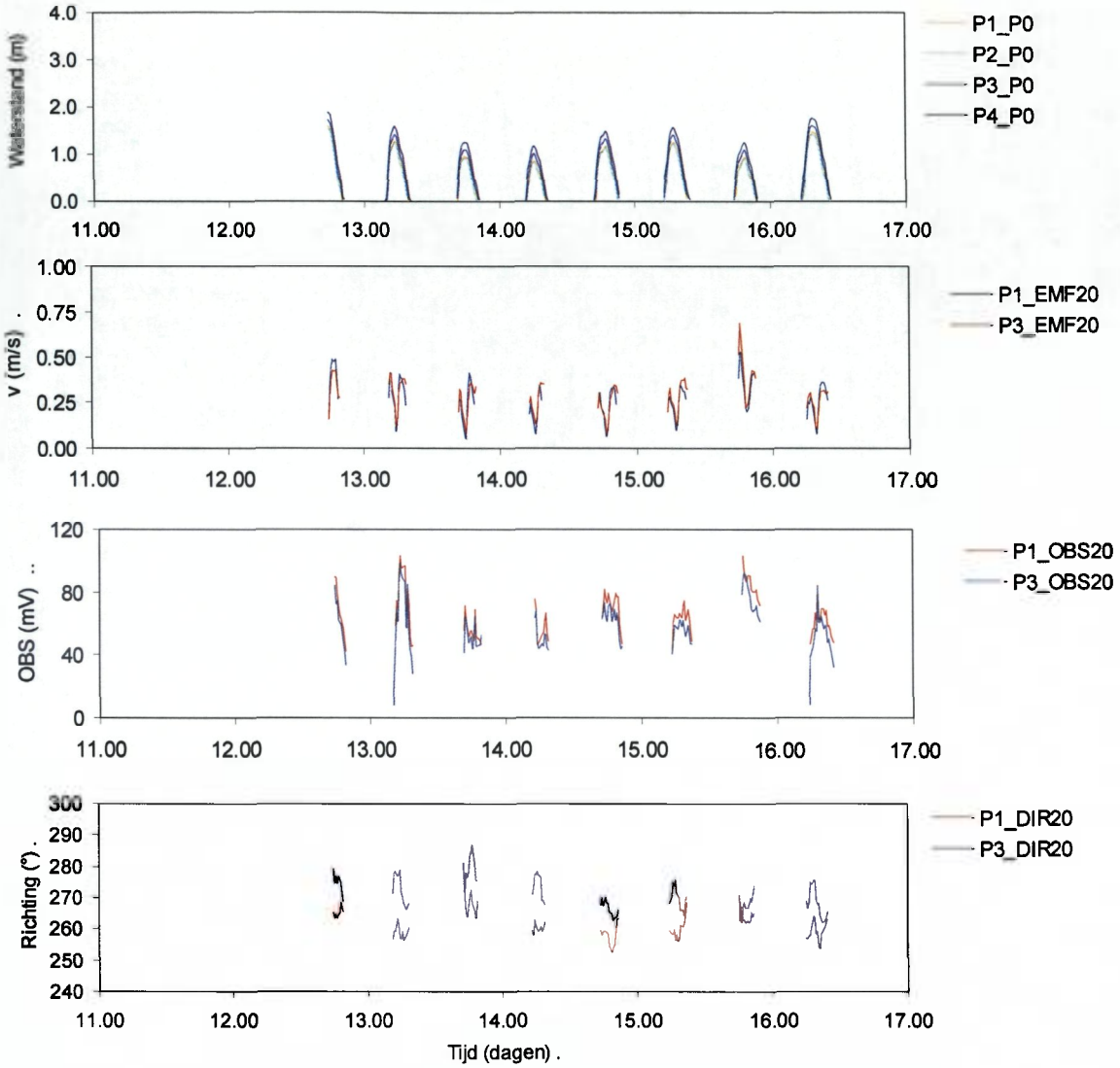
Figuur 25. Detail van een van de acht meetpunten (links) en overzicht zuidelijke transect (bij station RB03) Rug van Baarland (rechts), november 2007 en januari 2008.

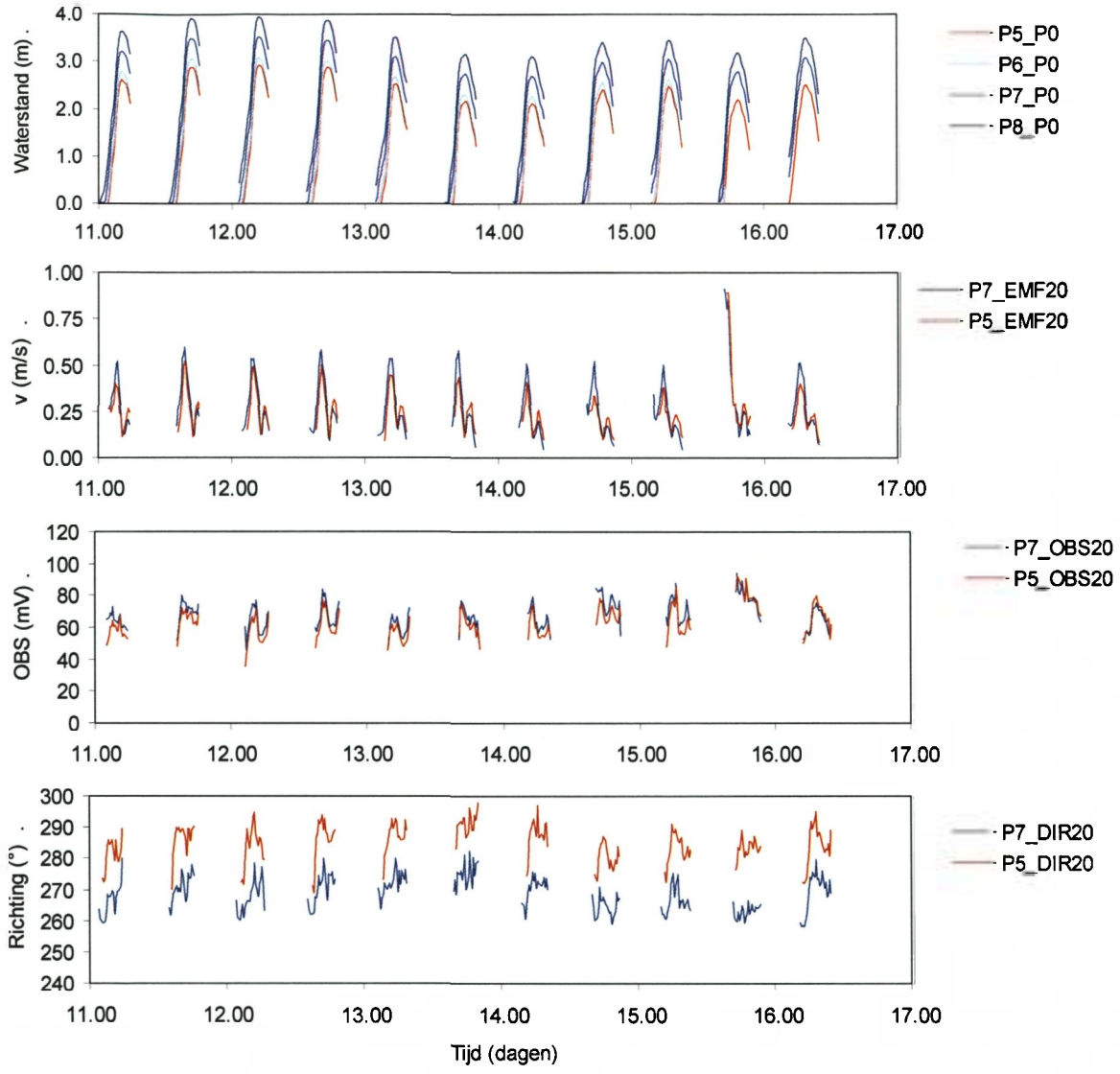
Figuur 26. Detail van een van de acht meetpunten (links) en overzicht nooordelijke transect Rug van Baarland (rechts), januari 2008.

Figuur 27. Opstelling hydrodynamische metingen Rug van Baarland: links P9 en rechts P10, april 2008.

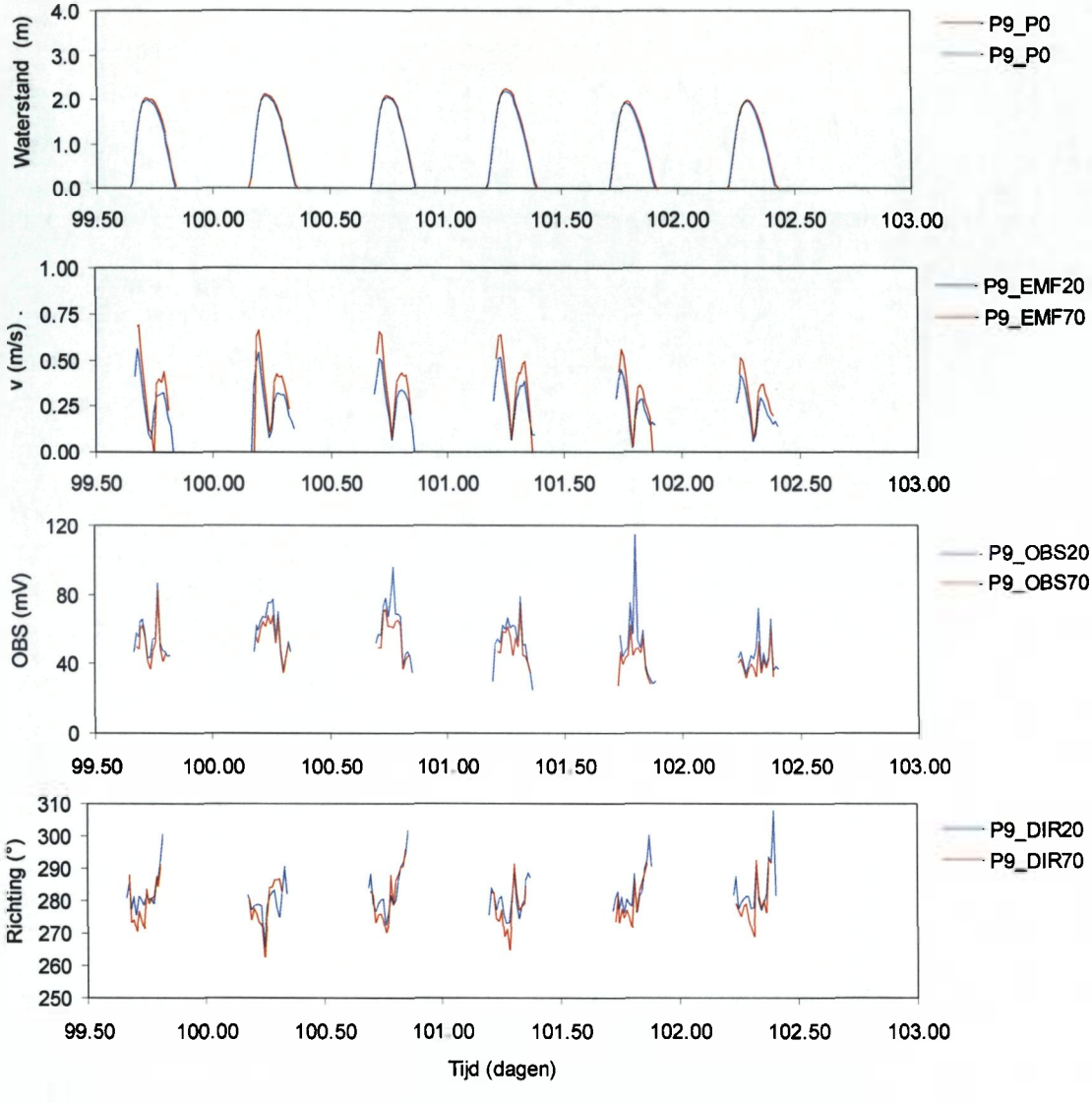


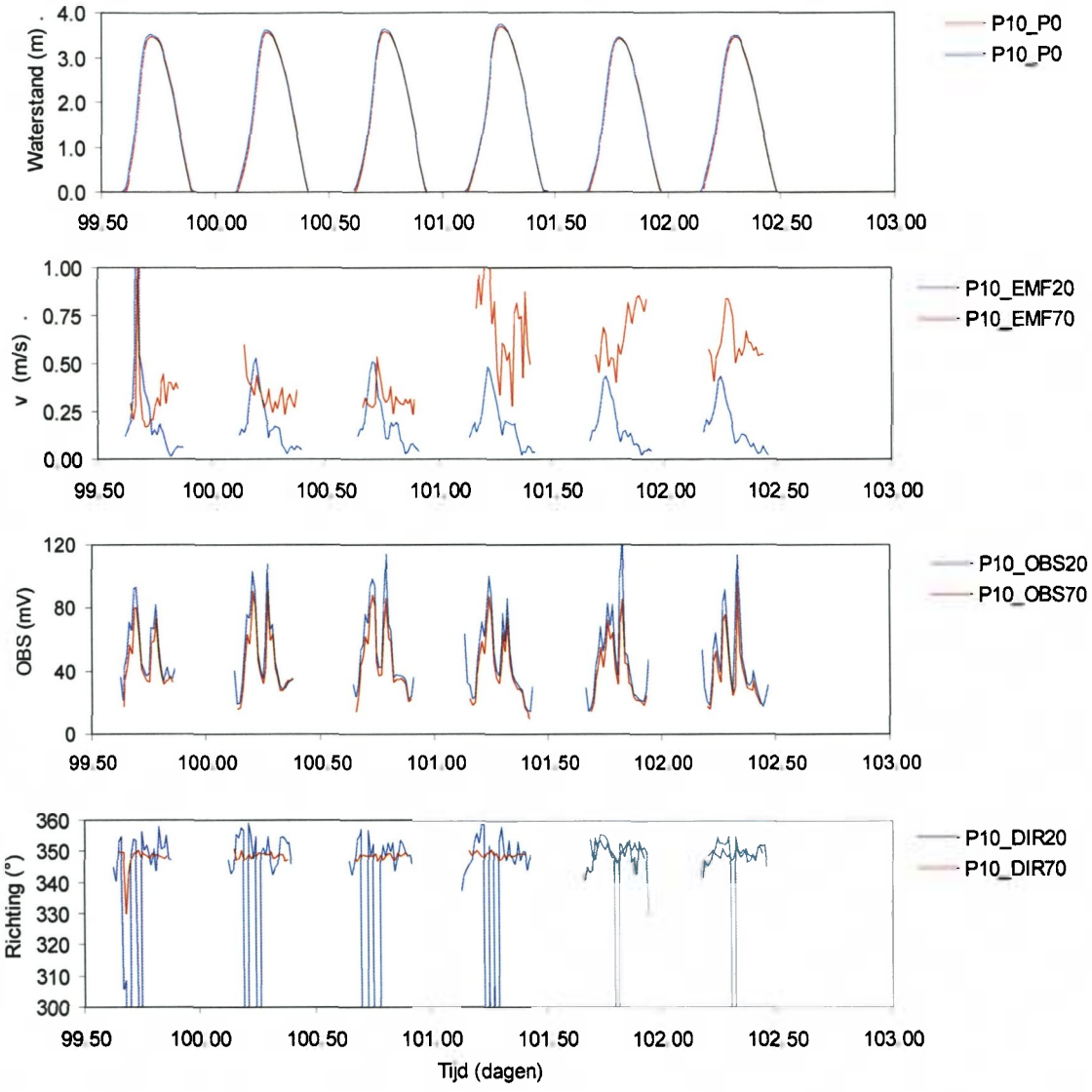
Figuur 28. Metingen november 2007: waterhoogten op de vier meetpunten bij station RB03, transect van laag (P8) naar hoog (P5), stroomsnelheid, OBS en richting op de punten P5 tot en met P8. Afgaand tij is niet volledig geregistreerd.


Waterstand (m)
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00
16.00
17.00
P1_P0
P2_P0
P3_P0
P4_P0
v (m/s)
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
P1_EMF20
P3_EMF20
OBS (mV)
120
80
40
0
P1_OBS20
P3_OBS20
Richting (°)
300
290
280
270
260
250
240
P1_DIR20
P3_DIR20
Tijd (dagen)

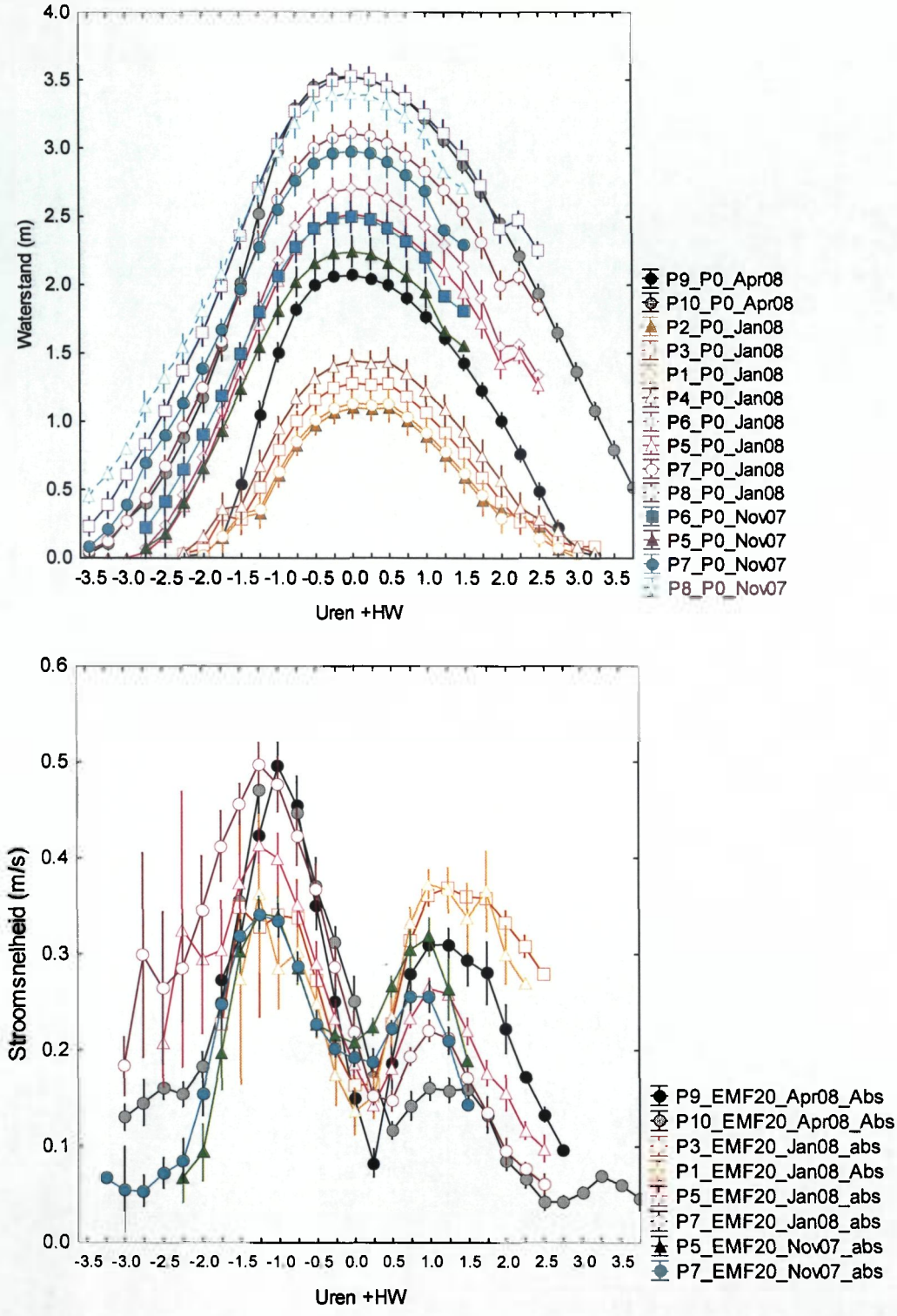


Figuur 29. Metingen januari 2008: waterhoogten, stroomsnelheid (positief, OBS en richting op de punten P1 tot en met P8. Op dag 15 was er een zuiderstorm.

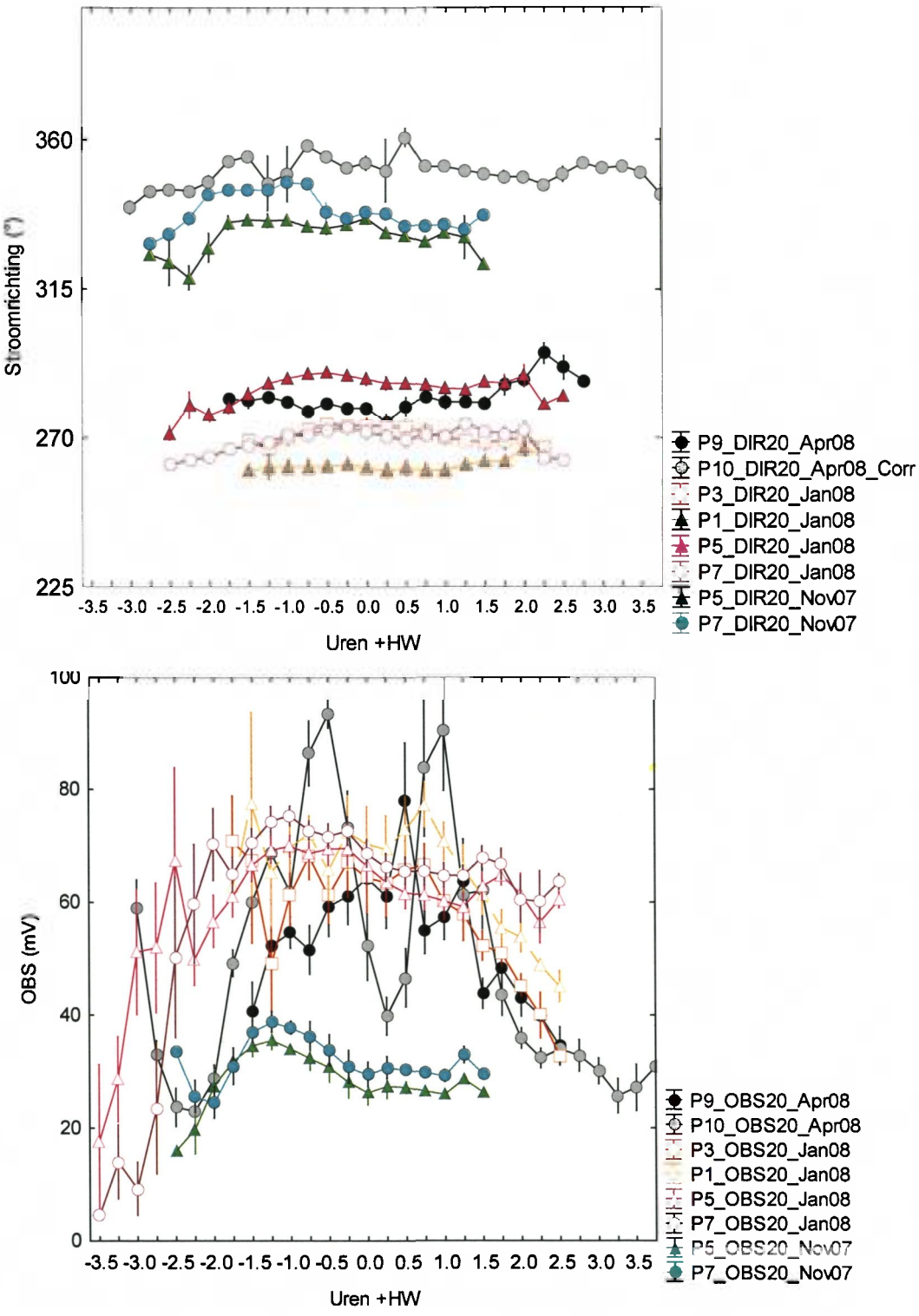

Waterstand (m)
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
99.50
100.00
100.50
101.00
101.50
102.00
102.50
103.00
P9_P0
P9_P0
v (m/s)
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
P9_EMF20
P9_EMF70
OBS (mV)
120
80
40
0
P9_OBS20
P9_OBS70
Richting (°)
310
300
290
280
270
260
250
P9_DIR20
P9_DIR70
Tijd (dagen)



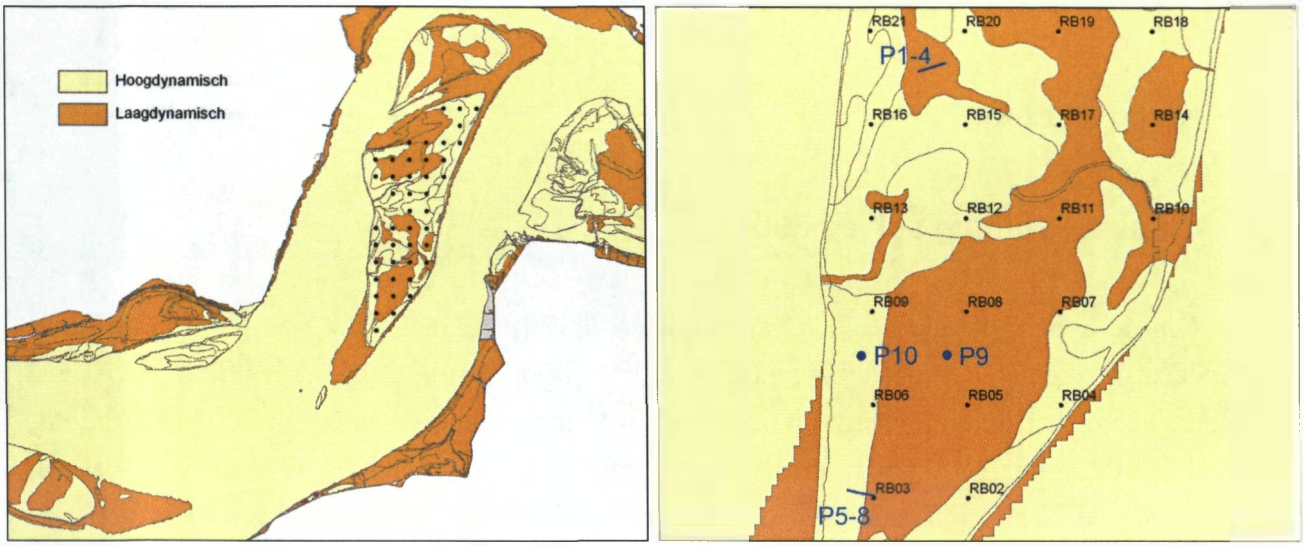
Figuur 30. Metingen april 2008: waterhoogten, stroomsnelheid (positief, OBS en richting op twee hoogten bij station P9 en P10.



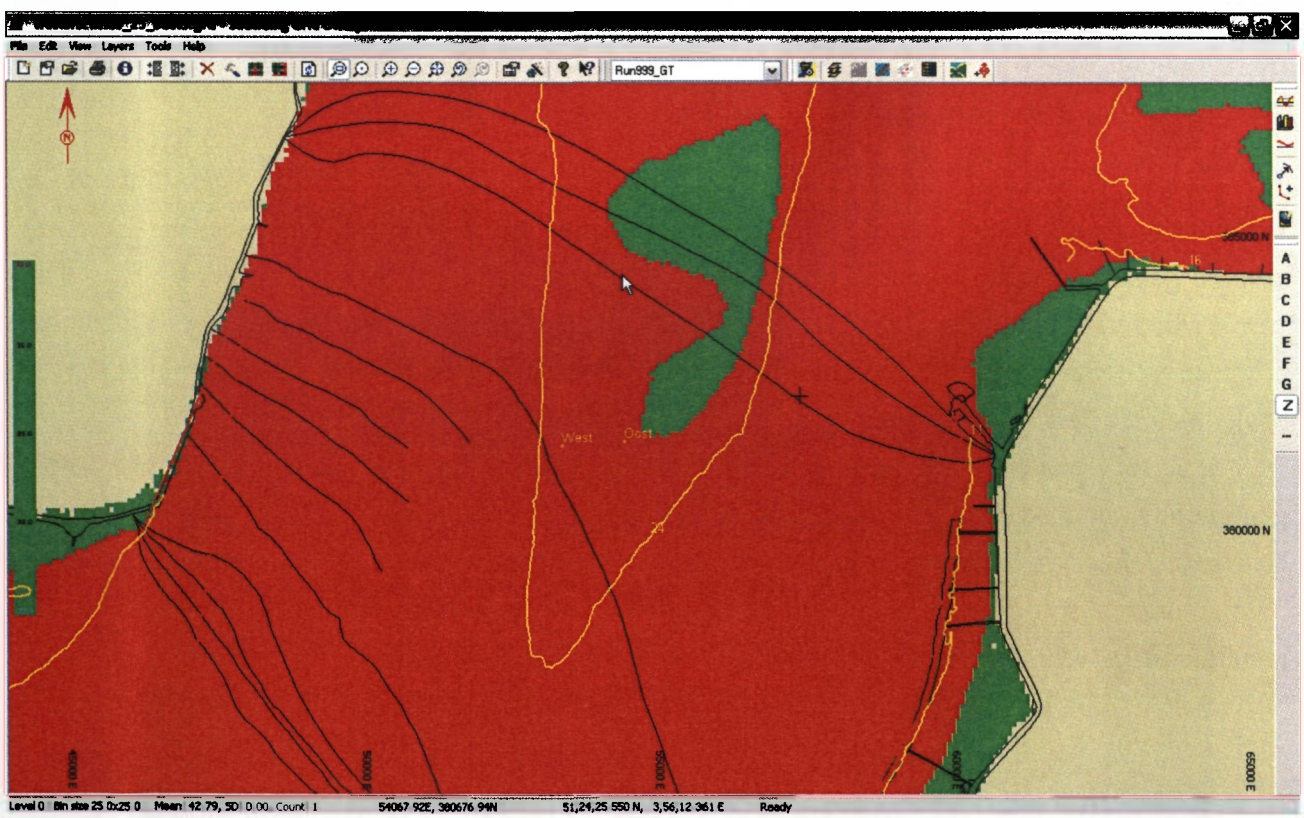
Figuur 31. Waterstand en stroomsnelheid als functie van uren na hoog water. De waarden zijn gemiddelden over alle bemeten getijden in een campagne.



Figuur 32. Stroomrichting en zwevend stof concentratie als functie van uren na hoog water. De waarden zijn gemiddelden over alle bemeten getijden in een campagne. Om een juiste middeling van de stroomrichting te maken is 360 graden opgeteld bij alle noordnoordoostelijke stroomrichtingen op P10.



Figuur 33. Ecotopenkaart van Rijkswaterstaat (RIKZ) uit 2004 met laagdynamische en hoogdynamische gebieden. Links een overzicht van het intertidaal en subtidaal van de omgeving van de Rug van Baarland, rechts een detail van het intertidaal. Opstellingspunten voor de hydrodynamische metingen zijn in blauw weergegeven.



Figuur 34. Resultaten stromingsmodel WL Borgerhout met laagdynamische gebieden in groen, en hoogdynamische gebieden in rood. De ligging van P10 (west) en P9 (oost) zijn ook aangegeven.

3. T0 Oostelijke Westerschelde: intertidaal

3.1. Ground-truthing

3.1.1. Ground-truthing survey 2007

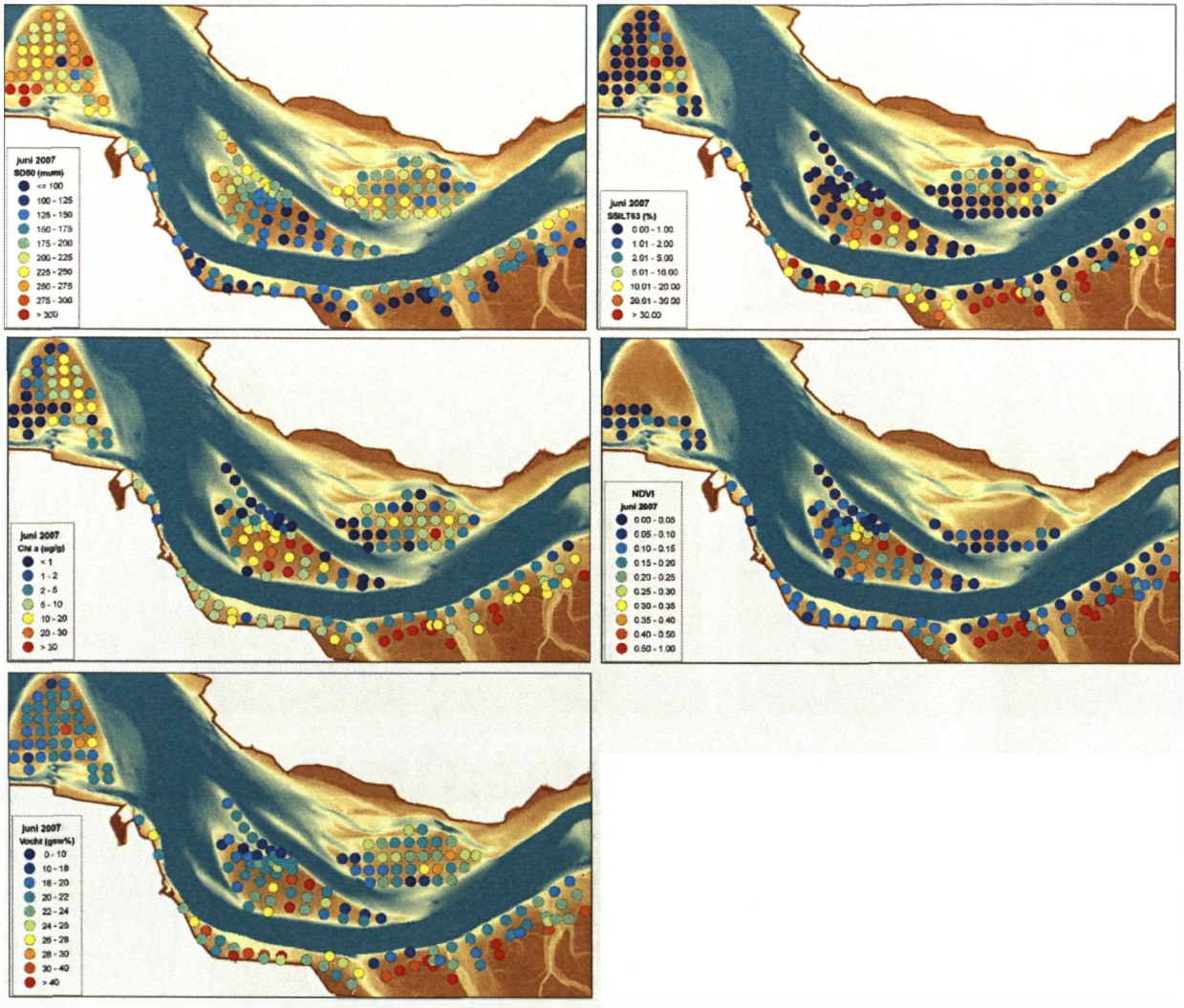
Om de hyperspectrale beelden van augustus 2007 (paragraaf 1.3.2.) zo goed mogelijk te kunnen classificeren is groundtruthing nodig. Daartoe is op een aantal lokaties door NIOO een intensieve bemonstering uitgevoerd: op de Plaat van Walsoorden op 5 en 6 juni 2007 (47 stations, inclusief de 40 'reguliere' stations), Plaat van Valkenisse op 7 juni 2007 (ca 40 stations), Plaat van Ossenisse, 8 juni 2007 (ca 36 stations), Slikken van Baalhoek op 18 juni 2007 (ca 21 stations) en Slikken en schorren van Saeftinghe op 20 en 22 juni 2007 (ca 35 stations). Op elk station werd een sediment- en chlorofylmonster genomen, en zijn foto's genomen. Op de meeste lokaties zijn daarnaast reflectiemetingen gedaan met behulp van een TRIOS Ramses spectrometer. Tevens is van die stations een dGPS meting uitgevoerd. De sedimentmonsters en de pigmentsmonsters zijn in het laboratorium geanalyseerd, en de spectraalmetingen zijn uitgewerkt. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 36.

3.1.2. Ground-truthing vlucht 2008

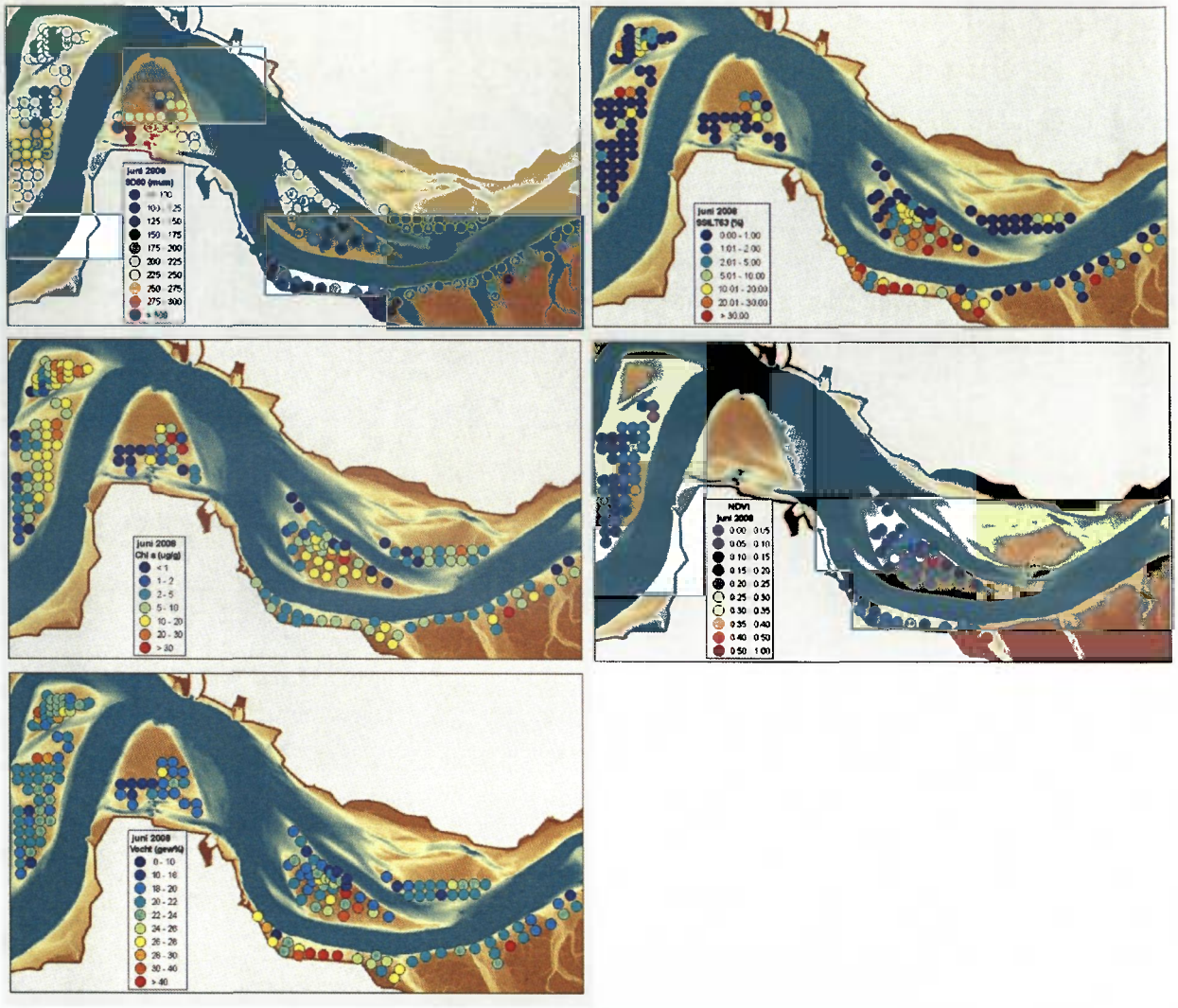
Voor de vlucht van de zomer van 2008 is door NIOO wederom een uitgebreide groundtruthing uitgevoerd om de beelden zo goed mogelijk te kunnen classificeren. Er is een selectie gemaakt van de bemonsteringspunten die ook in juni 2007 zijn bemonsterd op de Plaat van Walsoorden, Plaat van Ossenisse, Plaat van Valkenisse, Slikken van Baalhoek en Slikken en schorren van Saeftinghe. Daarnaast is de groundtruthing uitgebreid met monsterpunten op de Molenplaat en de 40 vaste punten op de Rug van Baarland.

Op elk station werd weer een sediment- en chlorofylmonster genomen, en zijn foto's genomen (Figuur 55). Op een aantal lokaties (Rug van Baarland, Baalhoek en Walsoorden) zijn daarnaast reflectiemetingen gedaan met behulp van een spectrometer. De sedimentmonsters en de pigmentmonsters zijn het laboratorium geanalyseerd, en de spectraalmetingen zijn uitgewerkt. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 37.

Figuur 35. Ground-truthing op de Rug van Baarland, Molenplaat, Plaat van Ossenisse, Plaat van Walsoorden, Plaat van Valkenisse, Slikken van Baalhoek en Slikken van Saeftinghe.



Figuur 36. Ground-truthing op de Plaat van Ossenisse, Plaat van Walsoorden, Plaat van Valkenisse, Slikken van Baalhoek en Slikken van Saeftinghe, 5-22 juni 2007.



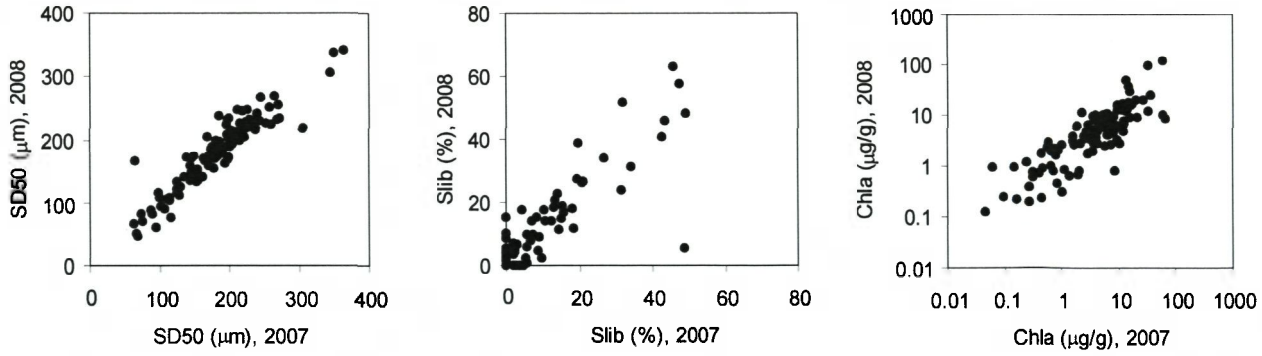
Figuur 37. Ground-truthing op de Plaat van Ossenisse, Plaat van Walsoorden, Plaat van Valkenisse, Slikken van Baalhoek en Slikken van Saeftinghe en Molenplaat, juni 2008.

3.1.3. Vergelijking ground-truthing surveys 2007 en 2008

Een *ANOVA* is uitgevoerd om te toetsen of het sediment dat is bemonsterd in respectievelijk juni 2007 en juni 2008 vergelijkbaar is, of dat er significante verschillen zijn in de eigenschappen van het sediment. De toets toont aan dat alleen het slibgehalte tussen de twee jaren significant verschilt (Tabel 7). Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen mediane korrelgrootte, chlorofylgehalte, en vochtgehalte van het sediment. Een gepaarde t-toets geeft dezelfde uitkomsten: alleen het slibgehalte is significant hoger in 2008 dan in 2007. De consistentie van de metingen is inzichtelijk gemaakt in Figuur 38.

Tabel 7. ANOVA van de monsters genomen in respectievelijk juni 2007 en juni 2008 met station als random factor voor het percentage slib (SSILT63), mediane korrelgrootte (SD50), chlorofylgehalte (Chla), volumtrisch vochtgehalte (Mv) en gravimetrisch vochtgehalte (Mg).

Variable	Effect	df	MS	DSE df	DSE MS	F	p
SSILT63	Jaar	1	178.3	57.00	34.13	5.225	.026*
	Station	225	204.1	57.00	34.13	5.982	.000*
SSILT53, asin	Jaar	1	.069	57.00	.008	8.544	.005*
	Station	225	.066	57.00	.008	8.247	.000*
SD50	Jaar	1	553.	57.00	219.7	2.52	.118
	Station	225	4144.	57.00	219.7	18.86	0.000*
Chla	Jaar	1	27.6	57.00	95.14	.290	.592
	Station	225	253.6	57.00	95.14	2.665	.000*
Chla, ln	Jaar	1	.003	57.00	.292	.010	.920
	Station	225	2.234	57.00	.292	7.642	.000*
Mv	Jaar	1	125.6	57.00	106.5	1.179	.282
	Station	225	119.0	57.00	106.5	1.117	.315
Mg	Jaar	1	2.08	57.00	20.83	.100	.753
	Station	225	68.01	57.00	20.83	3.264	.000*



Figuur 38. Mediane korrelgrootte, slibgehalte en chlorofylgehalte van het sediment bemonsterd in juni 2007 en 2008 op de platen van Walsoorden, Valkenisse en Ossenisse en de slikken van Saeftinghe en Baalhoek.

3.2. Synoptische hyperspectrale surveys vanuit een vliegtuig

3.2.1. Synoptische survey vanuit een vliegtuig, 2007

In augustus 2007 is een T0 situatie vastgelegd van mogelijke stort- of impactlokaties, inclusief de Plaat van Walsoorden, de platen van Ossenisse en Valkenisse, de slikken van Baalhoek en Bath, en het verdronken land van Saeftinghe. De Rug van Baarland werd niet opgenomen. De opname is uitgevoerd met een geavanceerde hyperspectrale radiometer vanuit een vliegtuig. Zo'n sensor detecteert straling (radiantie) in het zichtbare (optische) en nabij-infrarode deel van het elektromagnetische spectrum. Slib, benthische algen, organisch materiaal en interstitieel water hebben ieder een duidelijk te onderscheiden signatuur in dit deel van het spectrum, en informatie over deze parameters kan daardoor uit de beelden worden afgeleid. In eerdere jaren werden dergelijke surveys al uitgevoerd voor de Plaat van Walsoorden (Forster et al., 2006; Van der Wal et al., 2007; Van der Wal et al., 2010).

Onderaannemer VITO-TAP (Mol) heeft Aerodata gecontracteerd om de vlucht uit te voeren in de zomer van 2007. VITO-TAP heeft de beelden geometrisch en atmosferisch gecorrigeerd en geclassificieerd. Een verslag van de werkzaamheden door VITO-TAP is in deze paragraaf ingevoegd. Het rapport van VITO-TAP is ook afzonderlijk opgeleverd.

Kenmerken beeldmateriaal

Op 1 augustus 2007 werden door Aerodata International Surveys hyperspectrale AISA-Eagle beelden genomen boven de Westerschelde. Om *sunglint* te vermijden, d.i. reflectie van het directe zonlicht op het wateroppervlak, werden de 17 vluchtlijnen in een noordwest – zuidoost oriëntatie gevlogen. De beelden werden genomen tussen 8:20 en 10:40 UTC, waardoor rekening gehouden werd met de laagwaterstanden voor die dag (laagwater van -207 cm NAP bij Walsoorden om 11:46 lokale tijd).

De beelden werden opgenomen in 32 spectrale banden in het VIS-NIR golflengtegebied van het elektromagnetische spectrum. De centrale golflengte en 'Full Width Half Maximum' (FWHM) worden gegeven in Tabel 9. In Tabel 10 worden de belangrijkste AISA-Eagle sensor karakteristieken gegeven.

Figuur 39 toont een gegeorefeerd mozaïekbeeld van de hyperspectrale data gecollecteerd door de AISA-Eagle sensor in de 17 vluchtlijnen. Duidelijk is te zien dat de reflectantieniveau tussen aangrenzende vluchtlijnen aanzienlijk kan verschillen. Deze verschillen zijn toe te schrijven aan veranderde illuminatie op het moment van opname, o.a. tengevolge van sluierbewolking.

Beeldverwerking

Voor de verwerking en analyse van de beelden werd dezelfde procedure gevolgd als voor de Plaat van Walsoorden (Forster et al., 2006), zodat de resultaten vergelijkbaar zijn.

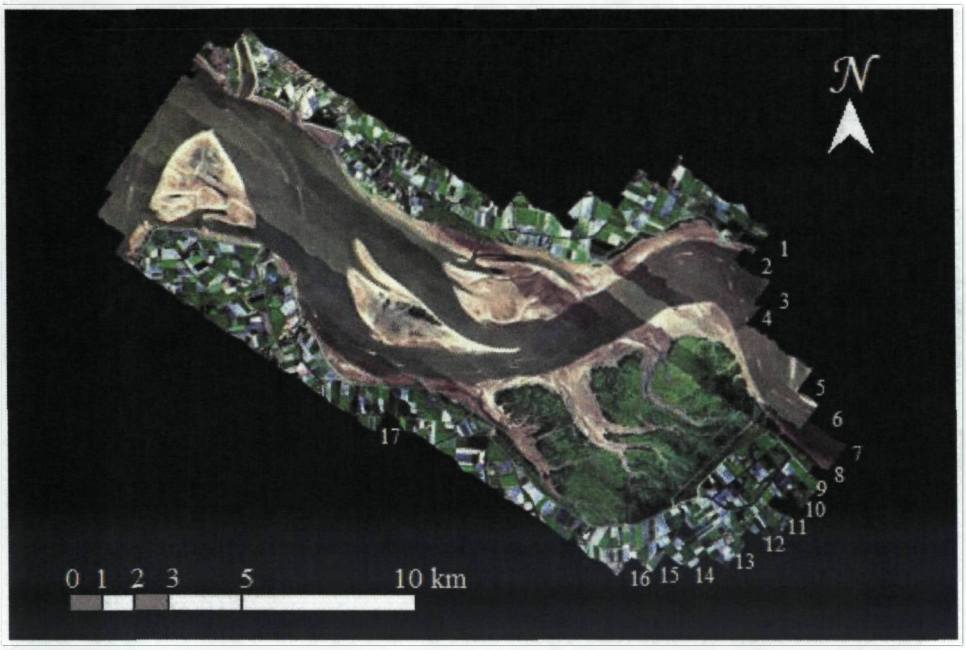
Tabel 8. Spectrale configuratie AISA sensor

Band	Centrale golflengte (nm)	FWHM (nm)	Band	Centrale golflengte (nm)	FWHM (nm)
1	411.9	20.5	**17**	648.8	**2.2**
2	442.9	21.2	**18**	657.7	**2.2**
3	464.2	21.4	**19**	666.6	**2.2**
4	492.0	21.4	20	673.2	**2.2**
5	512.3	2.1	21	682.1	**2.2**
6	520.9	2.1	22	695.5	**2.2**
7	529.4	2.1	23	706.6	**2.2**
8	544.4	2.1	24	717.8	**2.2**
9	559.9	2.2	25	726.7	**2.2**
10	566.5	2.2	26	737.9	**2.2**
11	577.6	2.2	27	746.8	**2.2**
12	591.0	2.2	28	755.9	**2.2**
13	604.3	2.2	29	774.1	**6.8**
14	611.0	2.2	30	807.2	**27.4**
15	619.9	2.2	31	863.1	**29.6**
16	633.23	2.2	32	940.6	**29.8**

Tabel 9. AISA-Eagle sensor karakteristieken.

Field-of-View (FOV)	39.7°
Instantaneous FOV (IFOV)	0.039°
Spatiale resolutie (m)	1 x 1 m
# pixels per scanlijn	1024*
Vlieghoogte	418 m

**waarvan 40 worden gebruikt voor registratie diffuus licht*



Figuur 39. Mozaïek van de hyperspectrale AISA-Eagle data gecollecteerd in de 17 vluchtlijnen. Variatie in illuminatie gedurende de opname zorgt voor reflectantie verschillen tussen aangrenzende vluchtlijnen.

Atmosferische en geometrische correctie

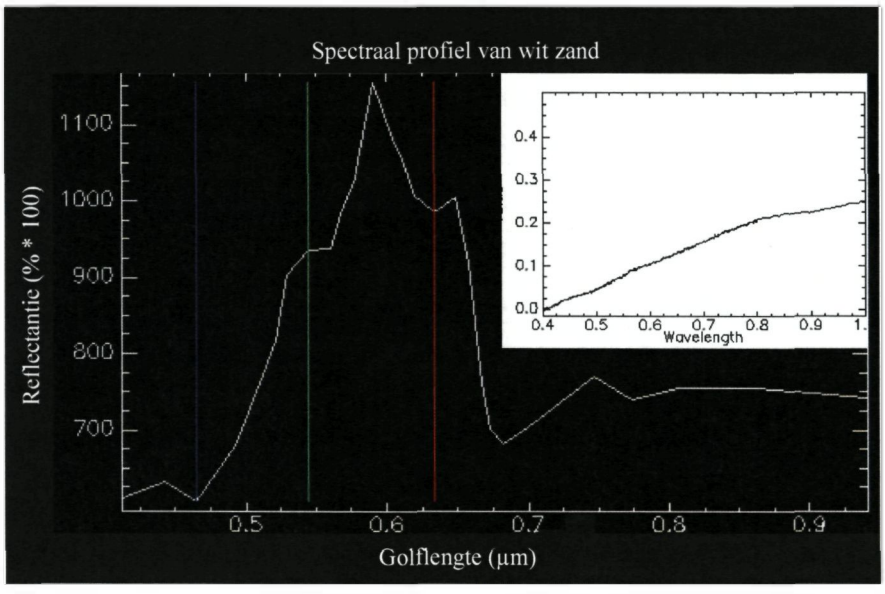
De beelden werden atmosferisch en geometrisch gecorrigeerd in het 'Central Data Processing Centre' (CPDC) van VITO. Voor de atmosferische correctie werd gebruikt gemaakt van software gebaseerd op Modtran. Hierbij zijn drie parameters vereist die uit de sunphotometer gegevens worden afgeleid: (1) bepaling van het aerosoltype, (2) de waterdampwaarden werd voor alle vluchtlijnen op 1.4 cm constant gehouden, en (3) de zichtbaarheid varieerde per tijdstip en dus vluchtlijn, hiervoor werden de waarden afgeleid uit de sunphotometer gegevens. Deze gegevens werden op het tijdstip van de hyperspectrale vlucht door VITO opgemeten (Tabel 10). Naast de sunphotometer metingen werden spectrale metingen van referentie oppervlakken (wit zand, asfalt parking) genomen gebruik makend van de ASD FieldSpec Pro®. Deze metingen werden gebruikt om de atmosferische correctie te checken. Voor de geometrisch correctie zijn de attitude gegevens van het vliegtuig samen met de dGPS gegevens noodzakelijk.

Tabel 10. Sunphotometer gegevens (zichtbaarheid) per vluchtlijn.

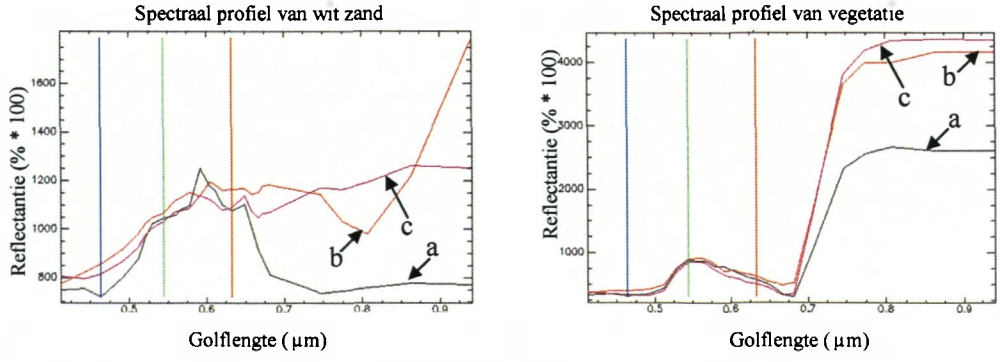
Vluchtlijn	Zichtbaarheid (km)
1, 2, 3, 4, 5, 6	**13**
7	**8**
8	**13**
9, 10	**16**
11	**42**
12, 16b, 16c	**34**
13, 14, 15, 16a, 16d, 17	31

Radiometrische kalibratie check

Na atmosferische correctie van de beelden werd een probleem opgemerkt in het NIR golflengtegebied. Het bleek dat de reflectantie in het golflengtegebied vanaf ± 650 nm veel te laag was. Figuur 40 toont een hyperspectraal AISA spectrum opgemeten boven een wit zand oppervlak. Duidelijk te zien is de verlaagde reflectantie in het NIR golflengtegebied. De inzet toont het normale reflectantiespectrum van wit zand zoals dit wordt opgemeten een met de ASD FieldSpec Pro®. Deze verlaagde reflectantie is te wijten aan een fout in de radiometrische kalibratie. Om deze afwijking te corrigeren werd, door middel van ATCOR een 'in-flight' kalibratie uitgevoerd. Hierbij werden de reflectantiespectra van referentietargets, opgemeten met de FieldSpec Pro®, gebruikt om nieuwe kalibratiecoëfficiënten te berekenen. Bij toepassing van deze nieuwe kalibratiecoëfficiënten tijdens atmosferische correctie vertonen de bekomen reflectantiespectra een meer realistische waarde (Figuur 41).



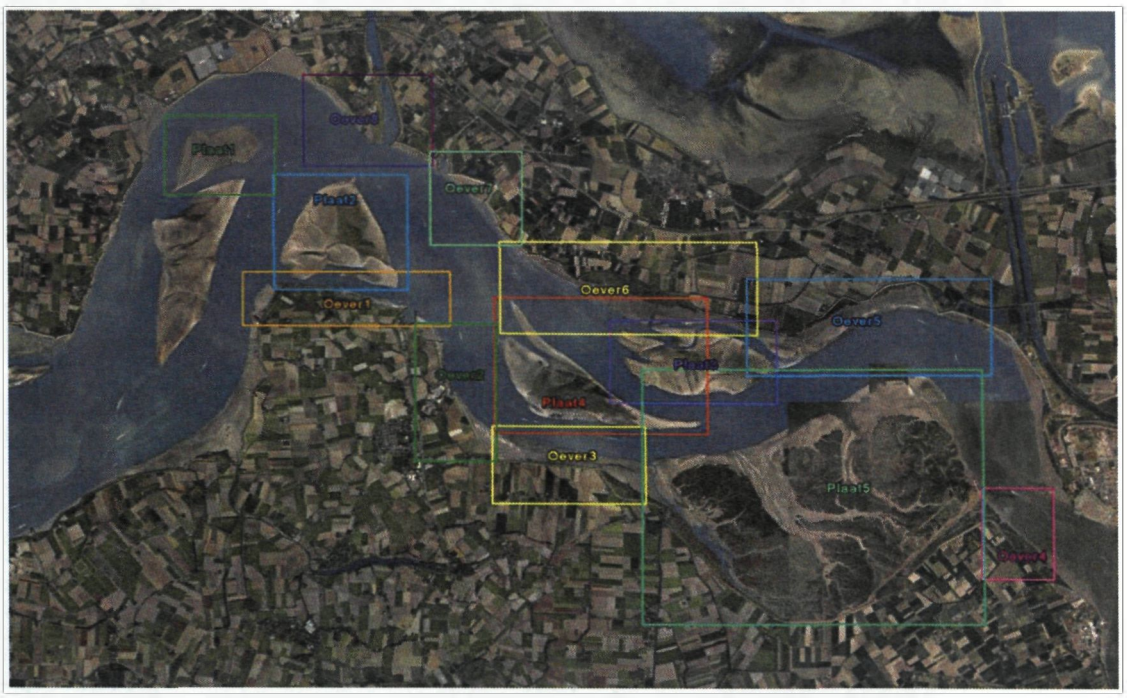
Figuur 40. Na toepassing van de nieuwe 'in-flight' kalibratieparameters krijgt de oorspronkelijke reflectantie in het NIR golflengte gebied (zwart spectrum, a) een realistische waarde. Het rode spectrum (b) wordt bekomen bij toepassing van de kalibratieparameters berekend op twee referentietargets, het magenta spectrum (c) na berekening op zes referentietargets.



Figuur 41. Spectraal profiel van de AISA beelden na atmosferische correctie opgemeten boven een wit zand oppervlak. De inzet toont een wit zand spectrum opgemeten met de ASD FieldSpec Pro®.

Opsplitsing van het opgenomen gebied in deelgebieden

De totale oppervlakte van het door de AISA-Eagle sensor in 17 vluchtlijnen opgenomen gebied bedraagt om en bij de 170 km^2. De hyperspectrale data van deze vluchtlijnen bevindt zich in 29 files met een totale bestandsgrootte, na radiometrische, atmosferische en geometrische correctie, van 107Gb. Omwille van de grootte van de bestanden zijn enkele van de vluchtlijnen opgesplitst in meerdere files. De totale hoeveelheid data is enorm groot en het is evident dat deze niet als één blok kan bewerkt worden. Daarom werd het gebied in 13 deelgebieden opgesplitst zoals aangegeven in Figuur 42. Tabel 11 geeft voor ieder van deze deelgebieden de geografische coördinaten van de hoekpunten. De beeldverwerking zoals hierna beschreven is van toepassing op ieder deelgebied.



Figuur 42. De deelgebieden waarin het Westerschelde gebied werd opgesplitst. De Molenplaat (Plaat 1) is niet voor dit project opgenomen.

Tabel 11. Geografische locatie van de hoekpunten van de 13 geselecteerde gebieden in Lat Long WGS 84.

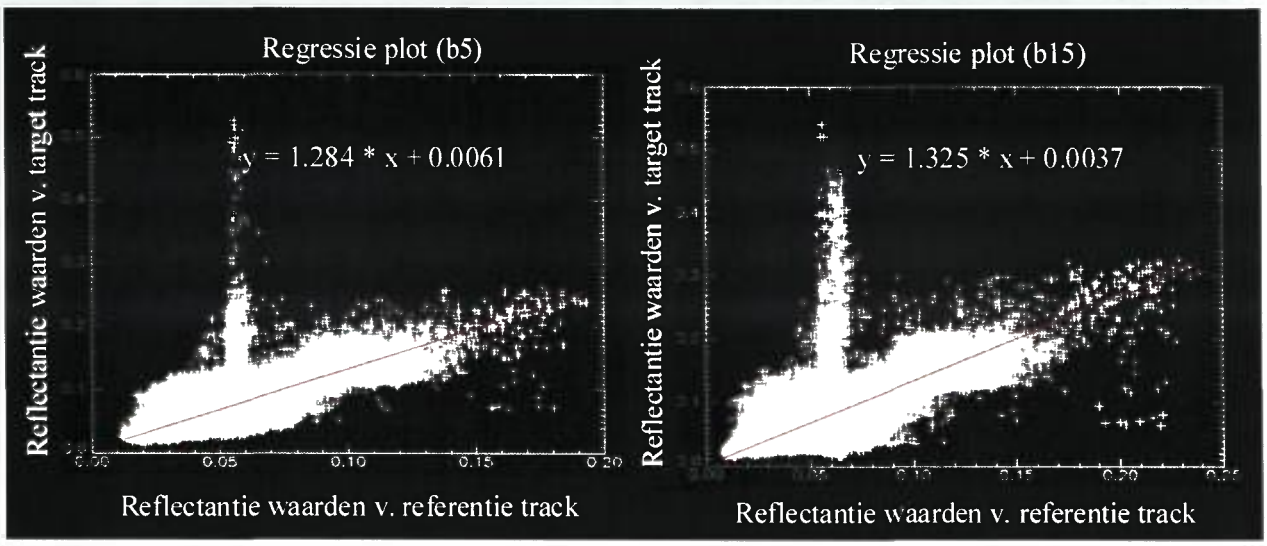
Deelgebied	N			W			S			E		
Plaat1	51	26	47	3	55	59	51	25	40	3	58	19
Plaat2	51	25	57	3	58	17	51	24	20	4	1	10
Plaat3	51	23	55	4	5	27	51	22	45	4	8	59
Plaat4	51	24	14	4	3	0	51	22	19	4	7	30
Plaat5	51	23	13	4	6	7	51	19	37	4	13	20
Oever1	51	24	35	3	57	36	51	23	50	4	2	3
Oever2	51	23	52	4	1	18	51	21	55	4	3	0
Oever3	51	22	25	4	2	57	51	21	19	4	6	10
Oever4	51	21	33	4	13	18	51	20	15	4	14	50
Oever5	51	24	30	4	7	36	51	23	9	4	13	33
Oever6	51	25	1	4	3	7	51	23	43	4	7	47
Oever7	51	26	17	4	1	38	51	24	58	4	3	36
Oever8	51	27	22	3	58	55	51	26	5	4	1	42

Hyperspectrale inter-track reflectantie kalibratie

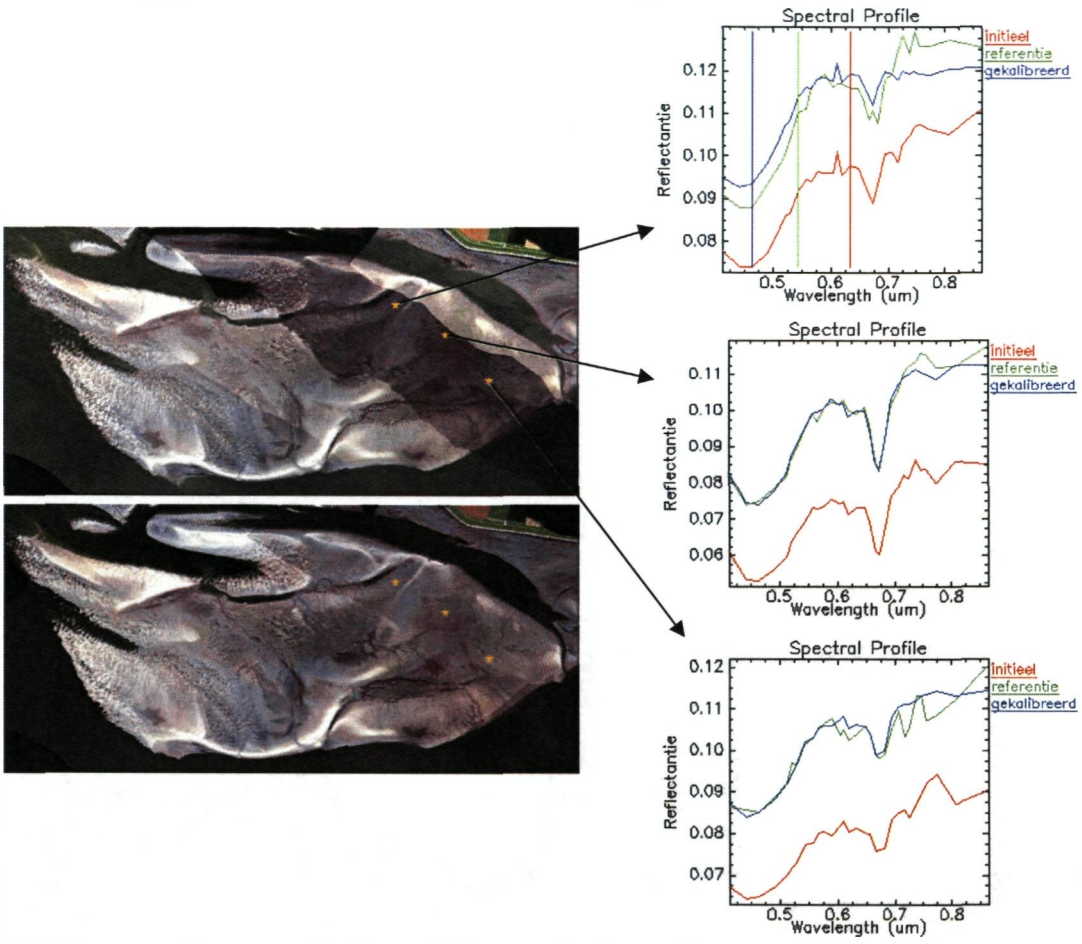
In het mozaïekbeeld (Figuur 39) was reeds duidelijk te zien dat een aantal vluchtlijnen, met name vluchtlijn 5, 7, 8, 14 en 15 (al dan niet de gehele of gedeeltelijke vluchtlijn), een beduidend lagere reflectantie hebben dan de overige vluchtlijnen. Deze verlaagde reflectantie is toe te schrijven aan een wisselende illuminatie, die o.a. te wijten is aan een wisselende sluierbewolking gedurende de opname. Daar de verlaagde reflectantie invloed heeft op de classificatie van de beelden en de berekende NDVI waarden hierdoor niet meer absoluut te vergelijken zijn met de vorige jaren, dient hiervoor gecompenseerd te worden. Hiervoor werd een algoritme ontwikkeld dat, gebruik makend van lineaire regressie, coëfficiënten berekend om de te lage reflectantie te compenseren. De regressiecoëfficiënten worden per band bepaald en om ze te berekenen worden van de aan elkaar grenzende tracks de overlappende pixels gebruikt. De track met de hoge reflectantiewaarde wordt gebruikt als referentietrack om de aangrenzende track met de te lage reflectantiewaarde te corrigeren. In Figuur 43 wordt de lineaire regressie grafiek getoond voor band 5 en 15, berekend voor de kalibratie van track 8 van 'Plaat 3', gebruik makend van track 9 van 'Plaat 3' als referentie. De berekende regressie coëfficiënten worden gebruikt om de reflectantie van track 8 te corrigeren.

Figuur 43 toont het resultaat van deze 'inter-track reflectantie kalibratie'. In Figuur 44a wordt de initiële mozaïek getoond met daarin het donkere, in reflectantie verlaagde deel van track 8. Figuur 44b toont de mozaïek na kalibratie van track 8 waarbij track 9 als referentie gebruikt werd. De spectrale profielen links in de figuur tonen de spectra van de pixels die in het beeld met de gele markering zijn aangegeven. De rode spectrale profielen zijn de spectra van drie pixels uit de ongekalibreerde en in reflectantie verlaagde track 8. De groene spectrale profielen zijn

afkomstig van pixels uit referentie track 9 die zich op dezelfde geografische locatie bevinden als de in reflectantie verlaagde pixels van track 8. De blauwe spectrale profielen zijn afkomstig van dezelfde pixels van track 8 maar na 'inter-track reflectantie kalibratie'. Het is duidelijk dat het reflectantieniveau van de spectra van track 8 verhoogd zijn en nagenoeg overeenkomen met het reflectantiespecta van referentietrack 9. De spectrale profielen van beide tracks, alsook deze van het gehele deelgebied zijn na 'inter-track reflectantie kalibratie' vergelijkbaar. Het gekalibreerde beeld kan nu op een eenduidige manier verwerkt en geclassificeerd worden.



Figuur 43. Lineaire regressie plots voor kalibratie van track 8 van 'Plaat 3', gebruik makend van track 9 van 'Plaat 3' als referentie. De plot links toont de regressiegrafiek voor band 5 (b5), rechts toont de regressiegrafiek voor band 15 (b15). De berekende regressiecoëfficiënten worden gebruikt om de reflectantie van track 8 te corrigeren. De punten met een reflectantie van ca 0.05 in de referentie track zijn water-pixels in de referentie, maar geen water-pixels in de target.



Figuur 44. Het mozaïekbeeld van 'Plaat 3' wordt hier gebruikt om het principe van 'inter-track reflectantie kalibratie' te verduidelijken. a) toont het initiële mozaïekbeeld waarin duidelijk de reflectantie verschillen tussen de verschillende tracks te zien is. b) toont het mozaïekbeeld na 'inter-track reflectantie kalibratie'. De spectrale profielen rechts tonen de spectra van drie verschillende pixels die genomen zijn op dezelfde geografische locatie in de referentietrack en in de te kalibreren track. Het is duidelijk dat beeldkalibratie het initiële spectrum (rood) na inter-track reflectantie kalibratie (blauw) op het reflectantieniveau brengt van de referentietrack (groen).

Selectie van betekenisvolle beeldinformatie

Na kwaliteitscontrole van de hyperspectrale data bleek dat de ruis in band 32 (940.6 nm) aanzienlijk is, daarom werd deze band verwijderd voor alle verdere beeldverwerking. Daar de wateroppervlakken geen nuttige informatie bevatten en niet geclassificeerd dienen te worden, werden deze door maskering verwijderd. Dit gebeurde door een limiet te plaatsen op de reflectantiewaarde in band 31 (863.1 nm). Indien de reflectantiewaarde voor een pixel in deze band lager is dan 0.03 werd aangenomen dat deze pixel werd opgenomen boven een wateroppervlak. De reflectantie van een wateroppervlak in dit golflengtegebied is nagenoeg nul. Naast water werd ook het landgebied buiten de oevers uitgemaskeerd. Dit werd bekomen door

manueel een masker te plaatsen op deze gebieden. De grens tussen land en oever kon op de beelden gemakkelijk worden herkend door de aanwezigheid van de dijken.

Detectie van chlorofyl met de NDVI

De 'Normalized Difference Vegetation Index' (NDVI) wordt berekend als het genormaliseerde verschil tussen de reflectantiewaarde van de rode band (682.1 nm) en de NIR band (863.1 nm) zoals aangegeven in (1). Bijgevolg heeft deze NDVI waarden tussen -1 en 1.

$$NDVI = \frac{b_{0.8631} - b_{0.6821}}{b_{0.8631} + b_{0.6821}} \quad (1)$$

De NDVI is de uitgesproken maat voor het detecteren van vegetatie, m.a.w. chlorofyl. Door de geografische locatie van de veldmetingen over te brengen op de NDVI beelden kon voor de verschillende, in het veld geobserveerde, vegetatieklassen, met name schor en microfytobenthos (MFB), de overeenkomstige NDVI waarde empirisch bepaald worden. Pixels met een NDVI waarde kleiner dan 0.2 werden beschouwd als zijnde niet-vegetatie, pixels met een NDVI waarde groter dan 0.2 worden beschouwd als zijnde vegetatie. In deze toepassing worden de NDVI waarden gebruikt voor classificatie van het schor en MFB. Door op de NDVI waarde te differentiëren kan onderscheid gemaakt worden tussen schor en de concentratie MFB zoals het classificatieschema in Tabel 12 laat zien. Een vergelijkbare classificatie werd toegepast in de studie van Kromkamp et al. (2006), waarbij een vegetatie-index gebaseerd op de verhouding tussen 754 nm en 561 nm gebruikt wordt. In Kromkamp et al. (2006) wordt bij deze index kleiner dan 0.2 MFB verondersteld, en bij een index groter dan 0.2 wordt schor verondersteld. Deze index is sterk gecorreleerd met de hier berekende NDVI waarden die dan ook in onze studie zullen gebruikt worden. Een NDVI waarde groter dan 0.5 veronderstelt schor.

Tabel 12. NDVI differentiatie wordt gebruikt om onderscheid te maken tussen enerzijds vegetatie (schor) en MFB en anderzijds om het MFB te differentiëren op concentratie.

NDVI min	NDVI max	Klasse
-1	0.2	Niet-vegetatie (chlorofyl)
0.2	0.25	Lage concentratie MFB
0.25	0.3	Matige concentratie MFB
0.3	0.5	Hoge concentratie MFB
0.5	**1**	Schor

Classificatie van de deelgebieden

Om de hyperspectrale dataset te reduceren en de inherente ruis van de beeldinformatie te scheiden werd een principale componentenanalyse (PCA) uitgevoerd. Een PCA zal de data herprojecteren in een orthogonale ruimte waardoor de variantie van de hyperspectrale dataset wordt gemaximaliseerd. De betekenisvolle beeldinformatie is daarna terug te vinden in de eerste banden van het PCA getransformeerde beeld. Daar 'Plaat 4' reeds in het verleden geclassificeerd

werd en hiervoor reeds veel in situ data bestaat werd dit deelgebied als referentie gebruikt voor classificatie van de andere deelgebieden. Op dit deelgebied werd een PCA transformatie uitgevoerd waarbij de PCA statistieken werden bewaard. Deze PCA statistieken werden als referentie gebruikt bij het uitvoeren van PCA transformatie op de andere deelgebieden.

Vervolgens werd een niet-gesuperviseerde ISODATA classificatie uitgevoerd op de eerste 3 banden van het PCA geroteerde beeld. Er werd voor een ISODATA classificatiemethode gekozen omdat deze op een snelle en controleerbare manier toelaat de data van de verschillende deelgebieden op een vergelijkbare manier te classificeren. Bovendien werd deze methode reeds toegepast in 2005 en 2006 bij de studie uitgevoerd op de 'Plaat van Walsoorden'. De classificatie werd uitgevoerd zodat 26 klassen werden verkregen in 20 iteraties. Deze klassen werden vervolgens gereduceerd tot 4 klassen door gebruik te maken van de gegevens verkregen uit de veldmetingen. Deze veldgegevens leverden informatie op over o.a. korrelgrootteverdeling en slibgehalte. Op 'Plaat 4', de 'Plaat van Walsoorden', waren gegevens verzameld op 48 meetpunten, tevens was voor elk van deze punten de geografische locatie ingemeten met GPS. Daardoor konden deze 48 meetpunten via georeferentie op het geclassificeerde beeld worden geplaatst waarna de 26 ISODATA klassen konden worden geanalyseerd en gelabeld. Uit de analyse van de meetgegevens kon worden afgeleid dat wanneer de mediaan van de korrelgrootte (MD50) groter werd dan 160 µm en het slibgehalte gelijk was aan 0% we steeds te maken hadden zand (Tabel 13). Door de beeldspectra van de 15, door ISODATA bekomen zandklassen onderling te vergelijken kon deze klasse verder worden opgesplitst in twee groepen. Een aantal zandspectra hadden duidelijk verlaagde reflectantiewaarden, wat kon worden toegeschreven aan de aanwezigheid van water in het zandsubstraat, vandaar de opdeling in de klassen 'nat zand' en 'droog zand'. Verder kon worden afgeleid dat wanneer het slibgehalte groter werd dan 3% we steeds te maken hadden met de klasse 'nat slibhoudend zand'. Een aantal meetpunten werden geklasseerd door hun NDVI waarde in schor of MFB. In Tabel 13 is dit weergegeven met Chl.

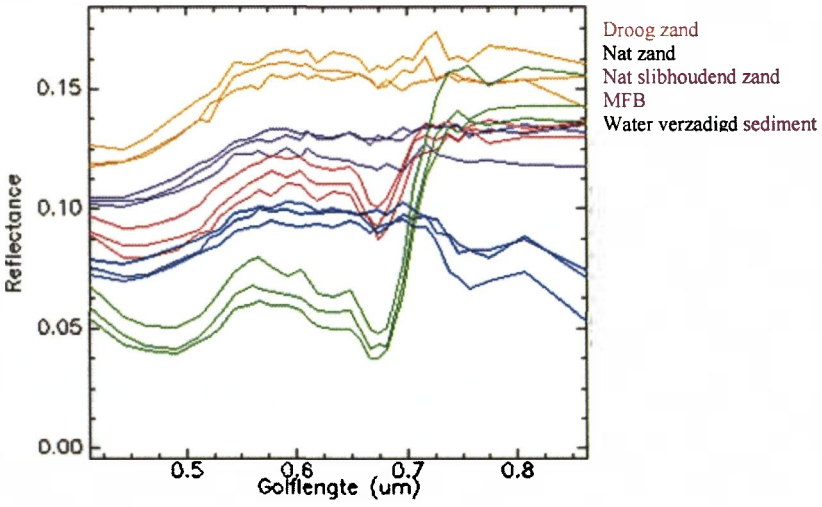
Wanneer we na labelen de ISODATA klassen en hun labels vergelijken zien we dat de slibhoudende klassen voorkomen bij een ISODATA klasse kleiner dan 12. Zoals in Figuur 45 te zien is, zijn de spectrale profielen van de als 'Water verzadigd sediment' geclassificeerde pixels (blauw), duidelijk verlaagd t.o.v. de spectrale profielen van de als 'Nat zand' geclassificeerde pixels (paars). De oorzaak van deze verlaagde reflectantie is de aanwezigheid van een dunne waterlaag op het sediment. Deze spectra bleken overeen te komen met de pixels geclassificeerde als ISODATA klasse 1, 6 en 9. Daarom werden deze klassen gelabeld als 'Water verzadigd sediment' (Tabel 14). De ISODATA klassen vanaf 12 zijn gelabeld als zand. Deze zandklasse kon verder worden opgedeeld in twee subklassen: ISODATA klasse 12-22 kon als 'nat zand' worden gelabeld, ISODATA klasse 23-26 kon als 'droog zand' worden gelabeld. Dit onderscheid werd gemaakt op basis van het reflectantieniveau. Zoals in Figuur 45 te zien is zijn de spectra van de als 'Nat zand' geclassificeerde pixels (paars) duidelijk verlaagd ten opzichte van de spectra van de als 'Droog zand' geclassificeerde pixels (oranje).

Tabel 13. Aan de hand van in situ mediane korrelgrootte en slibgehalte van het substraat (monsters NIOO-KNAW juni 2007) kan onderscheid gemaakt worden tussen zand en slibhoudend zand. Het onderscheid tussen nat en droog zand kon worden gemaakt aan de hand van het spectrale profiel.

Monster-Naam / Meetlocatie	Mediaan Korrelgrootte (µm)	Slibgehalte (%)	Isodata klasse	Monster-Naam / Meetlocatie	Mediaan Korrelgrootte (µm)	Slibgehalte (%)	Isodata klasse
B01	187	0	24 (DZ)	B25	179	0	23 (DZ)
B02	155	2	7 (NS)	B26	145	8	7 (NS)
B03	128	21	7 (NS)	B27	155	10	16 (NZ)
B04	89	34	4 (NS)	B28	129	18	Chl
B05	204	0	16 (NZ)	B29	201	0	15 (NZ)
B06	185	0	2 (NS)	B30	260	0	17 (NZ)
B07	165	0	4 (NS)	B31	186	0	15 (NZ)
B08	115	21	Chl	B32	241	2	16 (NZ)
B09	156	7	2 (NS)	B33	224	0	17 (NZ)
B10	116	20	4 (NS)	B34	239	2	22 (NZ)
B11	111	15	5 (NS)	B35	234	0	17 (NZ)
B12	166	0	24 (DZ)	B36	223	0	*
B13	253	0	19 (NZ)	B37	186	0	16 (NZ)
B14	204	0	16 (NZ)	B38	151	10	7 (NS)
B15	176	0	11 (NS)	B39	199	0	25 (DZ)
B16	131	13	Chl	B40	181	0	24 (DZ)
B17	147	9	Chl	B41	168	0	26 (DZ)
B18	96	32	Chl	B42	173	0	24 (DZ)
B19	65	49	Chl	B43	138	6	11 (NS)
B20	171	0	17 (NZ)	B44	146	0	19 (NZ)
B21	192	0	Chl	B45	139	0	5 (NS)
B22	162	7	7 (NS)	B46	179	0	19 (NZ)
B23	207	0	12 (NZ)	B47	185	0	14 (NZ)
B24	206	0	23 (DZ)	B48	133	12	4 (NS)

Tabel 14. Uit de analyse van de veldmetingen konden de labels van de ISODATA klassen worden afgeleid. De slib klassen kwamen voor tot klasse 12, waarbij klasse 1, 6 en 9 als 'Water verzadigd zand' werden gelabeld. Klasse 12 tem. 22 werd als 'Nat zand' gelabeld en klasse 23 tem. 26 werd als 'Droog zand' gelabeld.

Onderstaande Figuur 45 toont een aantal spectra genomen op 'Plaat 4' voor verschillende klassen. Hieruit blijkt duidelijk het verschil tussen de spectra van de klasse 'Droog zand' en 'Nat zand'. De vorm van het spectrale profiel blijft vergelijkbaar maar de gemiddelde reflectantie van 'Nat zand daalt met ongeveer 3%. 'Water verzadigd sediment' heeft ten opzichte van 'Nat zand' eveneens een verlaagde reflectantie met ongeveer 3%, waarbij de reflectantie in het NIR duidelijk sterker afneemt ten gevolge van de waterabsorptie. De gemiddelde reflectantie van 'Nat slibhoudend zand' is vergelijkbaar met 'Nat zand' maar er vormt zich een duidelijke absorptie kenmerk rond de 680 nm welke toe te schrijven is aan de aanwezigheid van chlorofyl van in het 'Nat slibhoudend zand' achtergebleven MFB. Het geclassificeerde MFB daarentegen heeft een veel sterker uitgesproken vegetatieprofiel, het MFB komt hier in een verhoogde concentratie voor als een bedekkend laag aan het oppervlak van het sediment.



Figuur 45. De spectra, genomen op 'Plaat 4', laten duidelijk de spectrale verschillen zien tussen 'Droog zand', 'Nat zand', 'Nat slibhoudend zand', 'MFB' en 'Water verzadigd sediment'.

3.2.2. Synoptische survey vanuit een vliegtuig, 2008

In de zomer van 2008 is opnieuw een vlucht over Westerschelde uitgevoerd. Het op te nemen gebied is net als in augustus 2007 groter dan alleen de Plaat van Walsoorden. Daarnaast is in de zomer van 2008 ook een T0 ingewonnen van de Rug van Baarland en omgeving. VITO heeft, in opdracht van NIOO, de vlucht laten uitvoeren, en de hyperspectrale beelden bewerkt. Deze paragraaf is grotendeels overgenomen uit het bijbehorend rapport van VITO (Raymaekers & Knaeps, 2008).

Airborne campagne en kenmerken van het beschikbare beeldmateriaal

Op 6 augustus 2008 werden door de Environment Agency of England and Wales, Geomatics Group, hyperspectrale CASI-3 beelden genomen boven de Westerschelde (Figuur 46). Door een teveel aan laaghangende wolken met schaduw werden vluchtlijnen 3b en 9 niet meegenomen in de latere bewerkingen. Dit kon omdat de beelden van vluchtlijnen 3b en 9 volledig door andere vluchtlijnen werden bedekt. De beelden werden genomen in NW-ZO richting tussen 9h25 en 10h50 UTC tijd, waardoor rekening gehouden werd met de laagwaterstanden voor die dag. Op woensdag 6 augustus 2008 was het om 13h16 (lokale tijd) laag water (-197 cm NAP) en om 7h11 (291 cm NAP) en 19h26 hoog water (279 cm).

De beelden werden opgenomen in 18 spectrale banden in het VIS-NIR golflengtegebied van het elektromagnetische spectrum. De spectrale configuratie van de CASI-3 sensor wordt weergegeven in Tabel 15. In Tabel 16 worden de belangrijkste CASI-3 sensor karakteristieken gegeven.

Figuur 46. De 8 hyperspectrale vluchtlijnen boven de Westerschelde, gevlogen op 6 augustus 2008

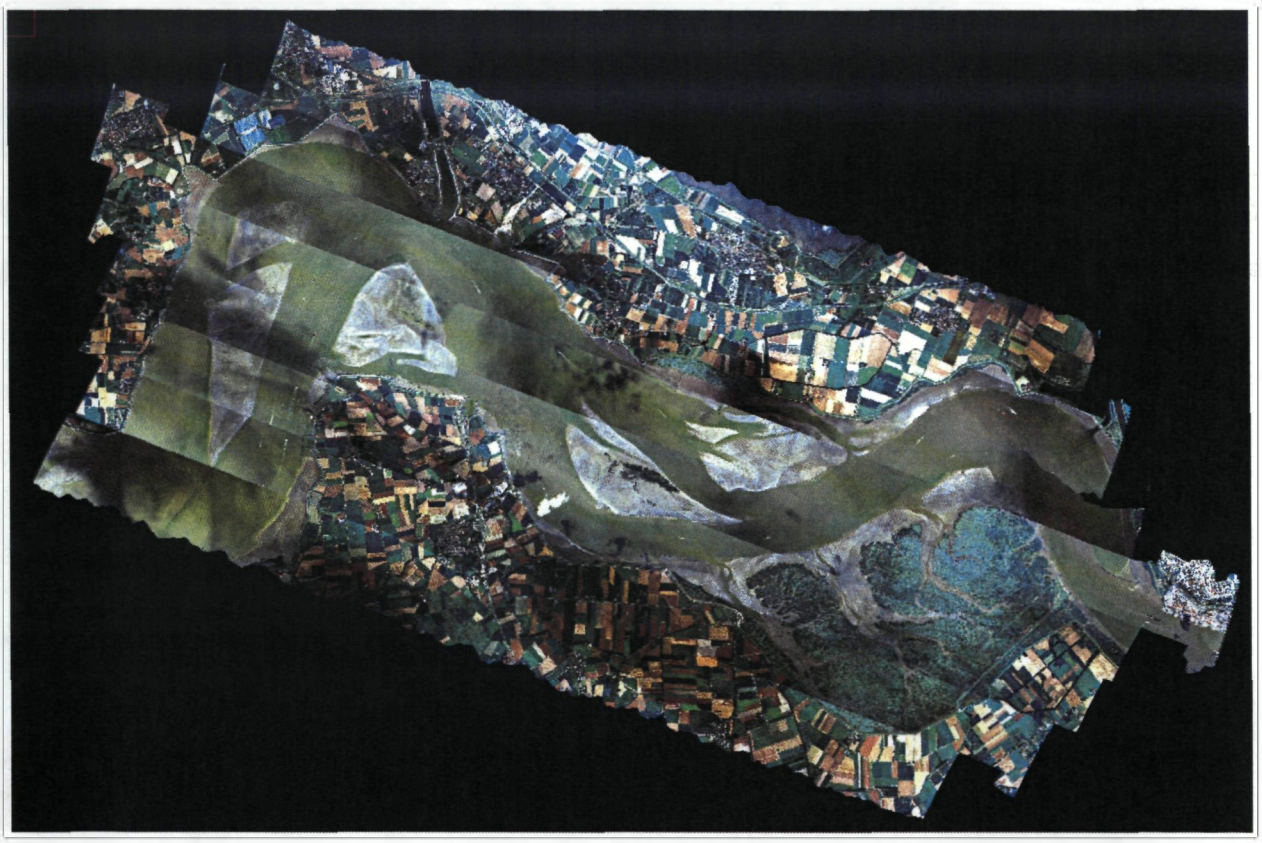
Tabel 15. Spectrale configuratie CASI-3 sensor.

Band	Centrale golflengte (nm)	FWHM (nm)	Einde (nm)	Begin (nm)	Gain (nm)	Offset
1	441.8nm	6.9nm	449.059507	435.00089	4.82005	0
2	491.4nm	8.1nm	498.931065	483.064664	8.80101	0
3	512.4nm	7.6nm	519.130069	504.10559	10.9678	0
4	531.2nm	6.8nm	536.996452	523.444575	11.1098	0
5	560.3nm	7.8nm	567.155573	551.533938	12.5246	0
6	603.8nm	7.3nm	610.567331	595.885969	15.4851	0
7	620.9nm	7.8nm	628.435	612.735723	15.8068	0
8	647.8nm	4.9nm	652.529798	642.647472	9.70327	0
9	665.5nm	5.2nm	670.646991	660.163491	11.9002	0
10	673.4nm	2.7nm	676.022873	670.646991	6.3076	0
11	681.6nm	5.5nm	687.050381	676.022873	13.3013	0
12	695.8nm	5.8nm	701.367457	689.865807	15.2638	0
13	706.0nm	4.5nm	710.251068	701.367457	12.603	0
14	718.2nm	7.7nm	725.563064	710.251068	22.3946	0
15	755.6nm	6.8nm	761.588106	748.104567	18.6591	0
16	776.6nm	7.2nm	782.670845	768.499665	16.9507	0
17	865.6nm	10.8nm	873.818689	852.529477	20.0805	0
18	943.3nm	12.1nm	952.910997	928.531328	21.1205	0

Tabel 16. CASI-3 sensor karakteristieken.

Field-of-View (FOV)	41,6°
Instantaneous FOV (IFOV)	0.027733°
Spatiale resolutie (m)	2 x 2m
# pixels per scanlijn	1500
Vlieghoogte	3200 m

Figuur 47 toont het gegeorefereerde en atmosferisch gecorrigeerd mozaïekbeeld van de hyperspectrale data genomen door de CASI-3 sensor in de 8 vluchtlijnen. Duidelijk is te zien dat het reflectantieniveau tussen aangrenzende vluchtlijnen en binnen één vluchtlijn aanzienlijk kan verschillen. Dit is het gevolg van de aanwezige laaghangende wolken en verschil in illuminatie die de atmosferische correcties bemoeilijkten.



Figuur 47. Mozaïek van de hyperspectrale CASI-3 data samengesteld uit 8 vluchtlijnen.

Beeldverwerking

Voor de verwerking en analyse van de beelden werd dezelfde procedure gevolgd als in 2005, 2006 en 2007 zodat de resultaten vergeleken kunnen worden. Voor een gedetailleerde beschrijving van de verschillende stappen wordt dan ook naar de vorige paragraaf verwezen. Specifieke correcties en parameters voor de 2008 campagne worden hier gegeven.

Atmosferische correctie

Voor een juiste omzetting van de radiantie gemeten door de sensor naar de reflectantie van de gemeten objecten is het belangrijk een zo juist mogelijke schatting te maken van de atmosferische condities waarin de opnames plaatsvonden. De zichtbaarheid die per vluchtlijn varieerde en de hoeveelheid waterdamp in de lucht, werden geschat aan de hand van de sunphotometer, gemeten door VITO op het tijdstip van de hyperspectrale vlucht (Tabel 17).

Na de atmosferische correctie met deze sunphotometer gegevens werden voor vluchtlijn 4, 7 en 1 te lage waarden bekomen, voornamelijk in het VIS spectra. De zichtbaarheid voor deze vluchtlijnen werd respectievelijk verhoogd tot 25km, 25km en 22km waarna spectra vergelijkbaar met omliggende vluchtlijnen werden verkregen.

Tabel 17. Sunphotometer gegevens (zichtbaarheid en waterdampwaarden) per vluchtlijn.

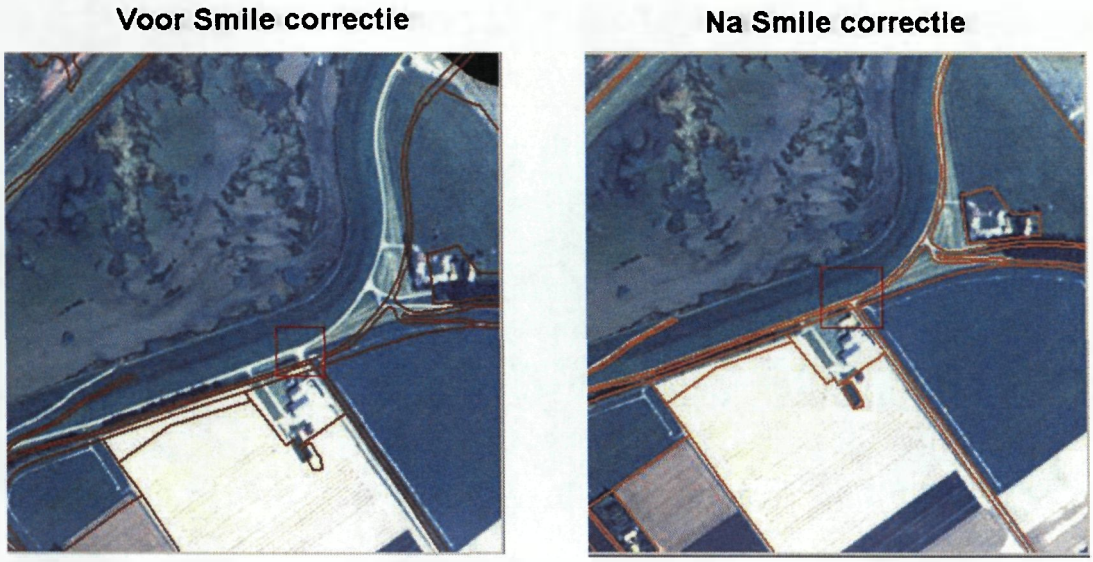
Vluchtlijn	Waterdampwaarden (cm)	Zichtbaarheid (km)
8	1,9	30
4	1,9	**15**
7	1,9	**15**
3	1,9	**30**
6	1,9	**32**
2	1,9	**23**
5	1,9	**29**
1	1,9	**12**

Geometrische correctie

In vergelijking met de campagne van 2007, waar een AISA sensor werd gebruikt, is in 2008 met een CASI-3 sensor gevlogen. Omdat de sensor-opening voor CASI-3 gebogen is, moet er voor het zogenoemde "Smile-effect" extra gecorrigeerd worden. Omwille van de grote hoogte waarop is gevlogen, kon de vervorming aan de randen van het beeld 25m bedragen. De Smile correctie is een 2^{de} graad polynoom die op devolgende manier wordt berekend:

$$x = A0 + A1*y + A2*y^2$$

met x de berekende correctiewaarde voor column pixel y en A0, A1 en A2 de polynomische coëficienten die door Environment Agency werden aangeleverd. De correctiewaarde wordt toegepast in de richting van de vluchtlijn. Een voorbeeld van de Smile correctie wordt in Figuur 48 geïllustreerd.



Figuur 48. Voorbeeld van de Smile correctie, toegepast op vluchtlijn 3. De bovenliggende referentiedata werd aangeleverd door NIOO-KNAW.

Opsplitsing van het studiegebied in deelgebieden

In vergelijking met 2007 is het studiegebied uitgebreid om ook de de Rug van Baarland (Plaat 6) te bedekken. De totale oppervlakte van het opgenomen gebied bedraagt om en bij de 300 km^2. Omwille van (i) de grootte van de mozaïek, (ii) het verschil in illuminatie voor eenzelfde vluchtlijn en (iii) enkel de oevers en platen van de Westerschelde dienen verwerkt te worden, werd het gebied in 14 deelgebieden onderverdeeld. Alle deelgebieden buiten de Rug van Baarland hebben dezelfde geografische extensie als in 2007. Voor alle duidelijkheid wordt in Tabel 17 en Figuur 49 een overzicht van de deelgebieden gegeven.

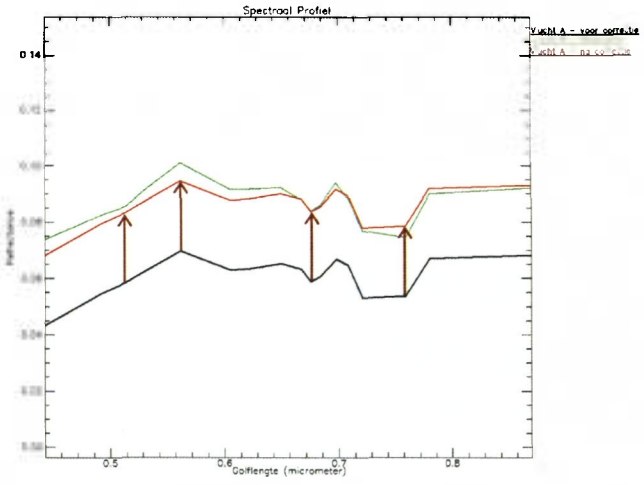
Figuur 49. De 14 deelgebieden waarin het Westerschelde gebied werd opgesplitst.

Tabel 17. Hoekpunten van de 14 geselecteerde gebieden in Lat Long WGS 84.

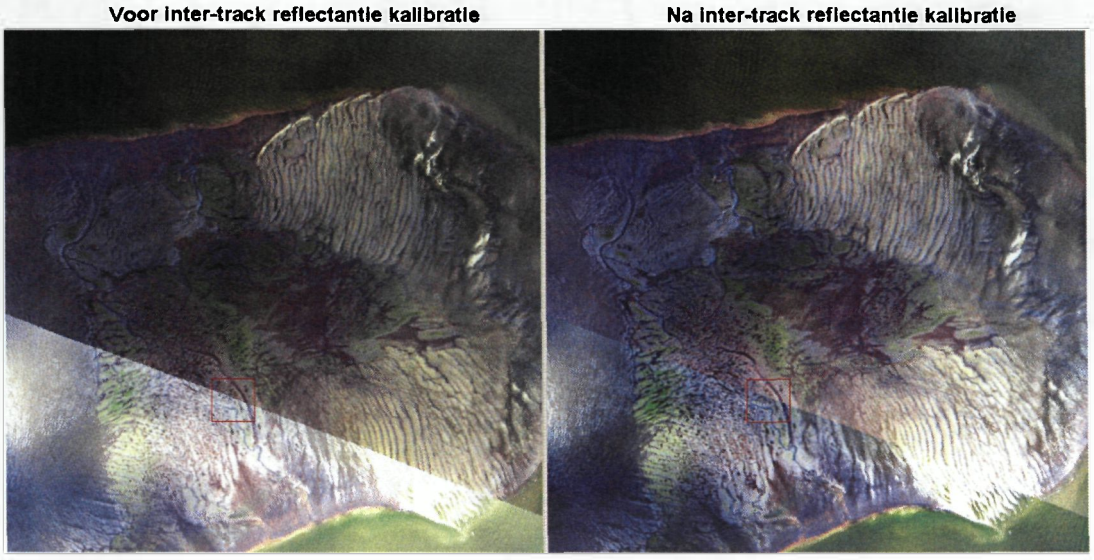
Deelgebied	N			W			S			E		
Plaat1	51	26	47	3	55	59	51	25	40	3	58	19
Plaat2	51	25	57	3	58	17	51	24	20	4	1	10
Plaat3	51	23	55	4	5	27	51	22	45	4	8	59
Plaat4	51	24	14	4	3	0	51	22	19	4	7	30
Plaat5	51	23	13	4	6	7	51	19	37	4	13	20
Plaat 6	51	25	59	3	55	32	51	23	13	3	57	45
Oever1	51	24	35	3	57	36	51	23	50	4	2	3
Oever2	51	23	52	4	1	18	51	21	55	4	3	0
Oever3	51	22	25	4	2	57	51	21	19	4	6	10
Oever4	51	21	33	4	13	18	51	20	15	4	14	50
Oever5	51	24	30	4	7	36	51	23	9	4	13	33
Oever6	51	25	1	4	3	7	51	23	43	4	7	47
Oever7	51	26	17	4	1	38	51	24	58	4	3	36
Oever8	51	27	22	3	58	55	51	26	5	4	1	42

Hyperspectrale inter-track reflectantie kalibratie

Door het verschil in illuminatie tussen en binnen de vluchtlijnen, en de aanwezige wolken die op verscheidene plaatsen schaduwen over de deelgebieden werpen kon de atmosferische correctie niet optimaal uitgevoerd worden. Er werd dus gekozen om, net als in 2007, de vluchtlijnen per deelgebied te kalibreren. Dit gebeurde door de reflectantie spectra van de overeenkomstige gebieden met elkaar te vergelijken en de spectra van de vluchtlijn met de laagste waarde te vermeerderen met het gemiddelde verschil tussen de 2 spectra (Figuur 29). Er werden per deelgebied telkens 10 punten geselecteerd om het gemiddelde verschil uit te rekenen en werd slechts toegepast indien deze groot genoeg (>0.02%) en constant over het beeld was. In Figuur 51 wordt de mozaïek voor en na de reflectantie kalibratie getoond.



Figuur 50. Illustratie van de inter-track reflectantie kalibratie waarbij de spectra van de vluchtlijn met de laagste waarde vermeerderd wordt met het gemiddelde verschil tussen de 2 spectra.



Figuur 51. Effect van de inter-track reflectantie kalibratie voor Plaat 1.

Veldmetingen

De veldcampagne, uitgevoerd door NIOO-KNAW in juni 2008, bestaat uit 184 punten waarvoor het Chl-a gehalte, de korrelgrootte en het slibgehalte bepaald werd (zie paragraaf 2.3.3). De lokatie werd aan de hand van GPS opgemeten zodat de veldmetingen gebruikt kunnen worden voor de interpretatie van de geclassificeerde beelden.

Detectie van microfytobenthos (MFB) en schor door middel van NDVI berekingen

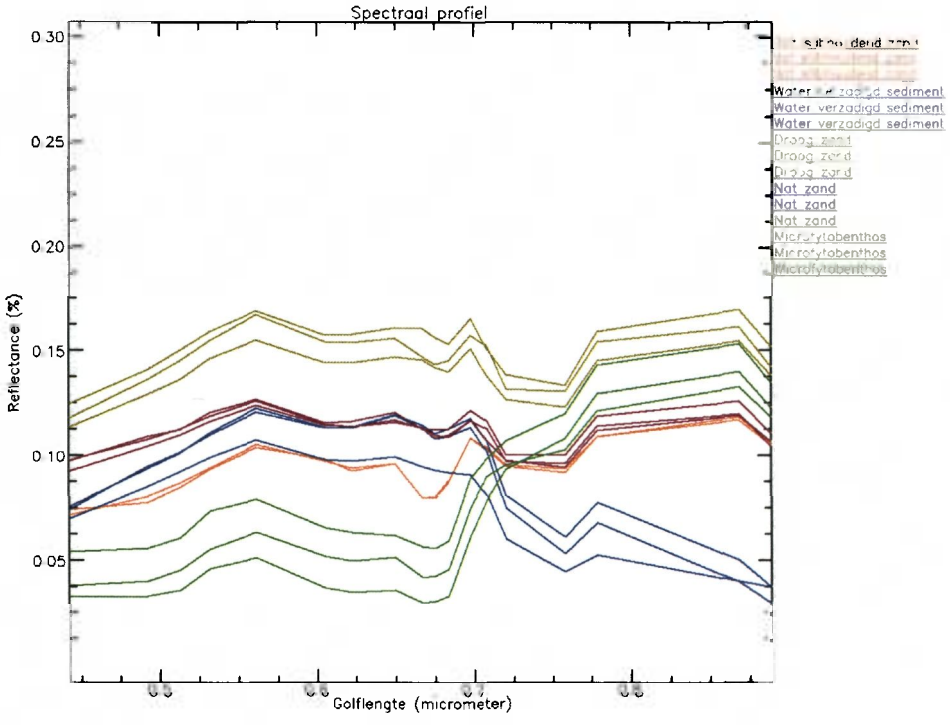
Het microfytobentos (MFB), samen met de vegetatie (schor) werd onderzocht aan de hand van de NDVI, een vegetatie index uitermate geschikt om het aanwezige chlorofyl in een beeld te onderscheiden. Hiervoor werd dezelfde berekening en schaal als in 2007 gebruikt.

Classificatie van de deelgebieden

De classificatie van de deelgebieden houdt in dat naast de detectie van Chl-a ook de korrelgrootte en het slibgehalte van het sediment bepaald wordt. Na een principale componentenanalyse (PCA), werd een ISODATA classificatie uitgevoerd op de eerste 4 banden van het PCA geroteerde beeld. Een uitgebreide analyse van het geclassificeerde beeld met de veldmetingen wees uit dat de ISODATA met 20 klassen in evenveel iteraties de diversificatie tussen de verschillende spectra optimaliseert. Voor 26 klassen, zoals toegepast in 2007, waren de verschillen tussen de klassen te klein.

Op basis van de veldmetingen en analyse van de gemiddelde spectra werden de 20 klassen onderverdeeld in 4 grote groepen: water verzadigd sediment, nat slibhoudend zand, nat zand en zand. Water verzadigd sediment kon relatief makkelijk bepaald worden aan de hand van de lage

reflectantie waarden in het NIR (Figuur 52). De verdeling tussen nat slibhoudend zand en zand werd gedaan aan de hand van de veldmetingen. Zoals in 2007, nemen we aan dat we met zand te maken hebben als de mediaan van de korrelgrootte (MD50) groter is dan 160 µm en het slibgehalte kleiner is dan 3%. Indien er voor een deelgebied geen veldmeting beschikbaar was werd er gekeken naar de gemiddelde reflectantie waarde. Naast gemiddeld lage reflectanties werden ook spectra die een sterke dip vertonen rond 676 nm geclassificeerd als slibhoudend zand (Figuur 52). Deze dip is het gevolg van het nog aanwezige chlorofyl-a in het slib, maar in een concentratie die te klein is om gedetecteerd te worden met NDVI. Voorts was de verdeling tussen nat zand en zand nodig om het verschil in spectrale respons tussen beide in rekening te brengen. Nat zand heeft immers een veel grotere reflectantie over heel het VIS/NIR spectrum (Figuur 52). Het resultaat van de sediment – ecotoop classificatie wordt voor het gehele gebied en alle deelgebieden afzonderlijk in de Appendix getoond.

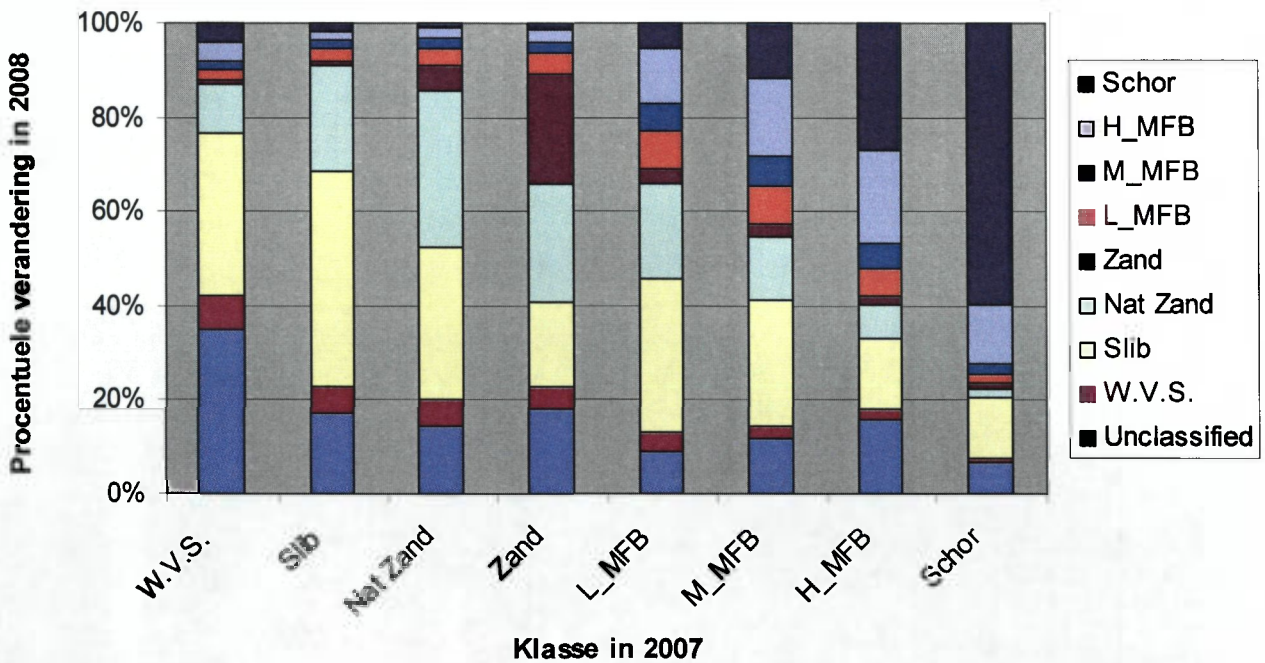


Figuur 52. Reflectantie spectra voor nat slibhoudend zand, water verzadigd sediment, droog zand, zand en microfytobenthos zoals opgemeten met de CASI-3 hyperspectrale sensor.

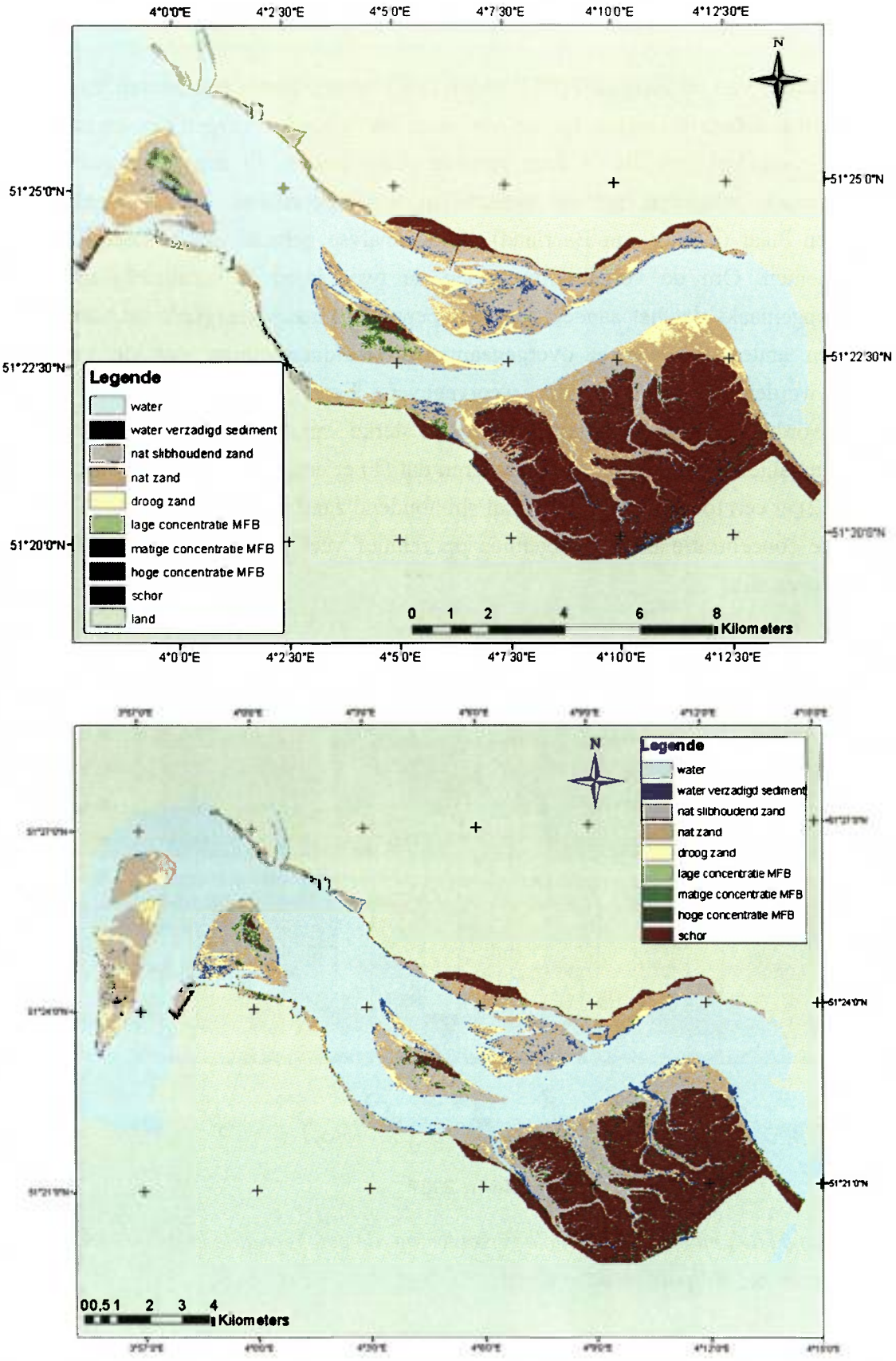
De classificatie die afgestemd was op 1 deelgebied, nl. de Plaat van Walsoorden, kon niet zoals in 2007 volledig worden toegepast voor de rest van het studiegebied. Om individuele verschillen in de ISODATA classificaties van de deelgebieden in rekening te brengen moest er telkens in detail naar de reflectantie spectra en velddata van ieder deelgebied gekeken worden. Zo kon het bijvoorbeeld zijn dat op Plaat 4 het water verzadigd sediment geïdentificeerd werd in klasse 1, 3 en 4 waar dit voor oever 2 in klasse 2, 4, 8 en 9 was.

3.2.3. Vergelijking sediment-ecotoop bedekking 2007-2008

De classificaties van de 2007 en 2008 beelden (zie Figuur 54 voor een overzicht) zijn op een gelijkaardige wijze gebeurd. Dit laat toe de resultaten met elkaar te vergelijken en conclusies te trekken uit de veranderingen die in deze periode plaatsvonden. Er dient hier natuurlijk ook rekening te worden gehouden met het verschil in opnamecondities. Verder werden Plaat 1 (Molenplaat) en Plaat 6 (Rug van Baarland) uit de analyse gehaald omdat deze in 2007 niet werden opgenomen. Om de vergelijking tussen de twee jaren te verduidelijken werd een staafdiagram opgemaakt dat het aandeel van een bepaalde klasse weergeeft dat van 2007 naar 2008 naar een andere klassen is overgegaan. De staafdiagrammen van de verschillende deelgebieden worden in de Appendix weergegeven. Een gemiddelde evolutie over alle deelgebieden wordt in Figuur 53 gegeven. Er is een sterke variatie in sediment-ecotopenklassen gevonden. In het algemeen kunnen we concluderen dat (1) er een toename van het areaal schor is gesignaleerd, (2) er een toename van het areaal slibhoudend zand is gesignaleerd en (3) de klassen lage en matige concentratie microfytobenthos op relatief veel plaatsen zijn overgegaan in de klassen nat zand en slib.



Figuur 53. Staafgrafiek met de procentuele verandering die een bepaalde klasse ondergaat tussen 2007 en 2008 voor het volledige studiegebied.



Figuur 54. Classificatie van de oostelijke Westerschelde in 2007 (boven) en 2008 (onder) (zie Appendix voor een grotere weergave van de figuren).

5. Conclusies

In dit rapport is een inventarisatie beschreven van de ecologische toestand van de potentiële stortlokatie van het gebied ten westen van de Rug van Baarland, en de Rug van Baarland zelf.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

(1) Het subtidale gebied ten westen van de Rug van Baarland is ecologisch zeer productief en waardevol. Het macrobenthos heeft hier een hoge totale biomassa en dichtheid en het aantal soorten is hoog. De grote ecologische rijkdom hangt samen met de aanwezigheid van zeer slibrijk substraat, en een lage substraatdynamiek. Twee dichtbijliggende controlegebieden hadden een significant armere macrobenthosgemeenschap, en waren significant zandiger.

(2) De Rug van Baarland heeft een rijke macrobenthosgemeenschap. Er is een gradient van west (weinig macrobenthos, weinig chlorofyl) naar oost (meer macrobenthos, hoge chlorofylgehalten). In het noordwesten van de plaat bevindt zich een slibrijk gebied, met hoge concentraties chlorofyl en hoge biomassa's en dichtheden macrobenthos.

Naast de inventarisatie van de Rug van Baarland is zowel in augustus 2007 en augustus 2008 een gebiedsdekkende survey uitgevoerd van de gehele oostelijke Westerschelde met behulp van hyperspectrale remote sensing vanuit een vliegtuig, met een intensieve groundtruthing op een aantal slikken en platen. Een classificatie van deze beelden is uitgevoerd om de sediment-ecotopen in kaart te brengen, waarbij onderscheid is gemaakt in fijn zand, zand, waterverzadigd sediment, verschillende concentraties microfytobenthos en schor. Hoewel rekening moet worden gehouden met veranderingen in klassen door andere (getijden)omstandigheden tussen de twee opnamen, toont de vergelijking van de twee classificaties aan dat met name het gebied slibhoudend zand groter is in augustus 2008 dan in augustus 2007. Daarnaast is het areaal schor uitgebreid. Groundtruthing bevestigt de toename van slib tussen 2007 en 2008.

Referenties

Forster, R.M., Rossi, F., Bonnie, K., Heip, C.H.R. & Herman, P.M.J. 2006. *Alternatieve stortstrategie voor de Westerschelde: ecologisch monitoringsprogramma proefstorting Walsoorden.* Rapport 11/11. NIOO 2006-02. Yerseke, Netherlands.

Kromkamp, J.C., E.P. Morris, R.M. Forster, C. Honeywill, S. Hagerthey, D.M. Paterson (2006). Relationship of intertidal surface sediment chlorophyll concentration to hyperspectral reflectance and chlorophyll fluorescence. *Estuaries and Coasts* 29: 183-196.

Leys, E., Plancke, Y. & Ides, S. (2006). Shallow, shallower, shallowest: morphological monitoring Walsoorden. Proceedings 15th International Congress of the International Federation of Hydrographic Societies. *Special Publication of the Hydropgraphic Society*, 55, pp. 93-96.

Plancke, Y. en S. Ides (2006). Pilootproject "Stortstrategie Walsoorden": een nieuwe benadering voor het beheren van de morfologie van de Westerschelde. Water 26(2): 61-65.

Raymaekers, D. & E. Knaeps (2008). Hyperspectrale beeldanalyses ter ondersteuning van het Ecologische Monitoringprogramma in de Westerschelde – 2008. Rapport VITO, voor NIOO-KNAW, 18 pp. bijlagen.

Van der Wal, D., A. Wielemaker, T. Ysebaert, E. Knaeps, G. van Hoey, T.J. Bouma, H. Hummel, C.H.R. Heip en P.M.J. Herman (2007). *Alternatieve stortstrategie voor de Westerschelde. Voortzetting monitoringsprogramma proefstorting Walsoorden. Lot 2 – Ecologische monitoring.* Rapport 6/6. Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie, Yerseke, 148 pp.

Van der Wal, D., P.M.J. Herman, R.M. Forster, T. Ysebaert, F. Rossi, E. Knaeps, Y.M.G. Plancke, S.J. Ides (2008). Distribution and dynamics of intertidal macrobenthos predicted from remote sensing: response to microphytobenthos and environment. *Marine Ecology Progress Series* 367: 57-72.

Van der Wal, D., A. Wielemaker, D. Raymaekers, E. Knaeps, T. Ysebaert, T.J. Bouma, H. Hummel, en P.M.J. Herman (2010). *Ecologisch monitoringprogramma alternatieve stortlokaties Westerschelde: Plaat van Walsoorden.* Eindrapport. Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW) i.s.m. VITO-TAP, Yerseke, 201 pp.

Vos, G., Y. Placnke, S. Ides, T. De Mulder, F. Mostaert (2009). *Alternatieve stortstrategie Westerschelde; Proefstorting Walsoorden: Eindevaluatie proefstorting 2006.* WL Rapporten, 754_03b. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen.

Waterbouwkundig Laboratorium (2003). *Alternative dumping strategy Walsoorden; Results physical and numerical modelling.* Rapport. Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout.

Waterbouwkundig laboratorium (2006). *Alternatieve stortstrategie Westerschelde proefstorting Walsoorden. Eindevaluatie monitoring.* Rapport MOD 754/2C. Waterbouwkundig laboratorium, Borgerhout.

Appendices

Appendix I: Overzicht bemonstering

tum	Gebied	Subtidaal		Intertidaal								
		Benthos	Sed	Hydro	Benthos	Sed	Chl	Refl	Mv	Foto	dGPS	SEB	Hyp
8, 18, 20-22 jun 2007*	O. Westerschelde (T0)					X	X	X	X	X	X		
ug 2007**	O. Westerschelde (T0)												X
-20, 24, 27 sep 2007	Rug van Baarland (T0)	X	X		X	X	X		X	X			
, 13, 16 nov 2007	Rug van Baarland (T0)			X									
-16 jan 2008	Rug van Baarland (T0)			X									
- 11 apr 2008	Rug van Baarland (T0)	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
-24 jun 2008	Rug van Baarland (T0)					X	X	X	X	X			
26 jun 2008**	O. Westerschelde (T0)					X	X		X	X			
ug 2008**	O. Westerschelde (T0)												X

Hydro:	Hydrodynamische metingen
Benthos:	Macrobenthosmonsters
Sed:	Sedimentmonsters voor korrelgrootteverdeling
Chl:	Monsters voor bepaling van pigmenten, inclusief chlorofyl-a
Refl:	TRIOS Ramses reflectiemetingen
Mv:	Volumetrisch vochtgehalte
Foto:	Digitale foto van het oppervlak
dGPS:	Hoogtemeting met behulp van dGPS
SEB:	Meting sedimentatie-erosiebar
Hyp:	Hyperspectrale opname vanuit een vliegtuig (AISA in 2007 en CASI in 2008), plus sunphotometer door VITO-TAP
*	Voornamelijk voor deelopdracht 1/2 (zie Van der Wal et al., 2010)
**	Deels voor deelopdracht 1/2 (zie Van der Wal et al., 2010)

Appendix II: Responscurven subtidaal

Respons biomassa op mediane korrelgrootte (AIC: 2046), I1, C1 en C2

	Estimate	Std.Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	7.429e-05	1.121e-04	0.663	0.509
med	-1.362e-06	1.580e-06	-0.862	0.390
I(med^2)	6.422e-09	5.393e-09	1.191	0.236

Respons biomassa op slibgehalte (AIC: 2023), I1, C1 en C2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	2.114e-04	5.503e-05	3.841	0.000199	***
mud	-9.173e-04	2.619e-04	-3.502	0.000654	***
I(mud^2)	1.007e-03	3.275e-04	3.074	0.002632	**

Respons biomassa op hoogteligging (AIC: 2069)), I1, C1 en C2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	1.337e-04	1.103e-04	1.212	0.228
elev	4.883e-05	3.882e-05	1.258	0.211
I(elev^2)	5.123e-06	3.356e-06	1.526	0.130

Respons soortenrijkdom op mediane korrelgrootte (AIC: 503)), I1, C1 en C2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	-3.119e-01	9.950e-02	-3.135	0.002173	**
med	4.026e-03	1.031e-03	3.905	0.000158	***
I(med^2)	-5.405e-06	2.482e-06	-2.178	0.031413	*

Respons soortenrijkdom op slibgehalte (AIC: 487)), I1, C1 en C2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	0.36827	0.02408	15.296	< 2e-16	***
mud	-0.93637	0.21014	-4.456	1.92e-05	***
I(mud^2)	0.81114	0.37596	2.158	0.033	*

Respons soortenrijkdom op hoogteligging (AIC 546)), I1, C1 en C2

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	0.376113	0.218687	1.720	0.0881	.
elev	0.054633	0.068381	0.799	0.4259	
I(elev^2)	0.005157	0.005123	1.007	0.3161	

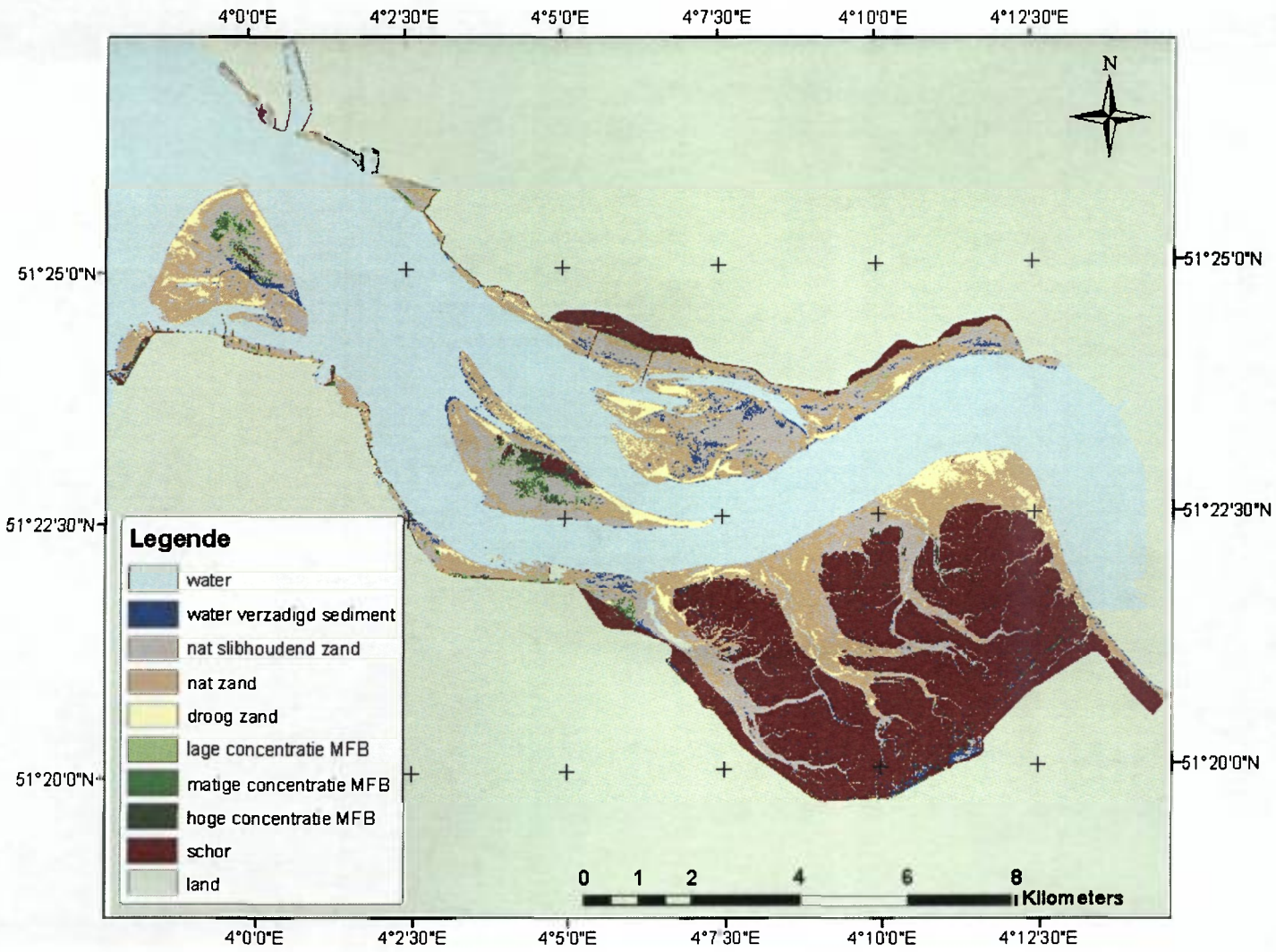
Respons biomassa op substraatdynamiek (AIC: 915), alleen gebied I1), I1, C1 en C2

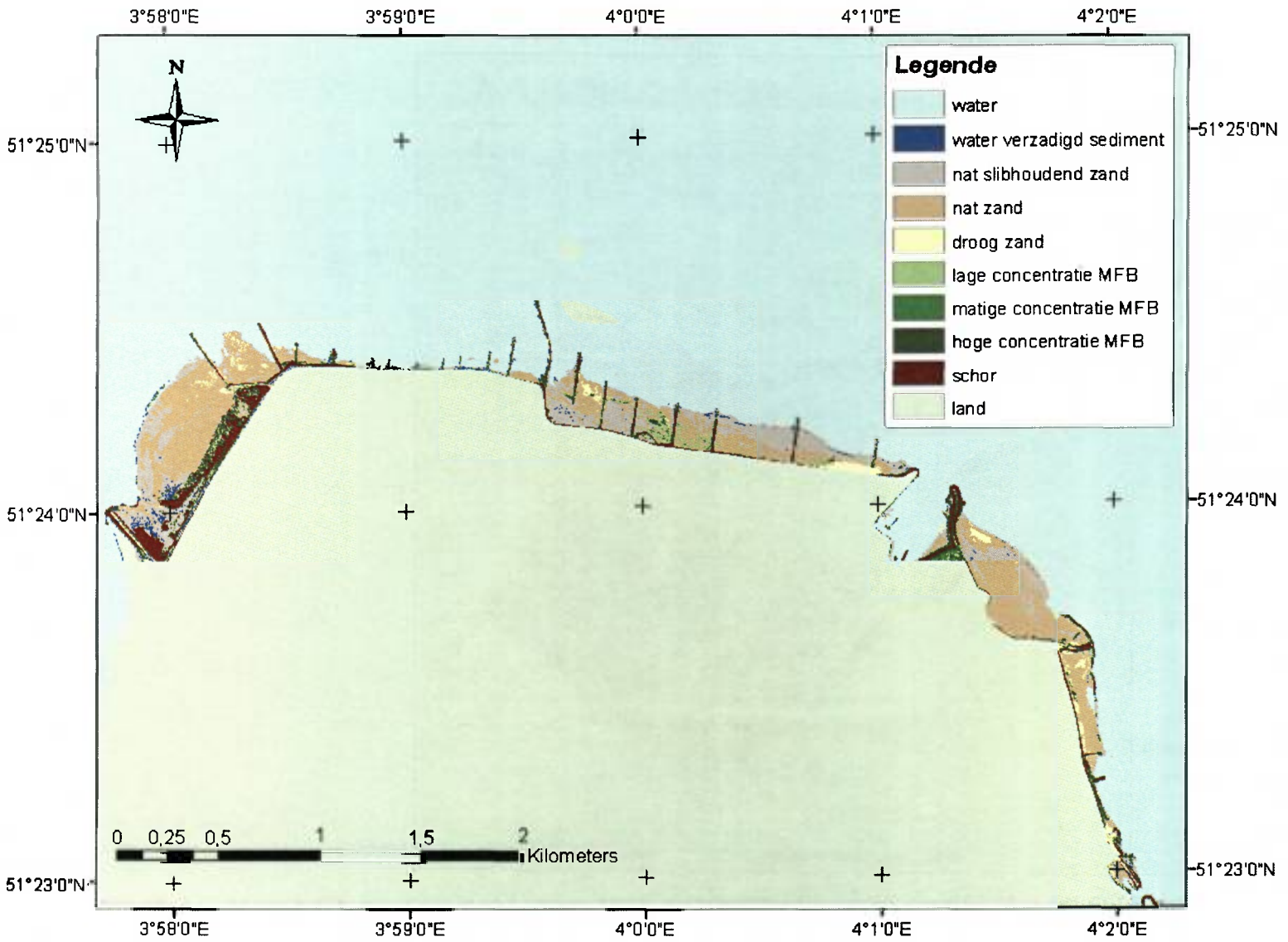
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	3.988e-07	3.337e-06	0.120	0.9055	
dyn	1.945e-04	7.836e-05	2.482	0.0177	*
I(dyn^2)	-3.135e-04	1.688e-04	-1.857	0.0712	.

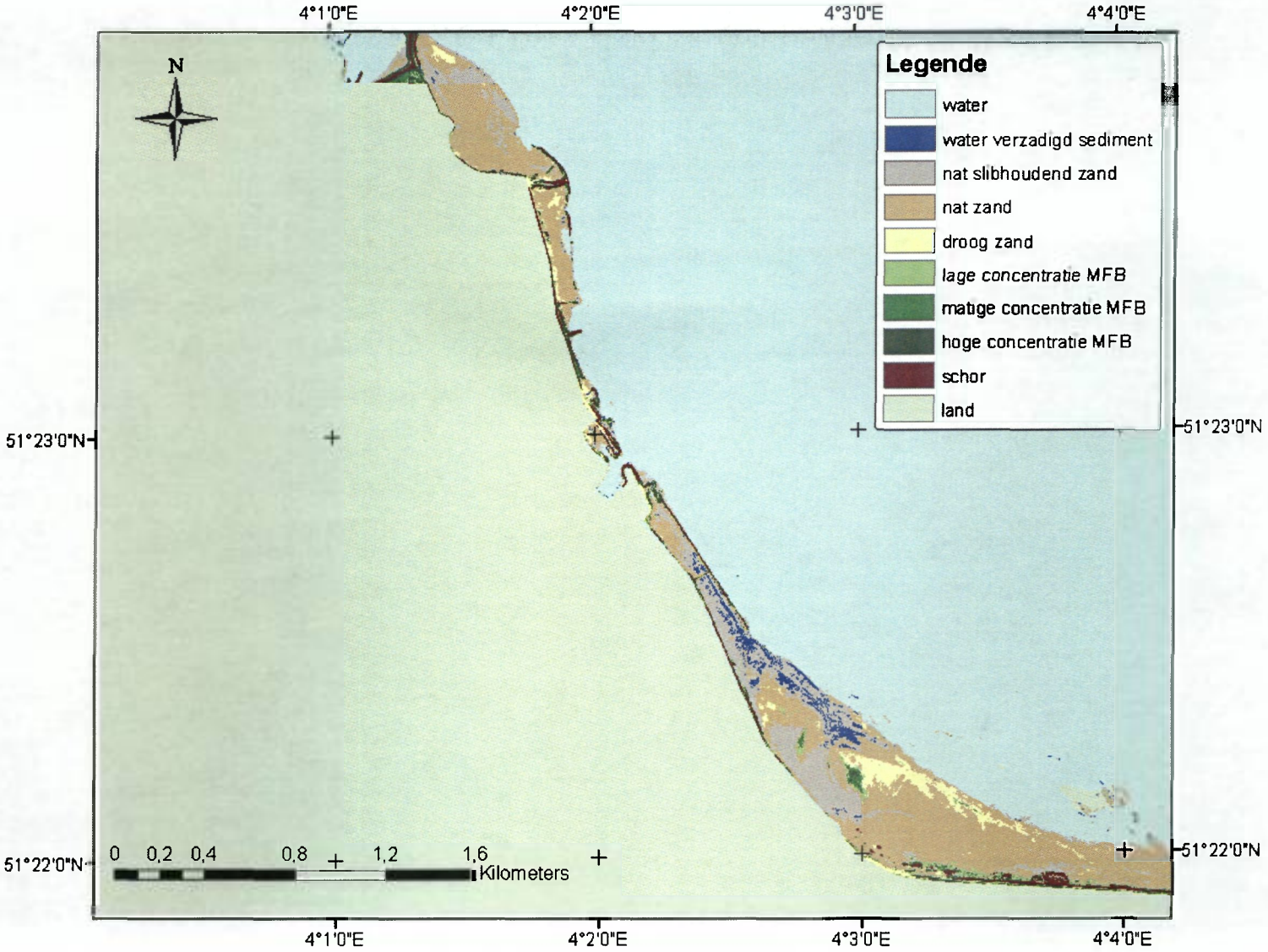
Respons aantal soorten op substraatdynamiek (AIC: 202), alleen gebied I2), I1, C1 en C2

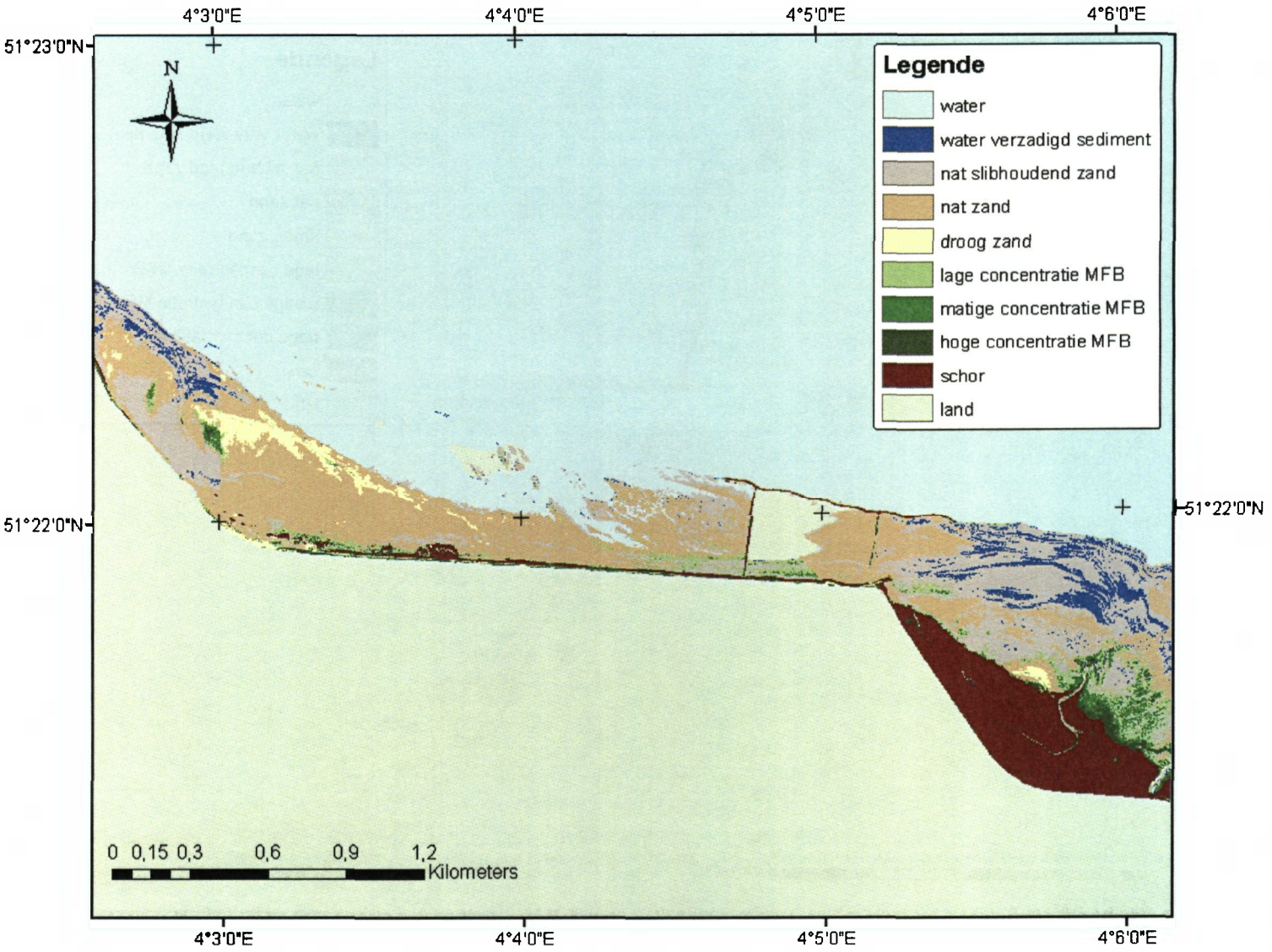
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
(Intercept)	0.08190	0.02196	3.729	0.000642	***
dyn	0.81393	0.32750	2.485	0.017592	*
I(dyn^2)	-0.81785	0.80013	-1.022	0.313348	

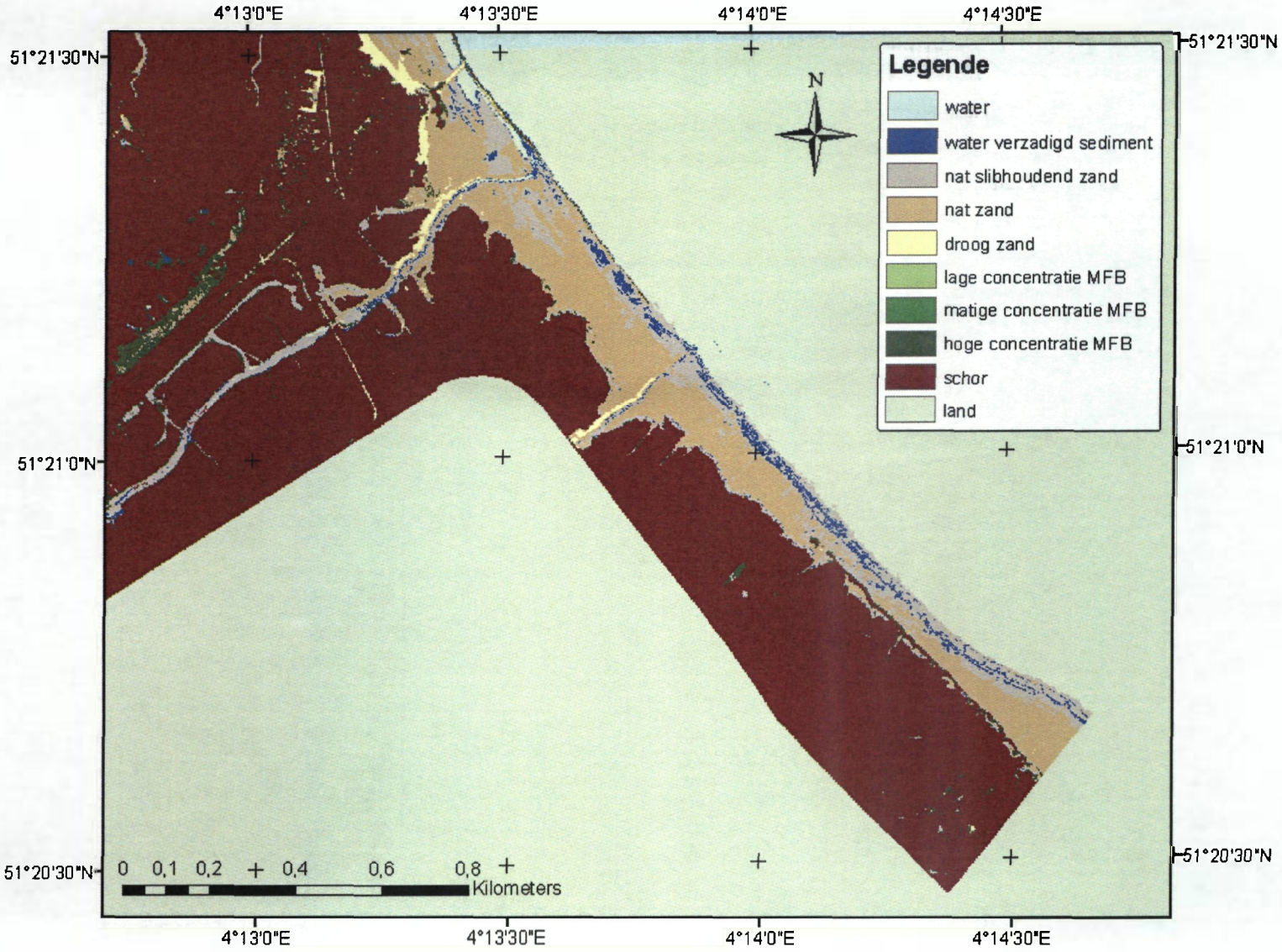
Appendix III: Sediment-ecotoop classificatie 2007 (VITO-TAP)

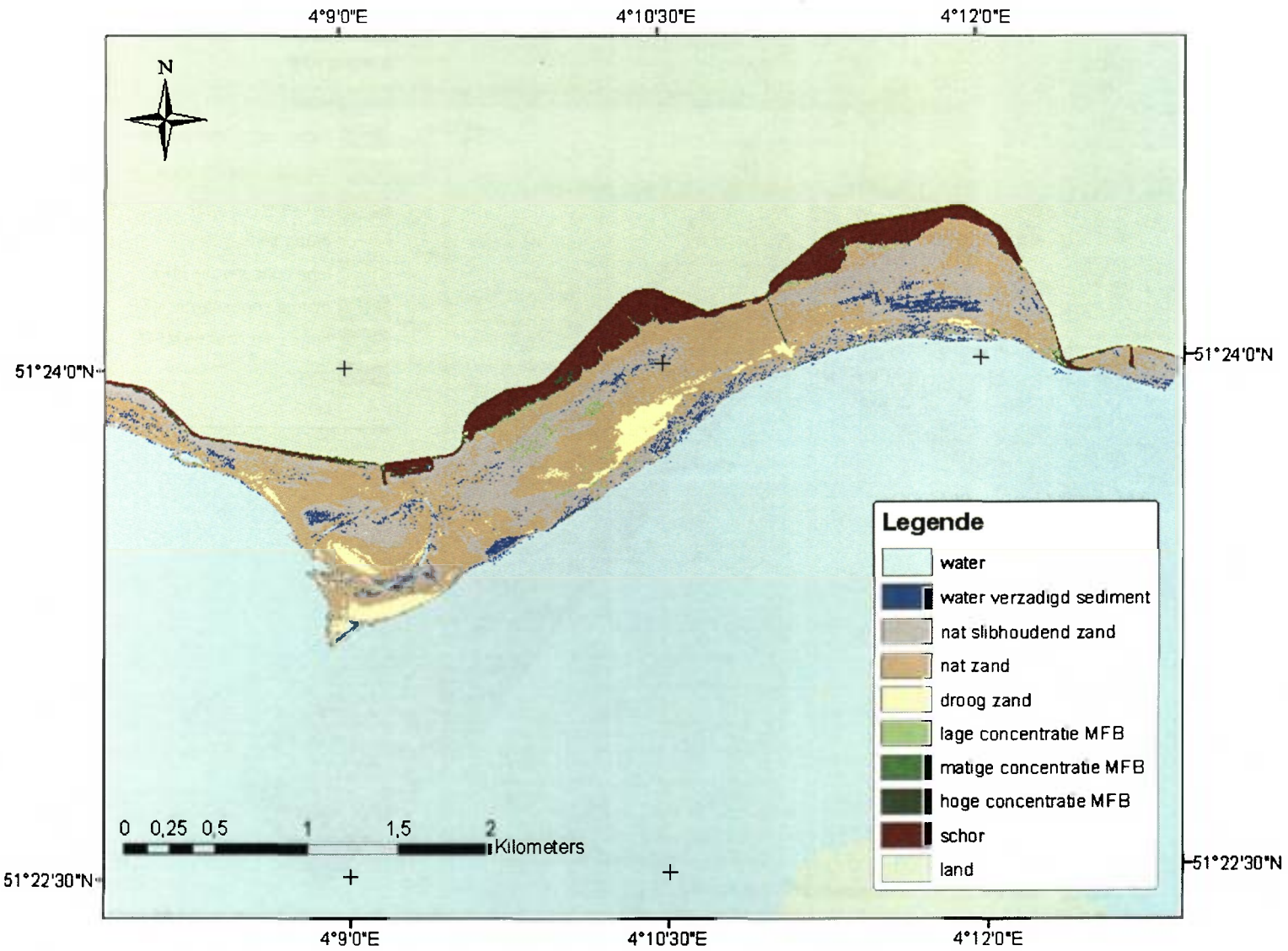


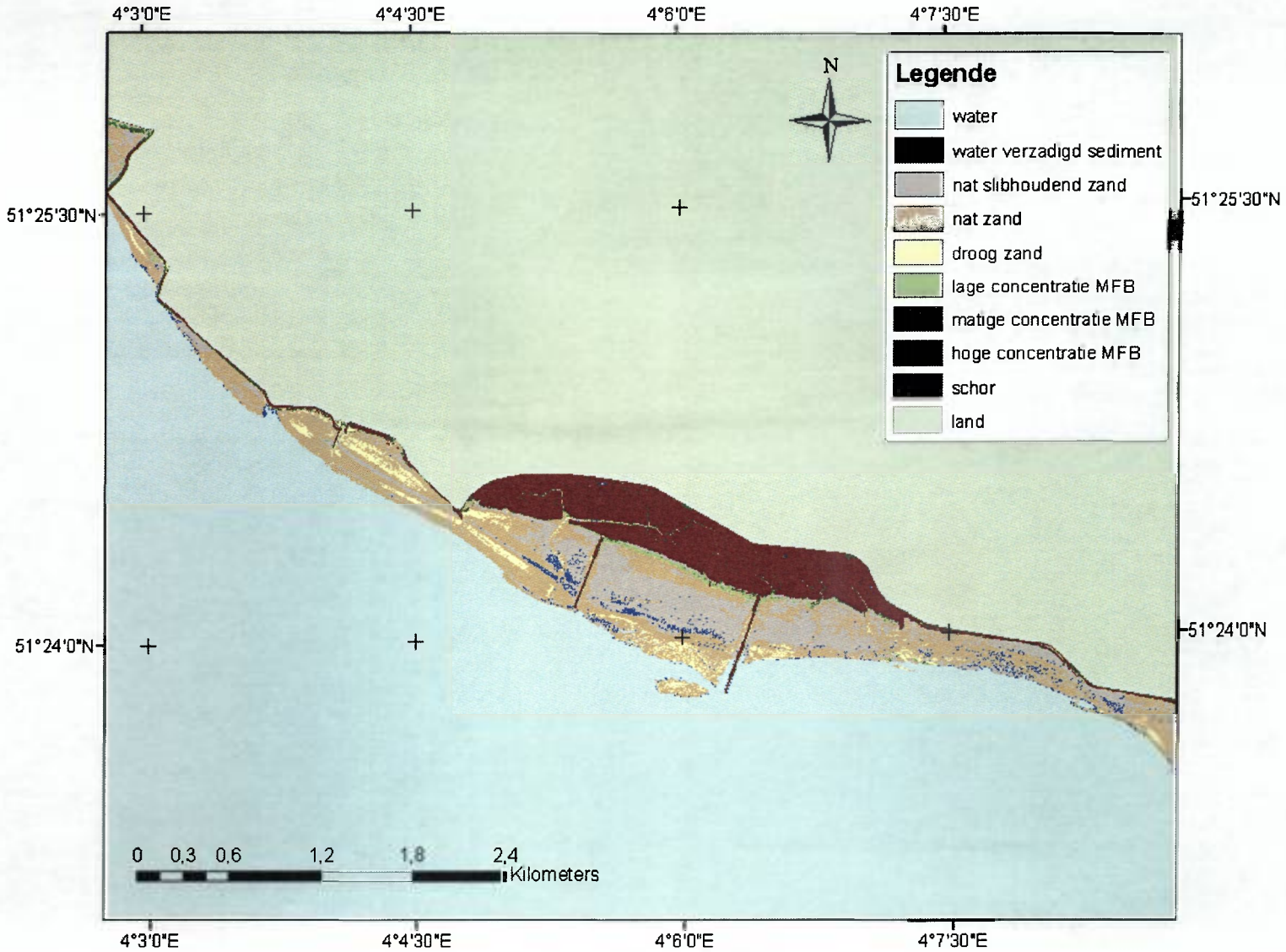

3°58'0"E
3°59'0"E
4°0'0"E
4°1'0"E
4°2'0"E
51°25'0"N
51°24'0"N
51°23'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
0 0,25 0,5 1 1,5 2
Kilometers

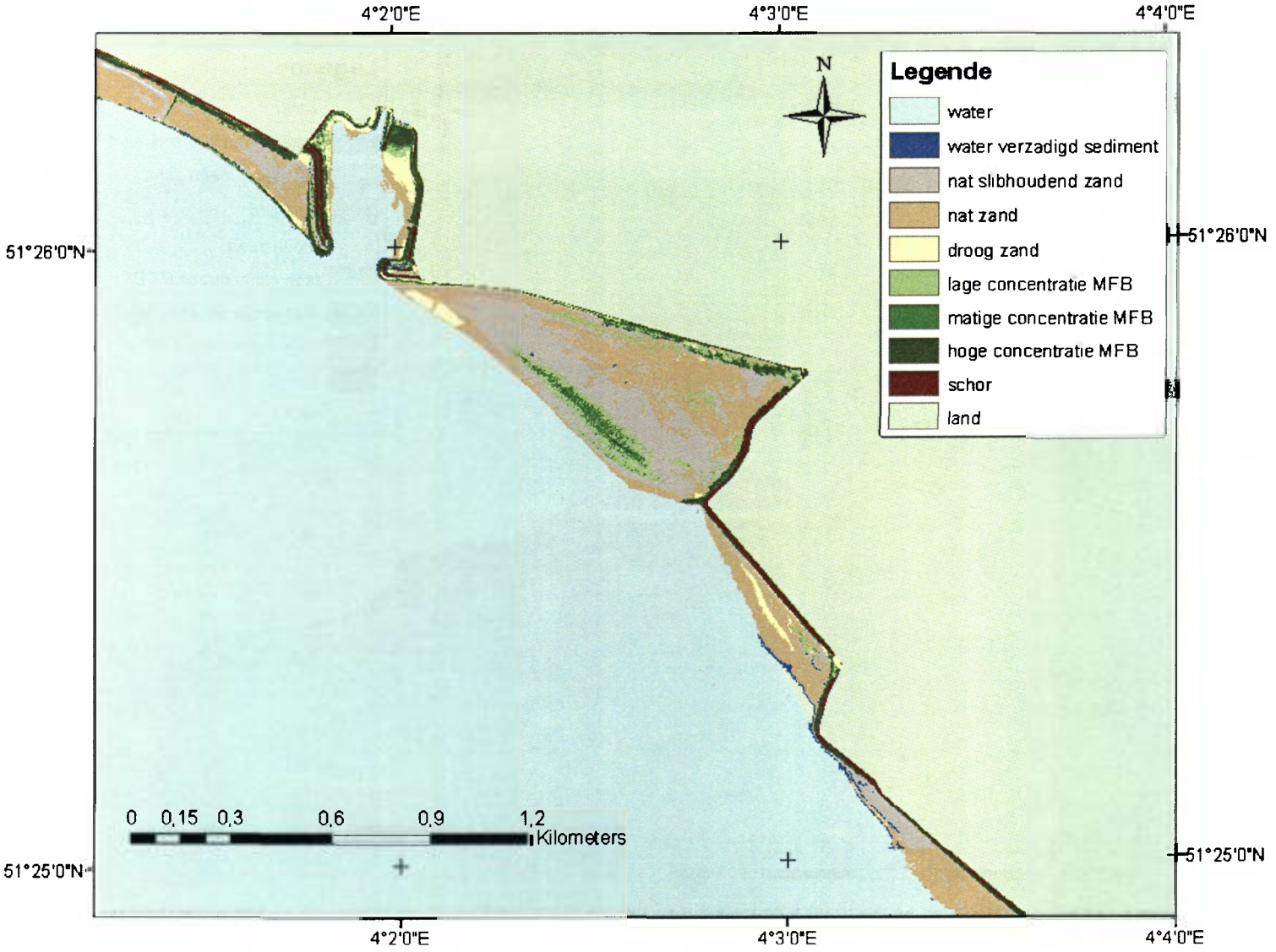

4°1'0"E
4°2'0"E
4°3'0"E
4°4'0"E
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
51°23'0"N
51°22'0"N
0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6
Kilometers

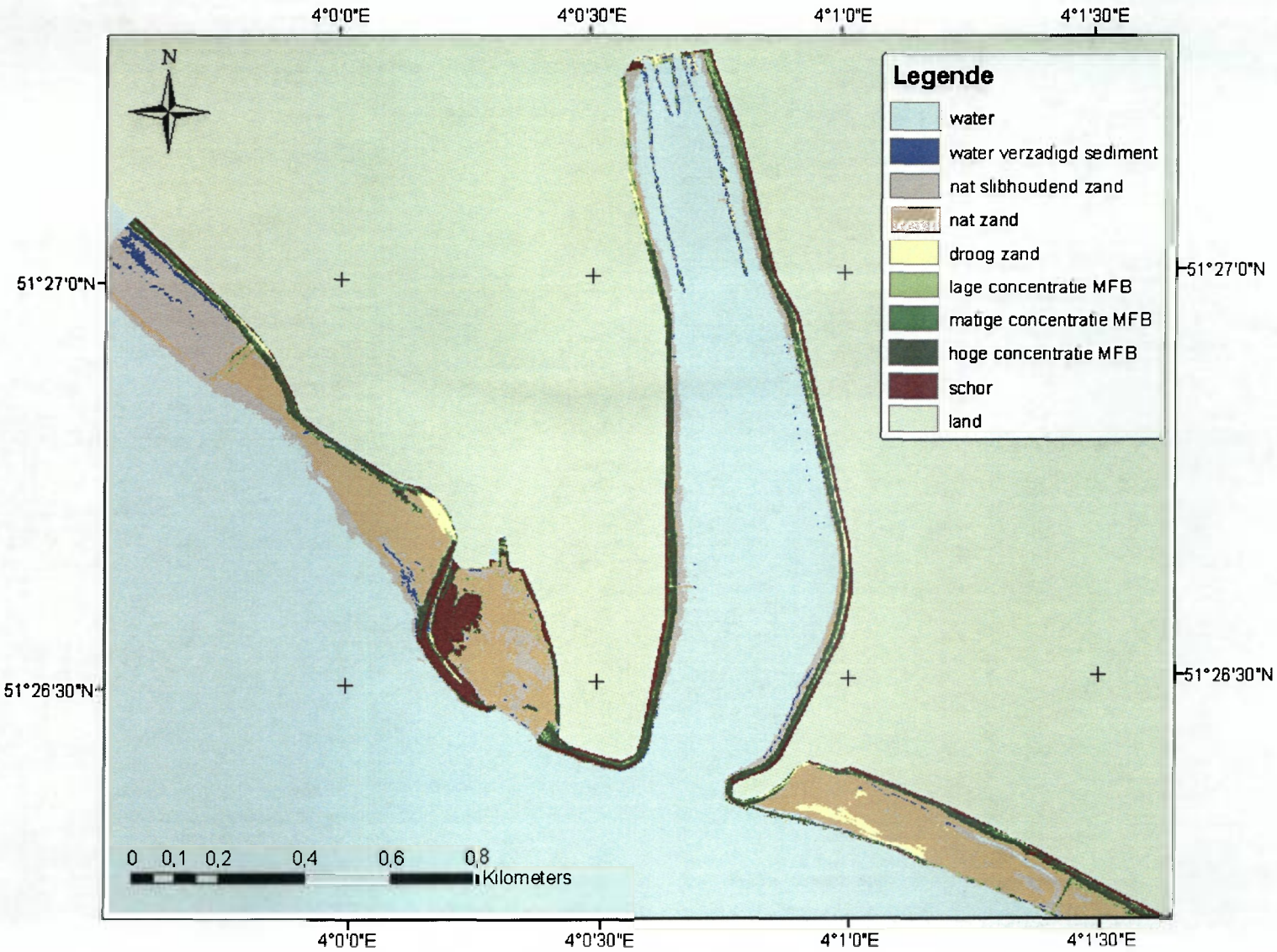

4°3'0"E
4°4'0"E
4°5'0"E
4°6'0"E
51°23'0"N
51°22'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
0 0,15 0,3 0,6 0,9 1,2
Kilometers

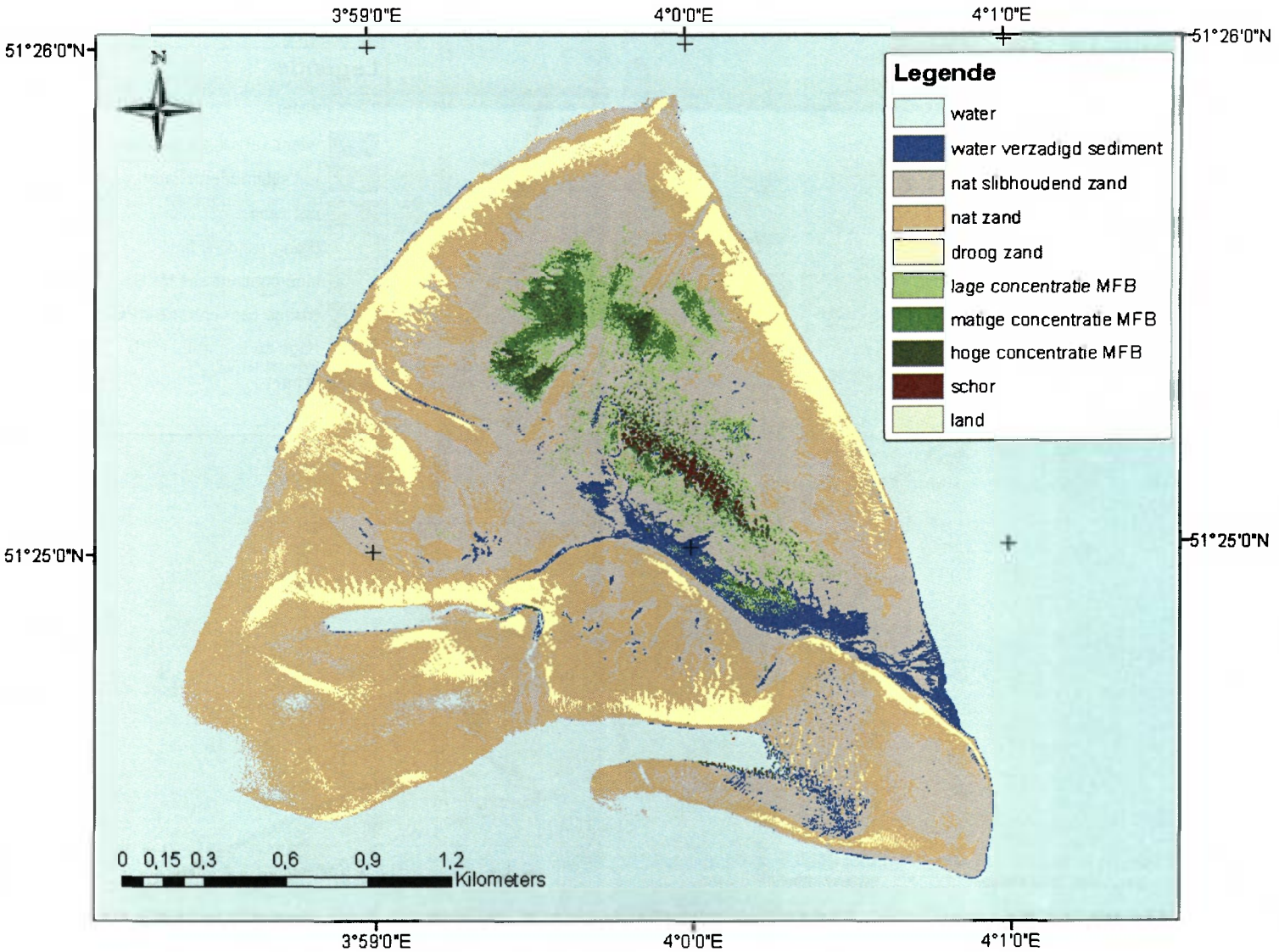

4°13'0"E
4°13'30"E
4°14'0"E
4°14'30"E
51°21'30"N
51°21'0"N
51°20'30"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
0 0,1 0,2 0,4 0,6 0,8
Kilometers

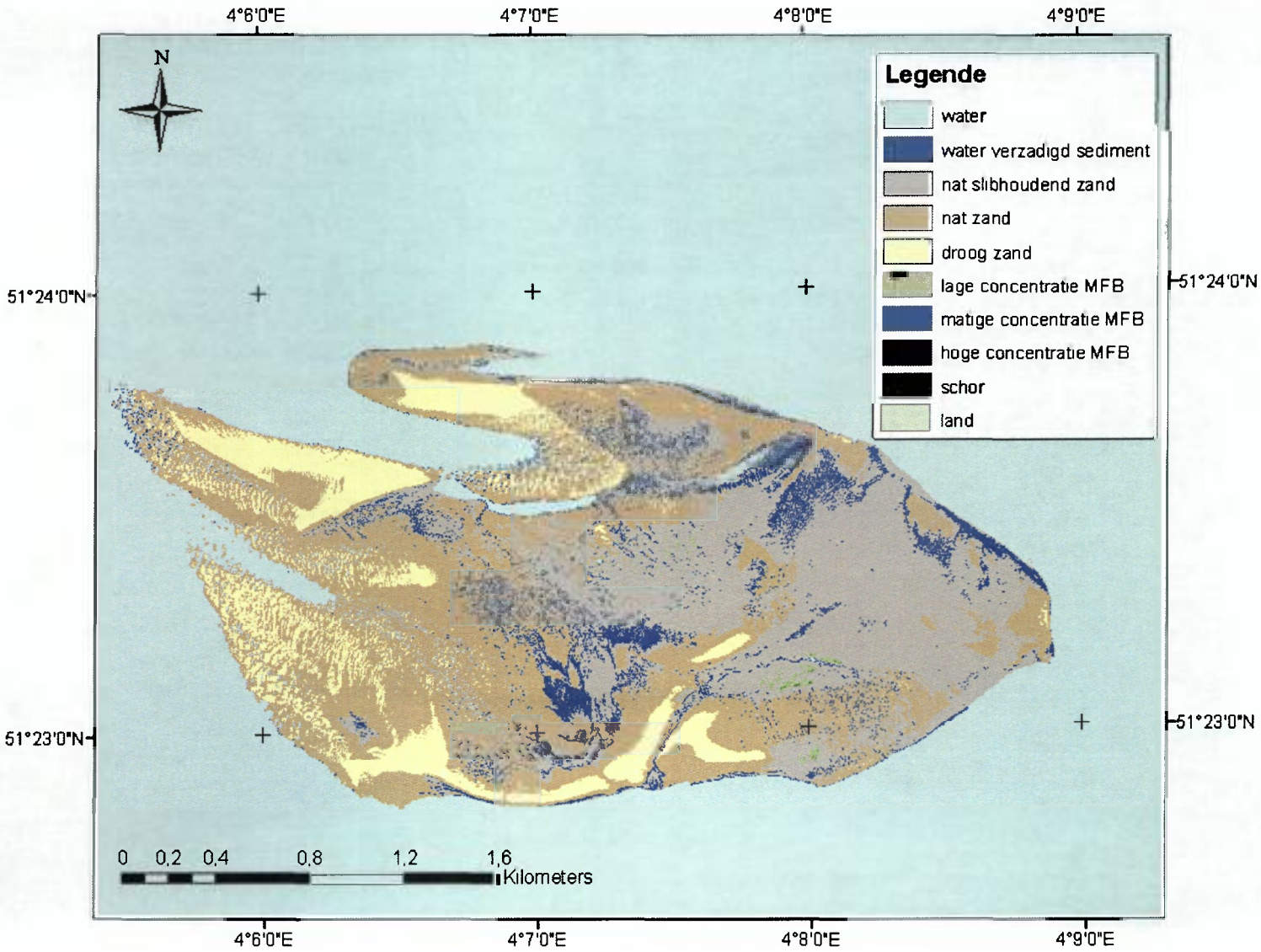

4°9'0"E
4°10'30"E
4°12'0"E
N
51°24'0"N
51°22'30"N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
0 0,25 0,5 1 1,5 2
Kilometers

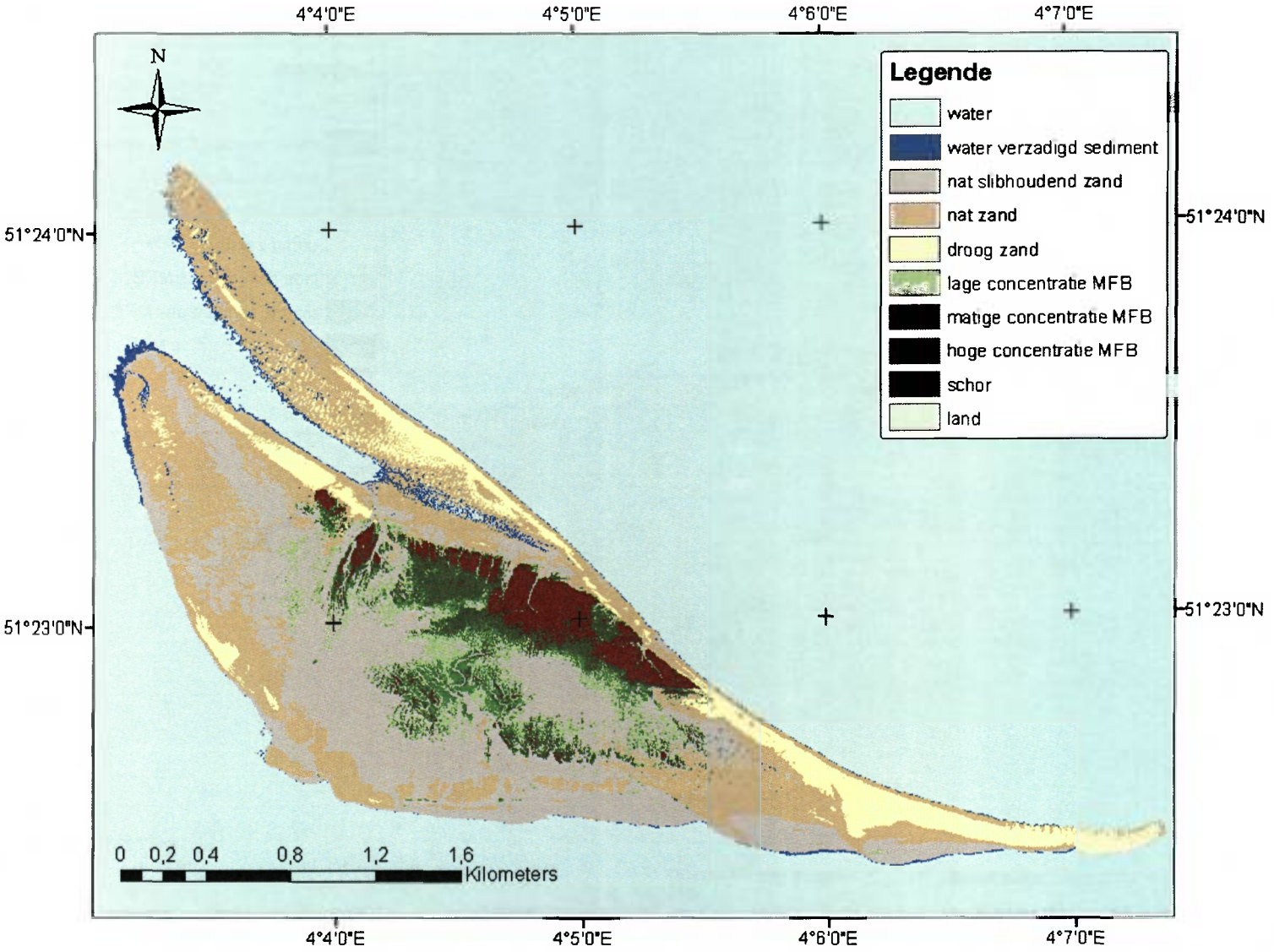

4°3'0"E
4°4'30"E
4°6'0"E
4°7'30"E
51°25'30"N
51°24'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
0 0,3 0,6 1,2 1,8 2,4
Kilometers

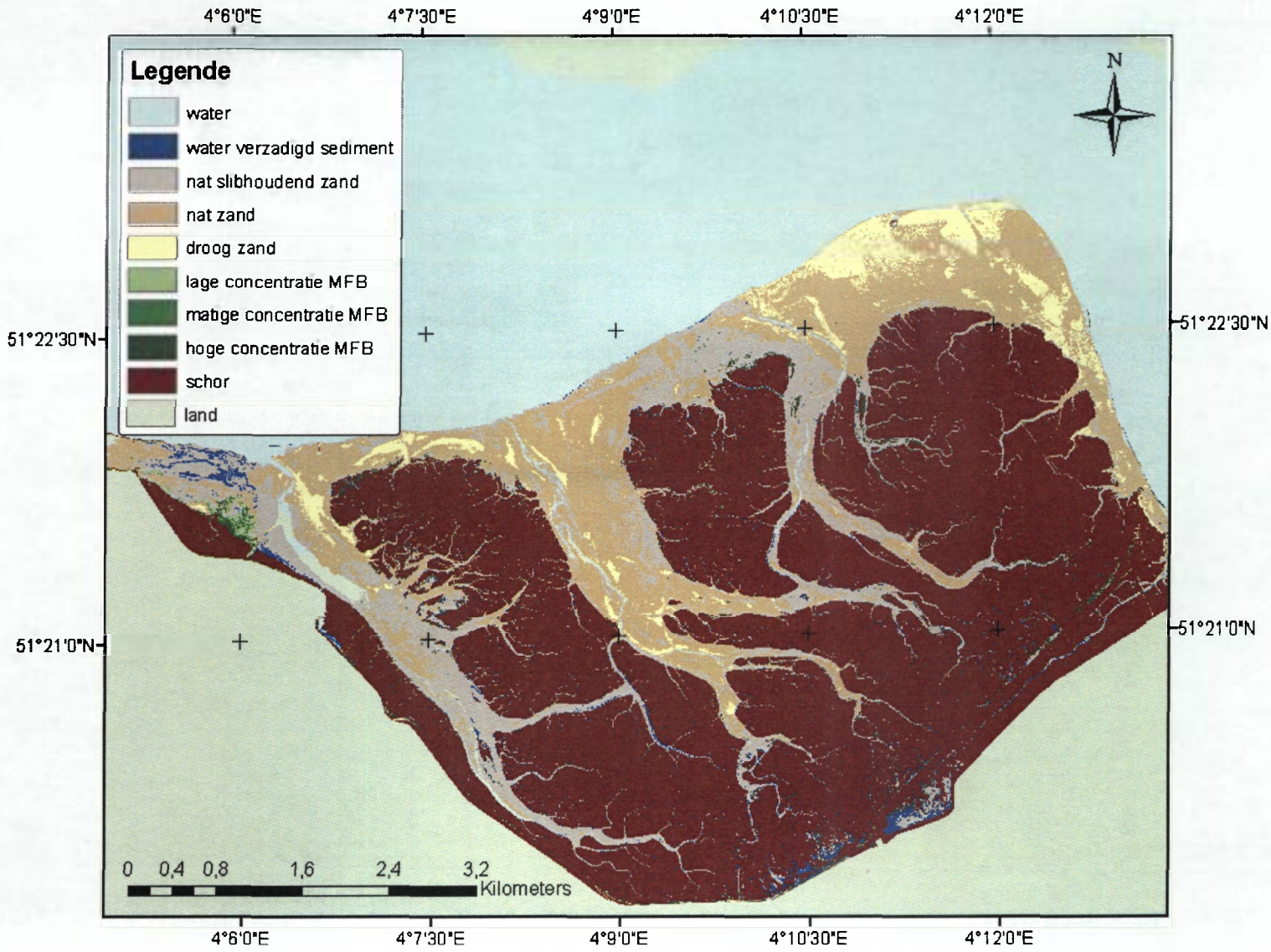

4°2'0"E
4°3'0"E
4°4'0"E
51°26'0"N
51°25'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
0 0,15 0,3 0,6 0,9 1,2
Kilometers


4°0'0"E
4°0'30"E
4°1'0"E
4°1'30"E
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
51°27'0"N
51°26'30"N
0 0,1 0,2 0,4 0,6 0,8
Kilometers

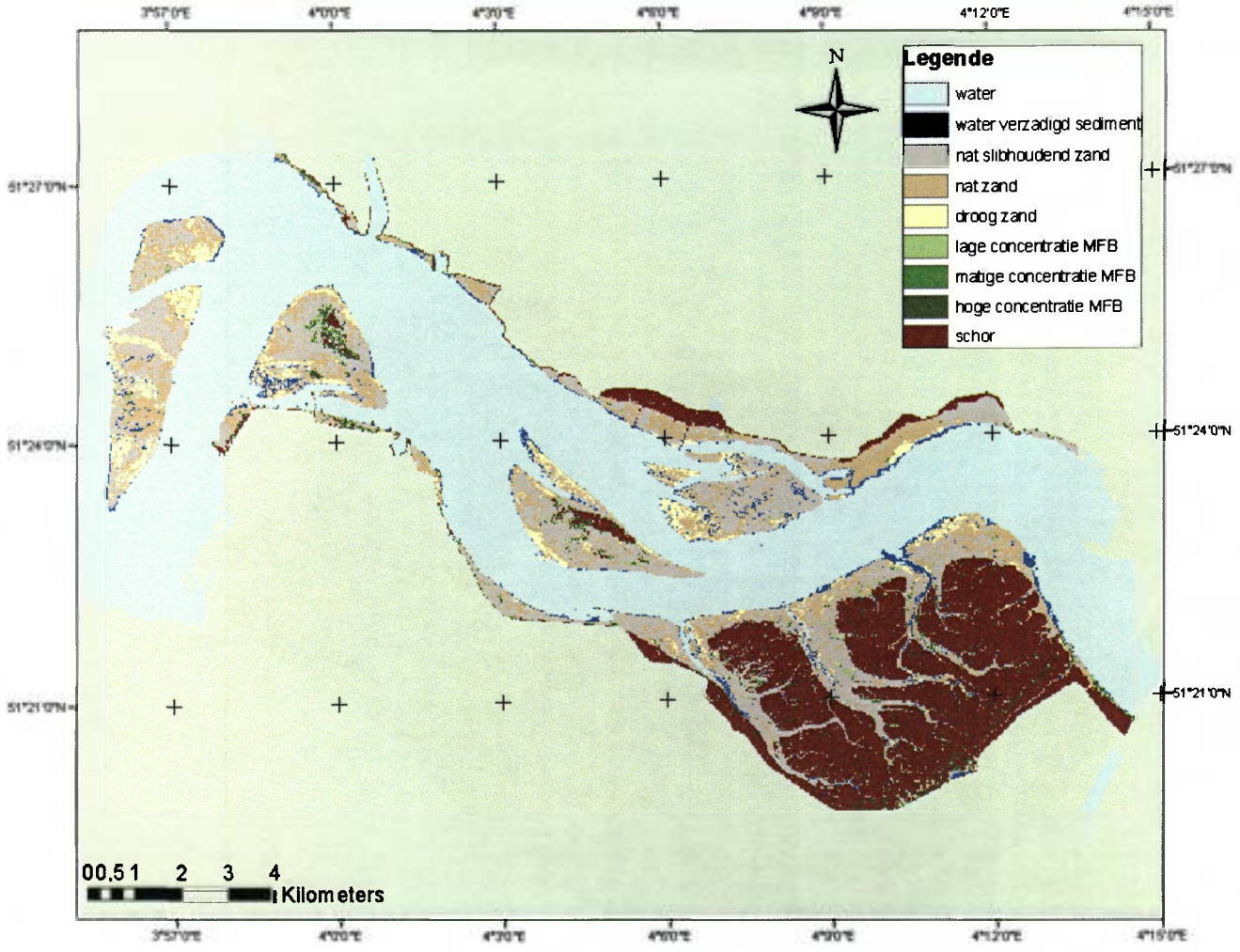

3°59'0"E
4°0'0"E
4°1'0"E
51°26'0"N
51°25'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
0 0,15 0,3 0,6 0,9 1,2
Kilometers

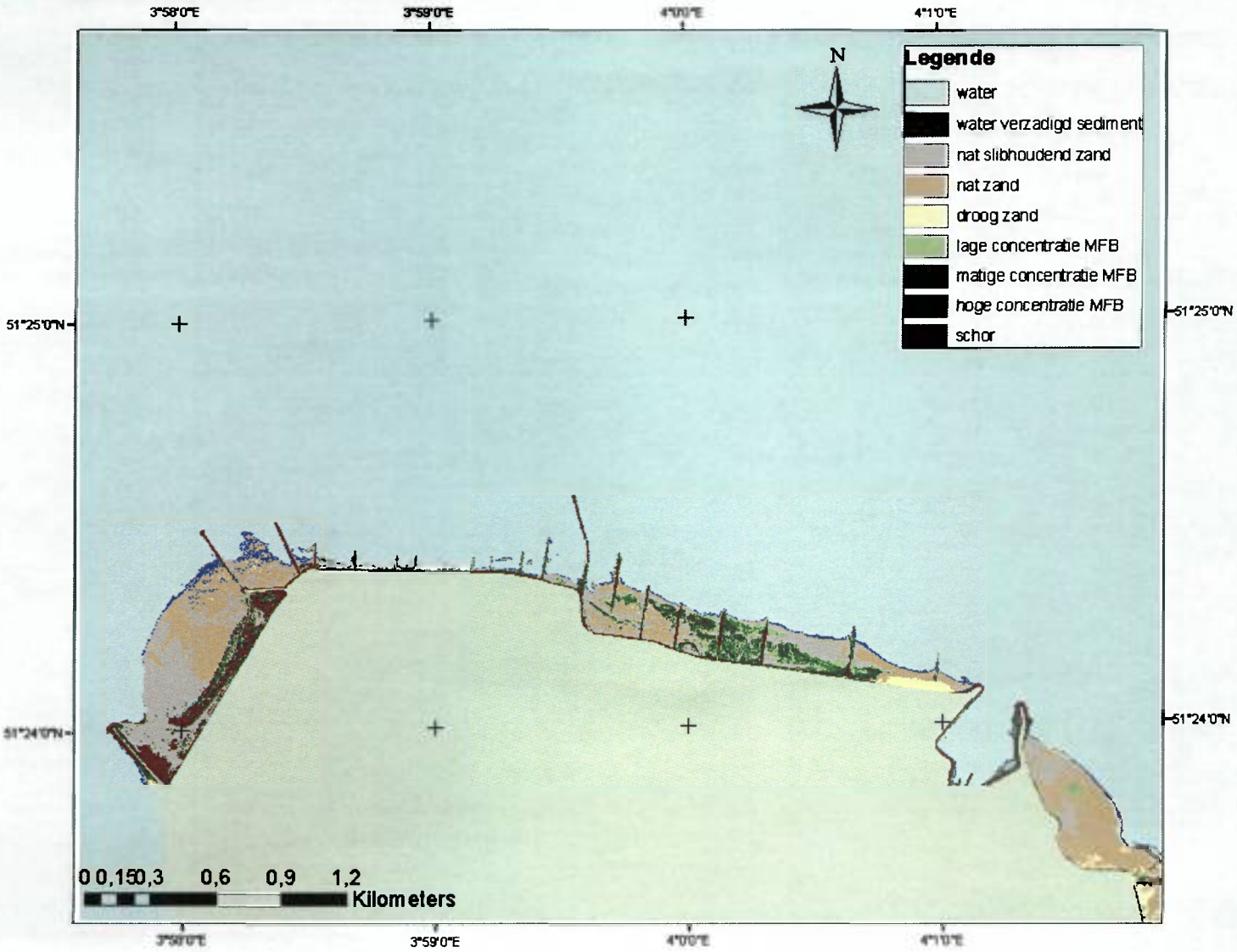

4°6'0"E
4°7'0"E
4°8'0"E
4°9'0"E
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
51°24'0"N
51°23'0"N
0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6
Kilometers

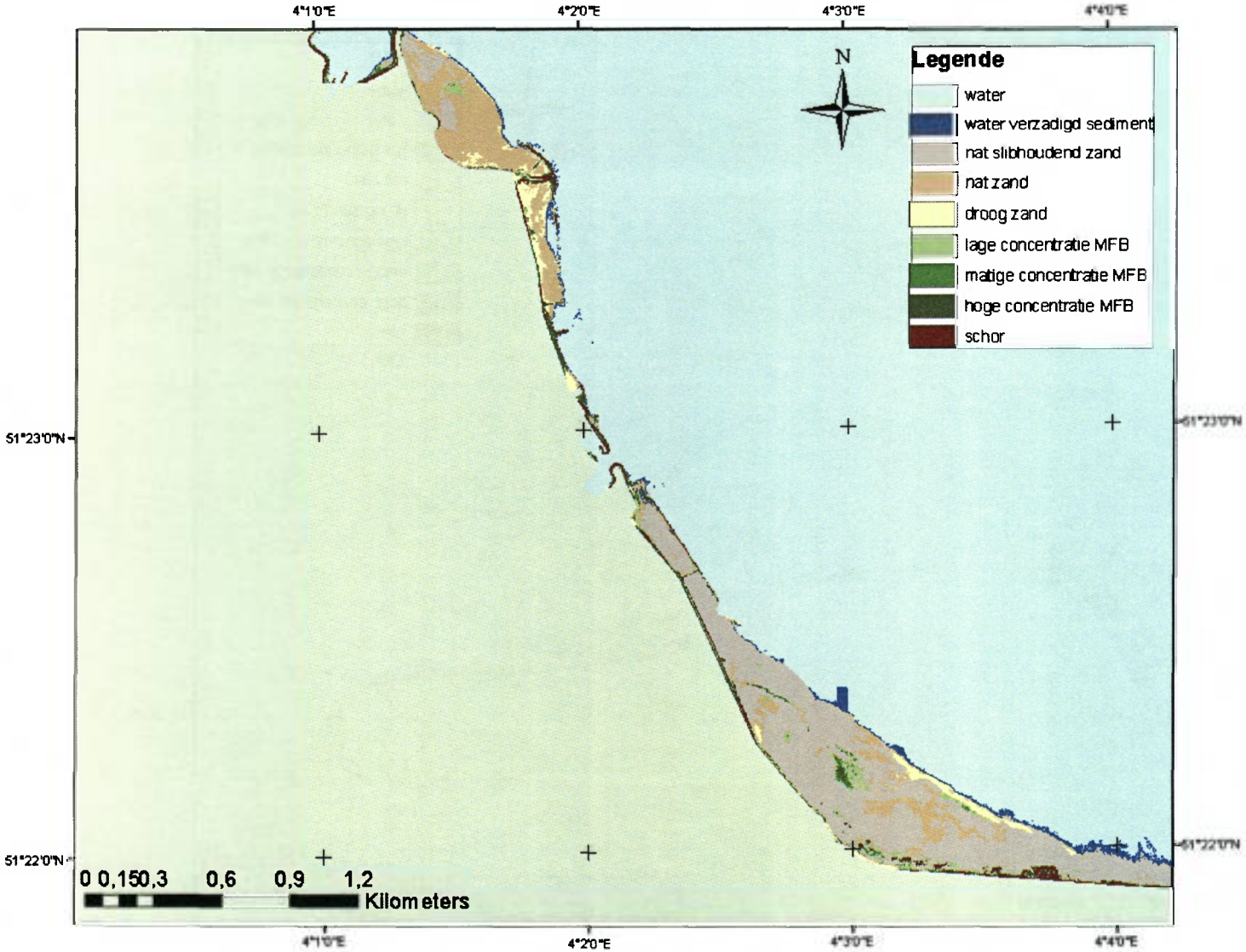

4°4'0"E
4°5'0"E
4°6'0"E
4°7'0"E
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
51°24'0"N
51°23'0"N
0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6
Kilometers

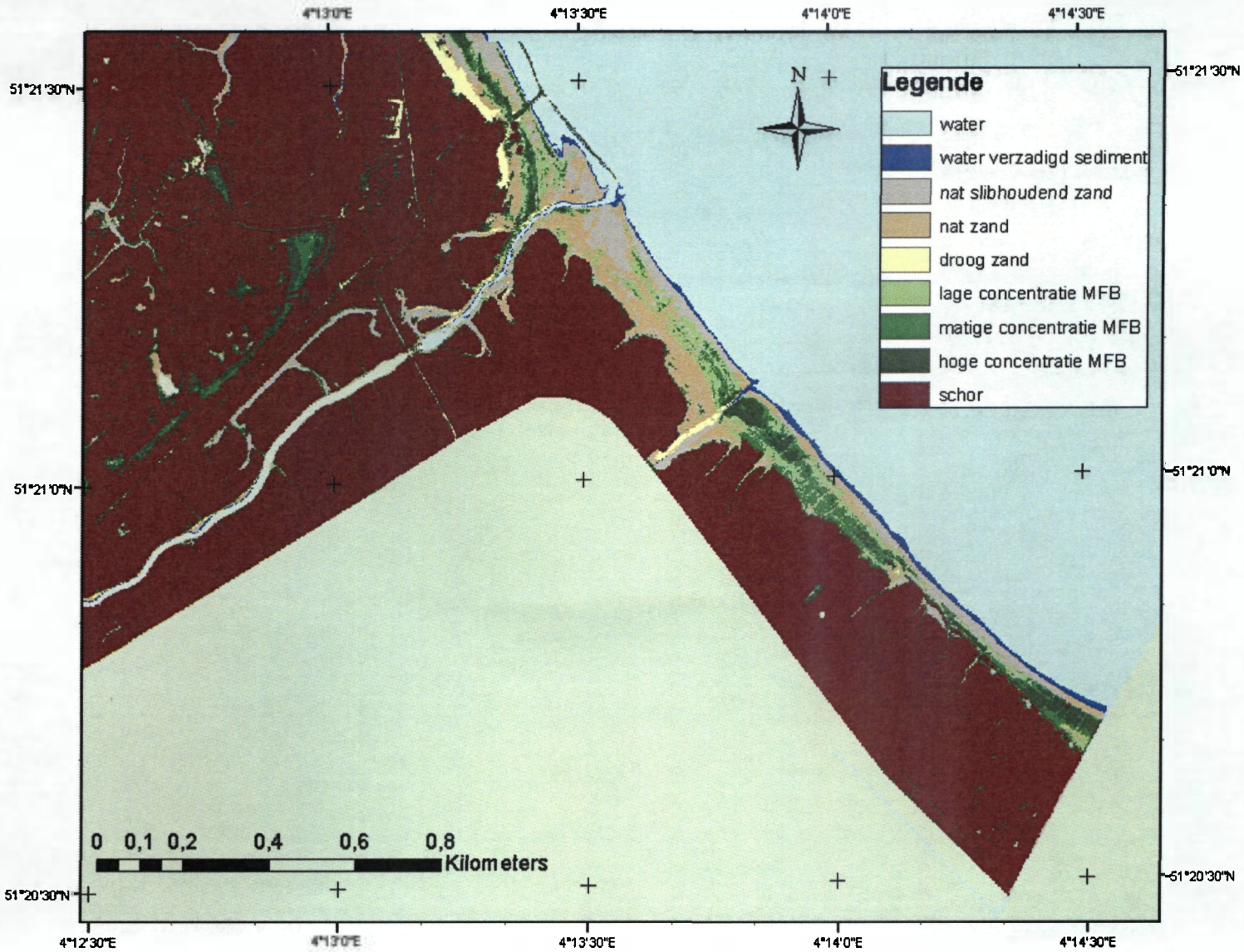

4°6'0"E
4°7'30"E
4°9'0"E
4°10'30"E
4°12'0"E
51°22'30"N
51°21'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
land
0 0,4 0,8 1,6 2,4 3,2
Kilometers

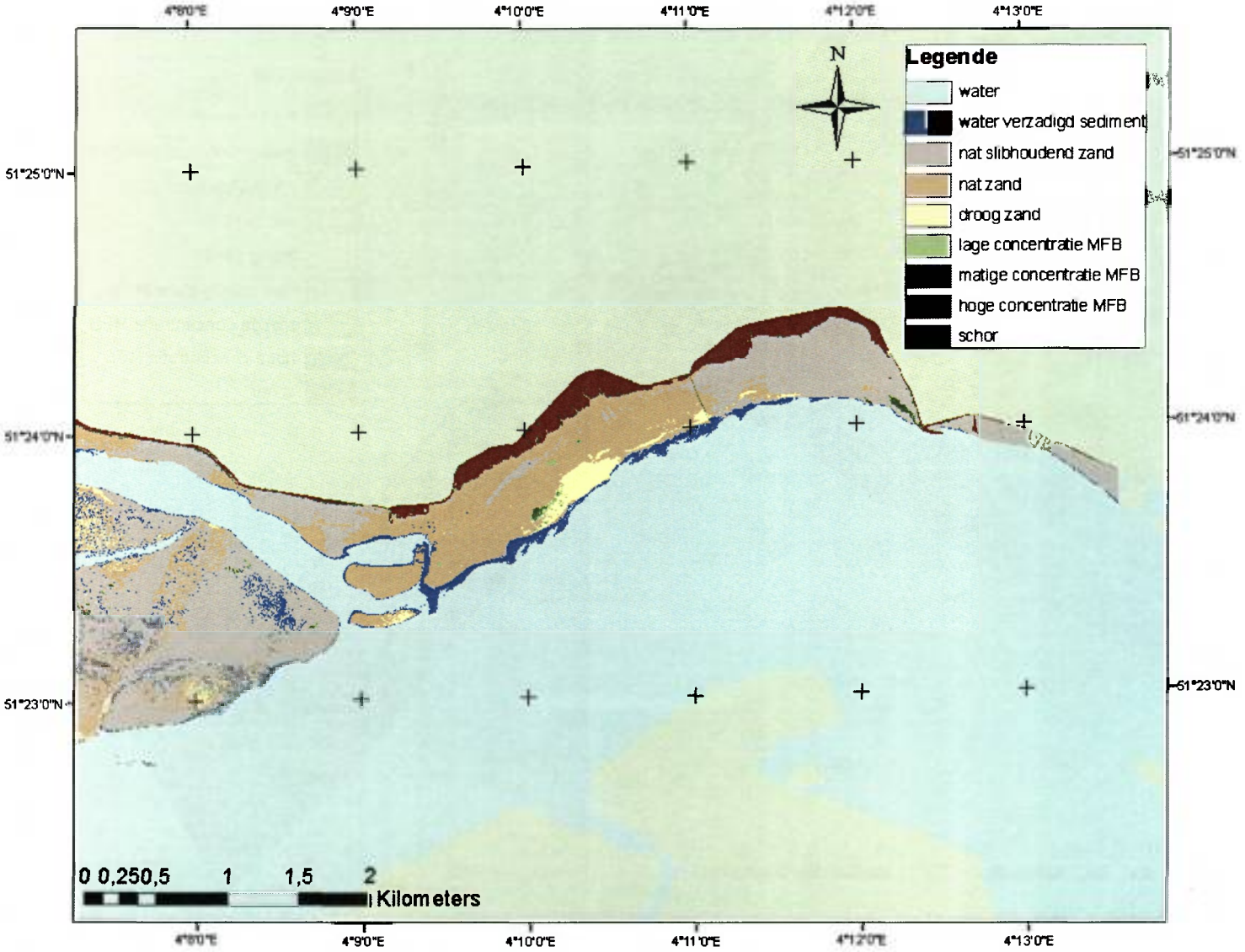
Appendix IV: Sediment-ecotoop classificatie 2008 (VITO-TAP)

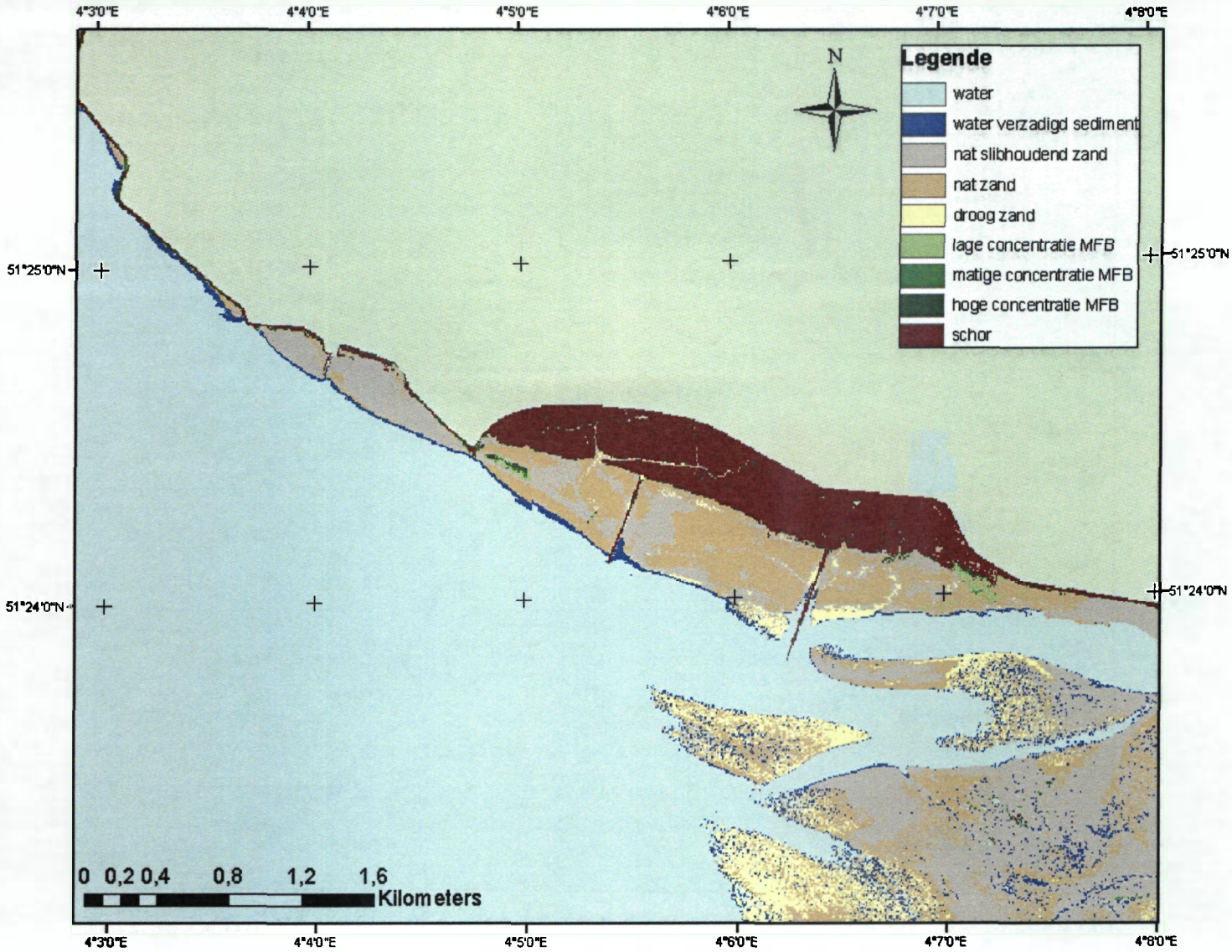


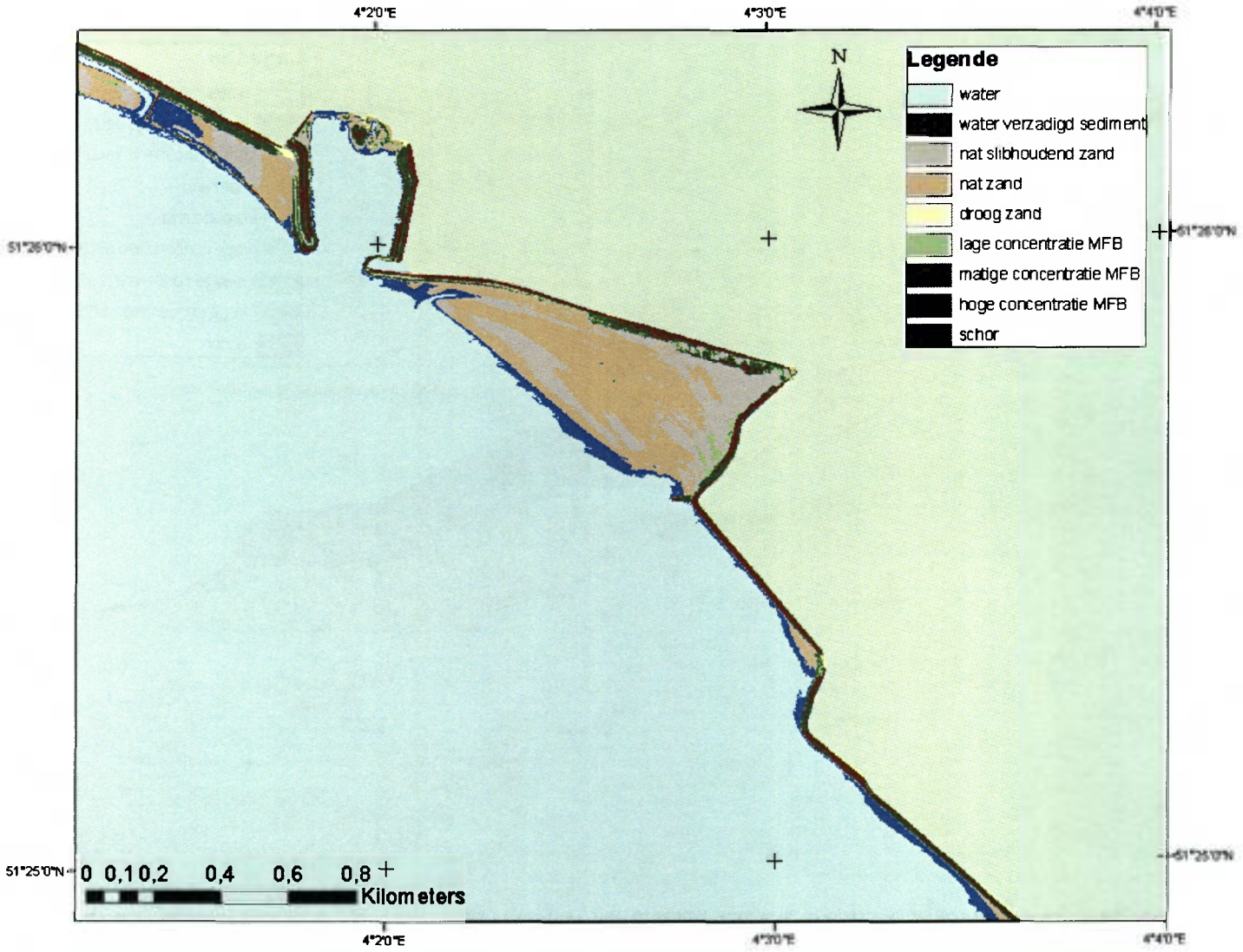

3°58'0"E
3°59'0"E
4°0'0"E
4°1'0"E
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
51°25'0"N
51°24'0"N
0 0,15 0,3 0,6 0,9 1,2
Kilometers

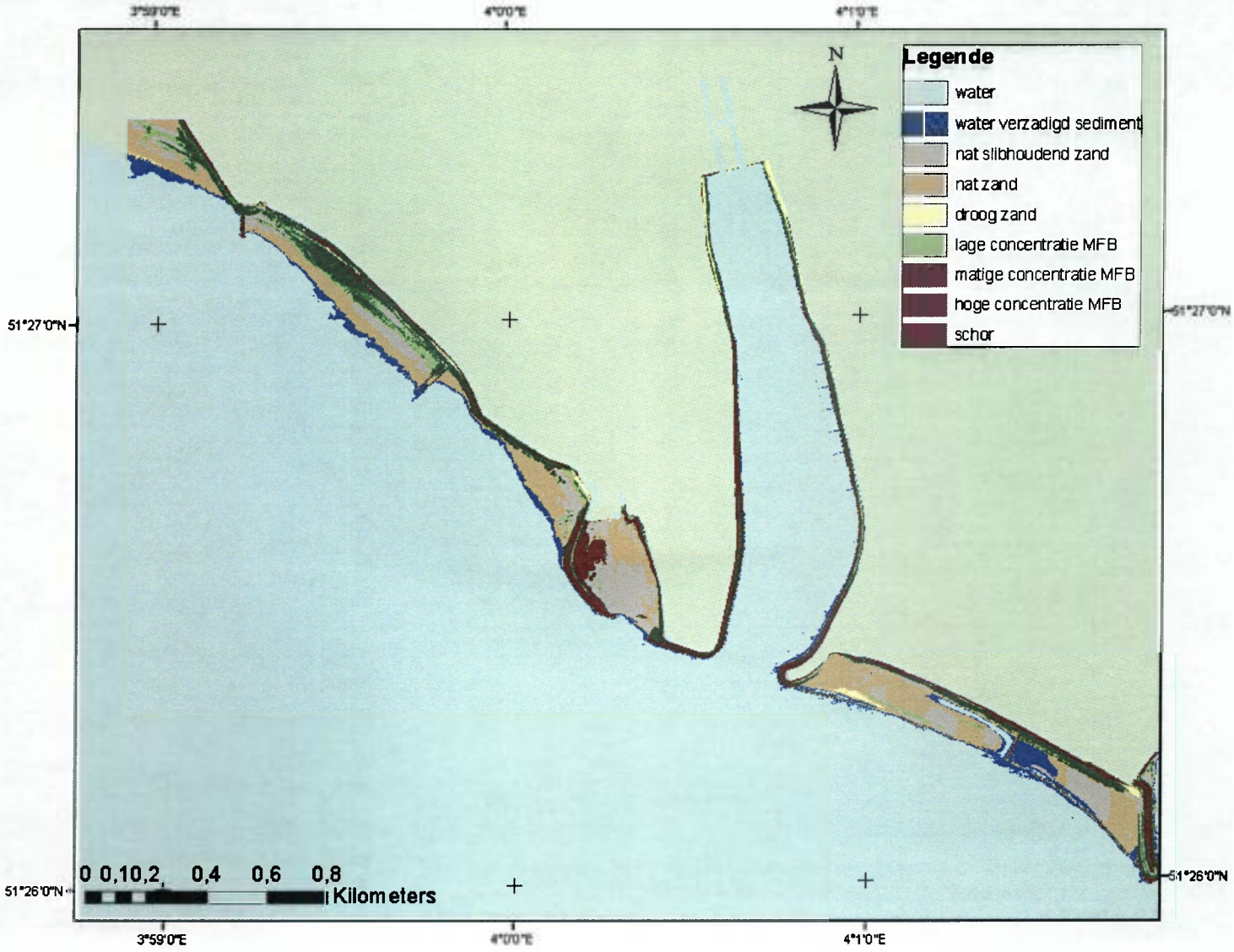

4°1'0"E
4°2'0"E
4°3'0"E
4°4'0"E
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
51°23'0"N
51°22'0"N
0 0,150,3 0,6 0,9 1,2
Kilometers

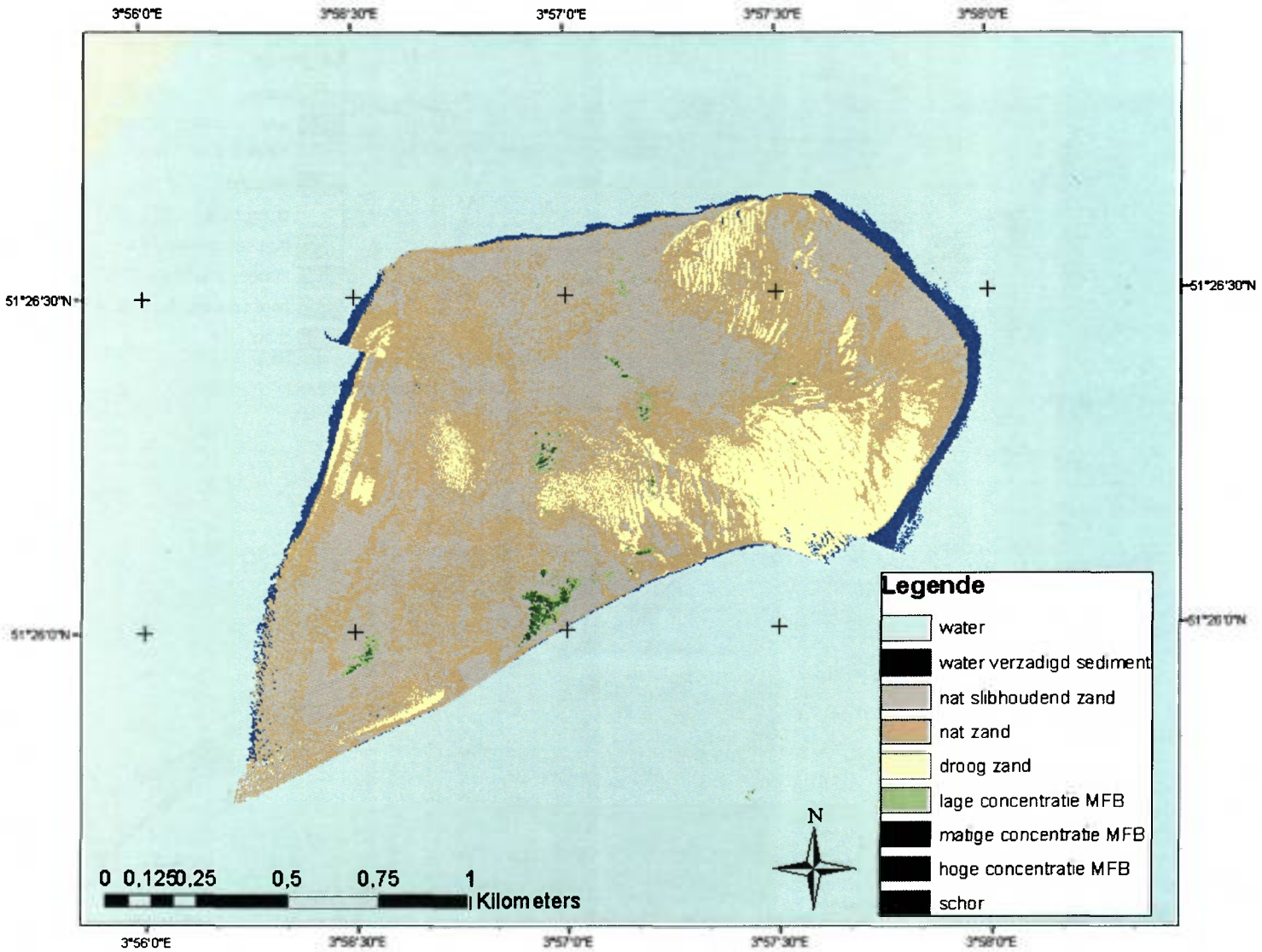

4°13'0"E
4°13'30"E
4°14'0"E
4°14'30"E
51°21'30"N
51°21'0"N
51°20'30"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
0 0,1 0,2 0,4 0,6 0,8
Kilometers
4°12'30"E

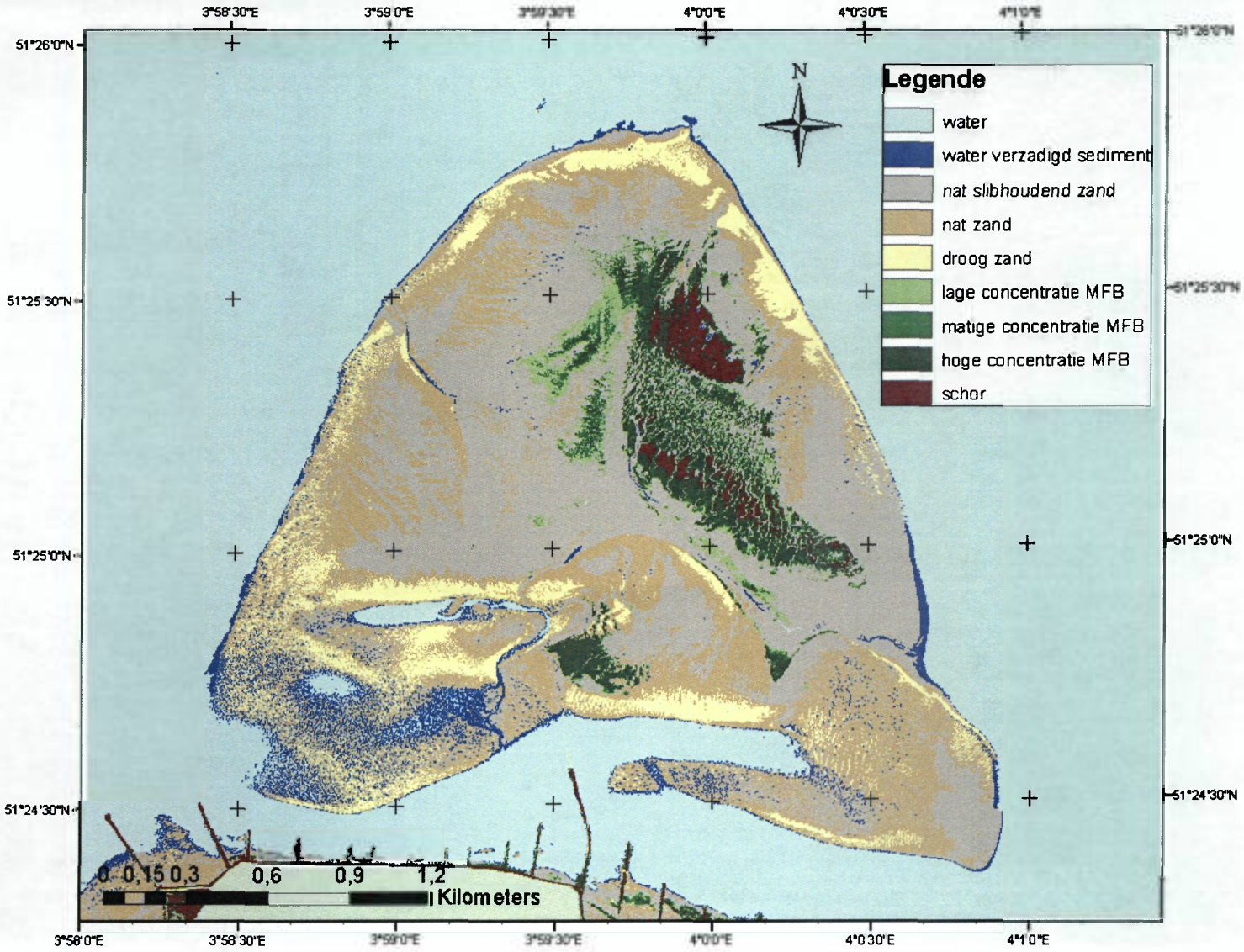

4°8'0"E
4°9'0"E
4°10'0"E
4°11'0"E
4°12'0"E
4°13'0"E
51°25'0"N
51°24'0"N
51°23'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
0 0,250,5 1 1,5 2
Kilometers

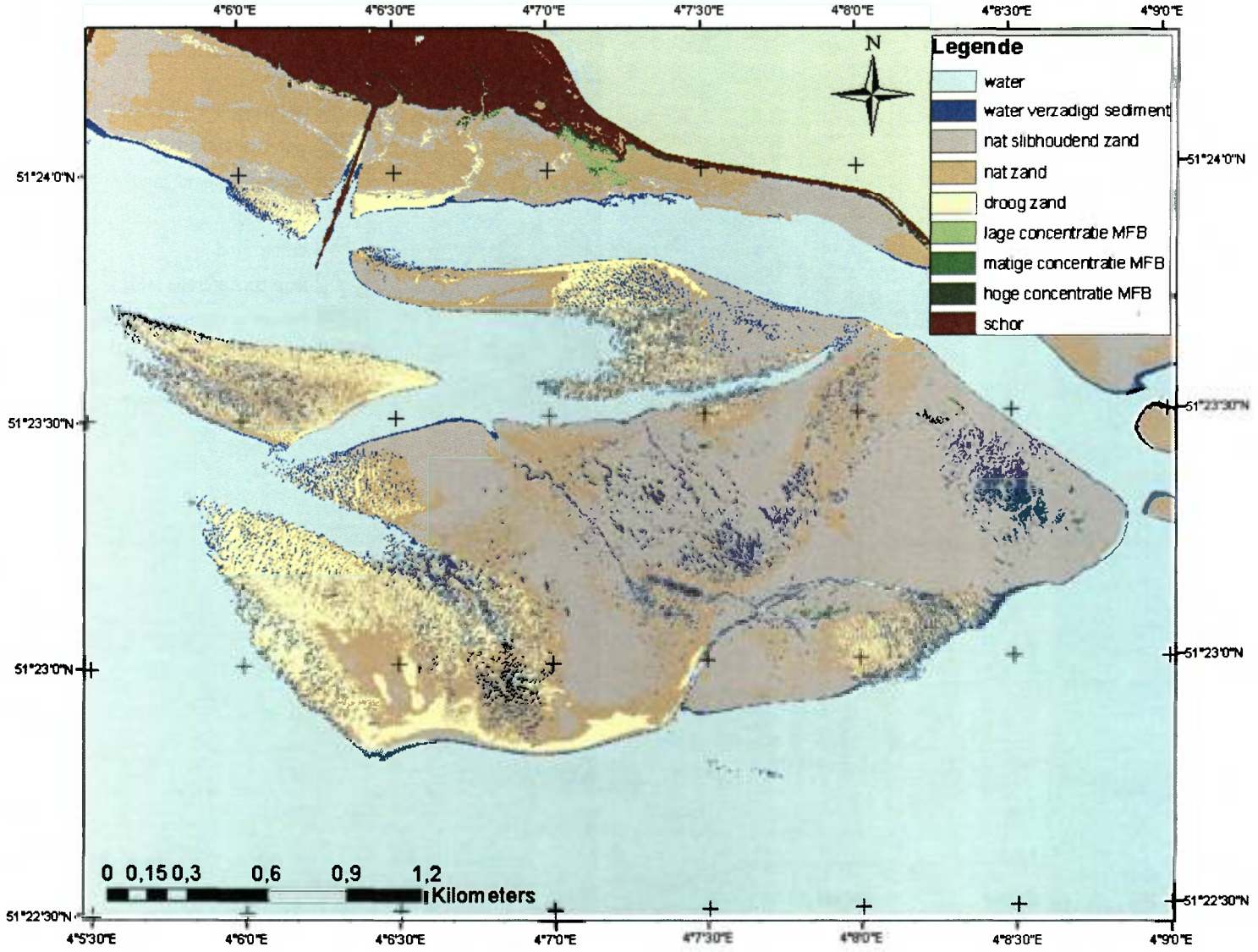

4°3'0"E
4°4'0"E
4°5'0"E
4°6'0"E
4°7'0"E
4°8'0"E
51°25'0"N
51°24'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6
Kilometers

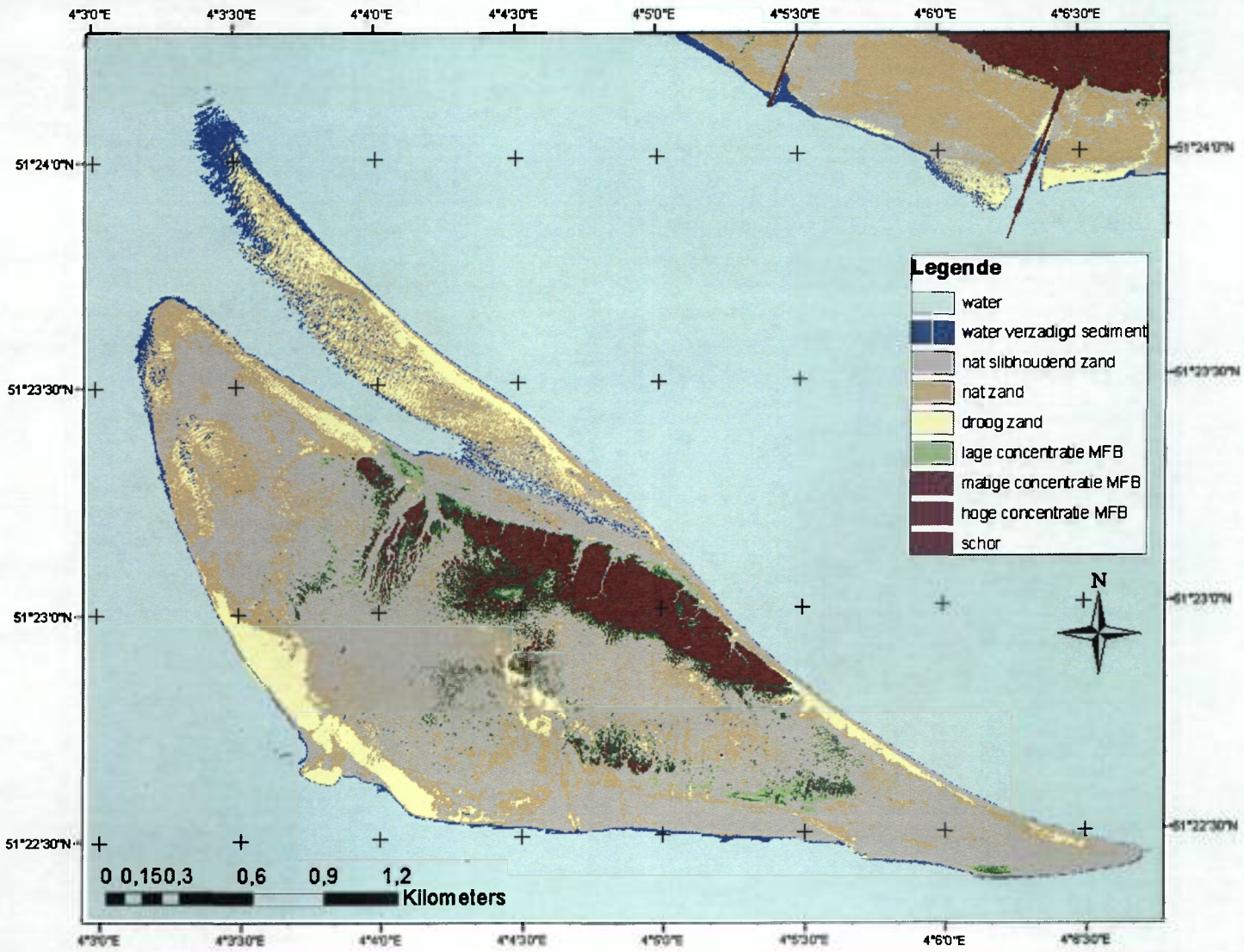

4°2'0"E
4°3'0"E
4°4'0"E
51°26'0"N
51°25'0"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
0 0,1 0,2 0,4 0,6 0,8
Kilometers

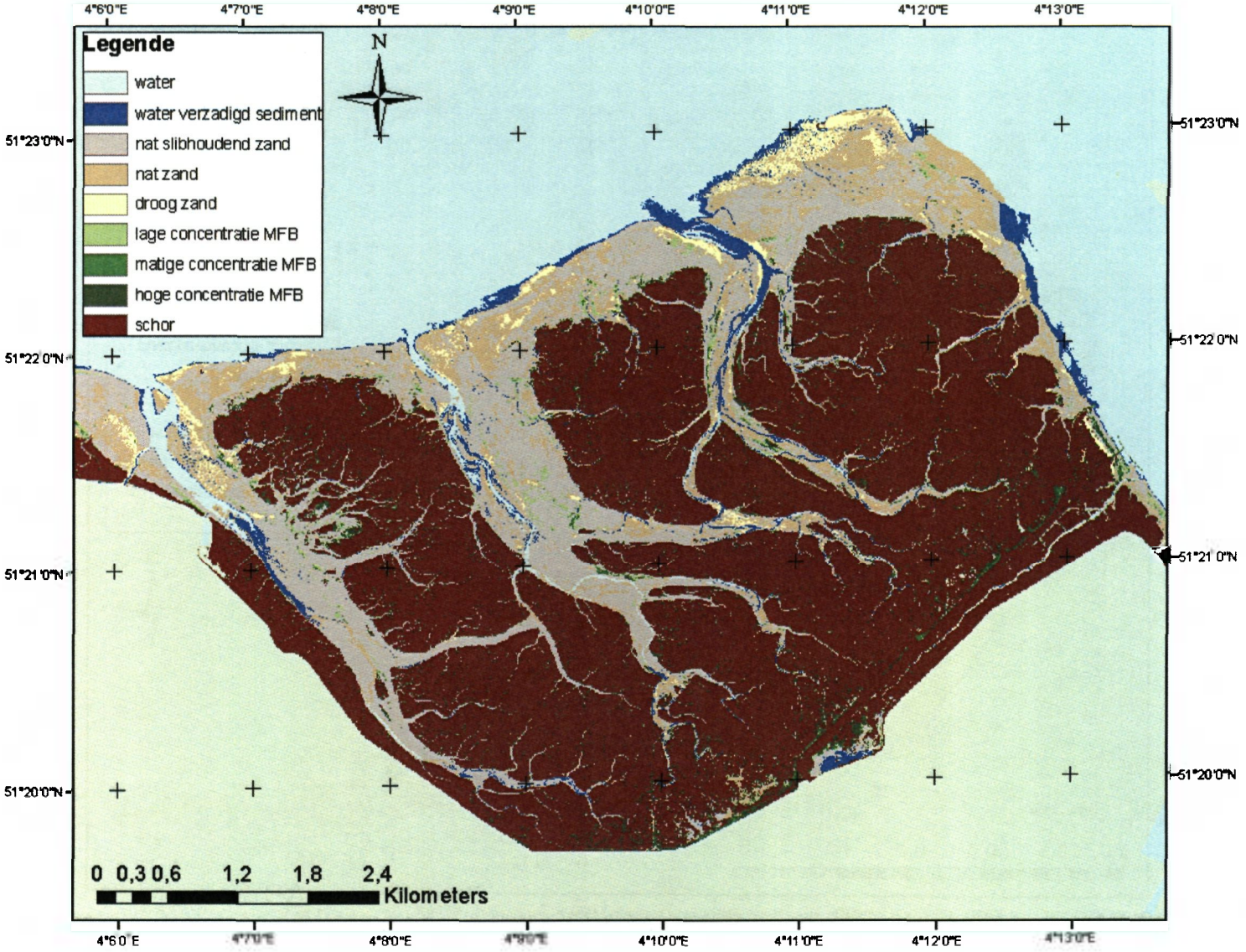

3°59'0"E
4°0'0"E
4°1'0"E
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
51°27'0"N
51°26'0"N
0 0,10,2 0,4 0,6 0,8
Kilometers

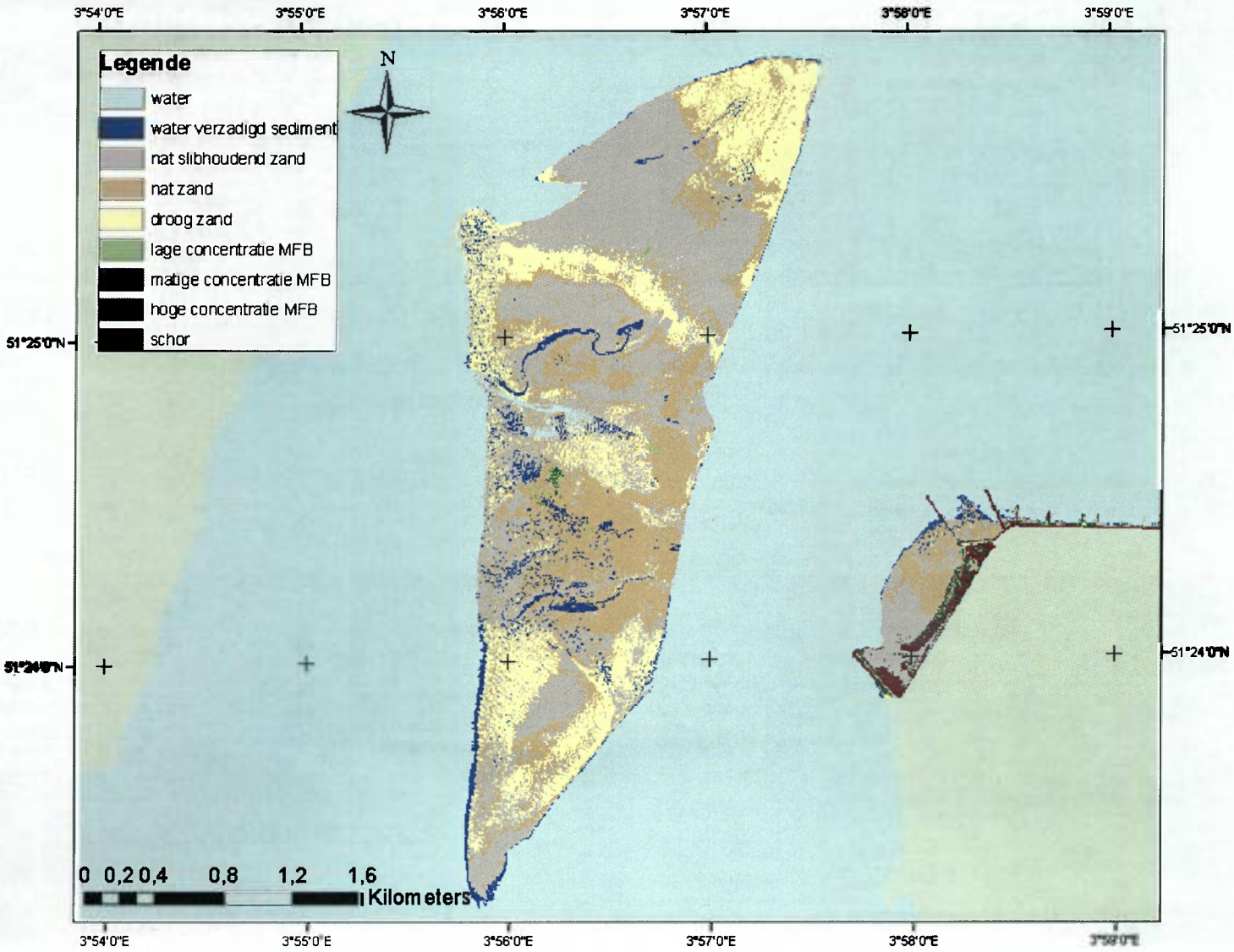

3°56'0"E
3°56'30"E
3°57'0"E
3°57'30"E
3°58'0"E
51°26'30"N
51°26'0"N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
N
0 0,125 0,25 0,5 0,75 1
Kilometers


3°58'30"E
3°59'0"E
3°59'30"E
4°0'0"E
4°0'30"E
4°1'0"E
51°26'0"N
51°25'30"N
51°25'0"N
51°24'30"N
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
0 0,15 0,3 0,6 0,9 1,2
Kilometers

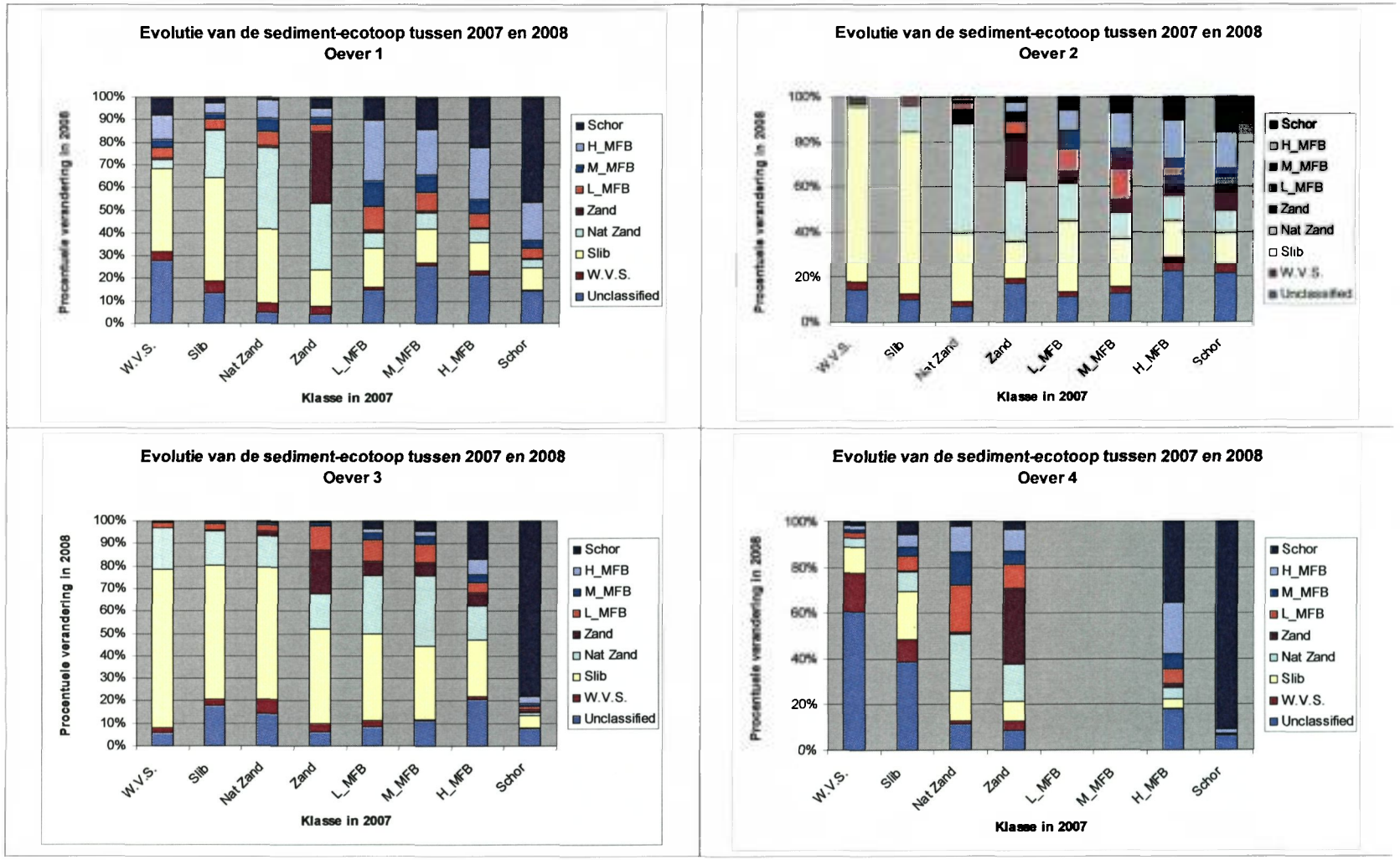

4°6'0"E
4°6'30"E
4°7'0"E
4°7'30"E
4°8'0"E
4°8'30"E
4°9'0"E
N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
51°24'0"N
51°23'30"N
51°23'0"N
51°22'30"N
0 0,15 0,3 0,6 0,9 1,2
Kilometers
4°5'30"E

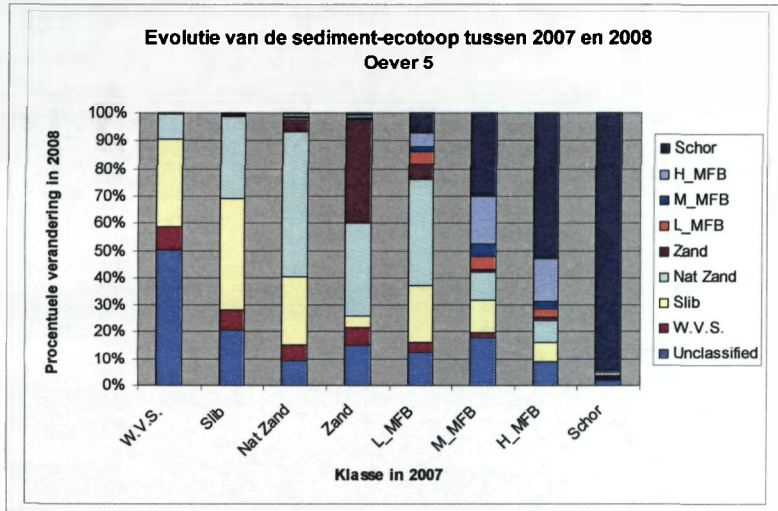

4°3'0"E
4°3'30"E
4°4'0"E
4°4'30"E
4°5'0"E
4°5'30"E
4°6'0"E
4°6'30"E
51°24'0"N
51°23'30"N
51°23'0"N
51°22'30"N
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
N
0 0,150,3 0,6 0,9 1,2
Kilometers

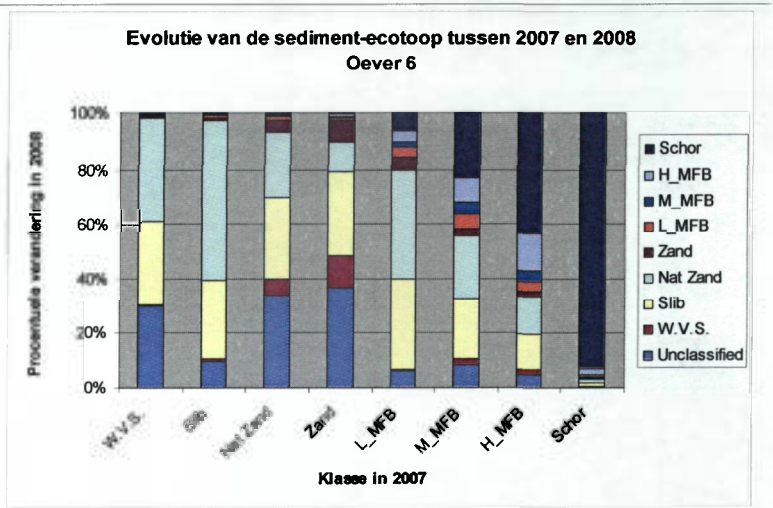

Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
N
4°6'0"E
4°7'0"E
4°8'0"E
4°9'0"E
4°10'0"E
4°11'0"E
4°12'0"E
4°13'0"E
51°23'0"N
51°22'0"N
51°21'0"N
51°20'0"N
0 0,3 0,6 1,2 1,8 2,4
Kilometers

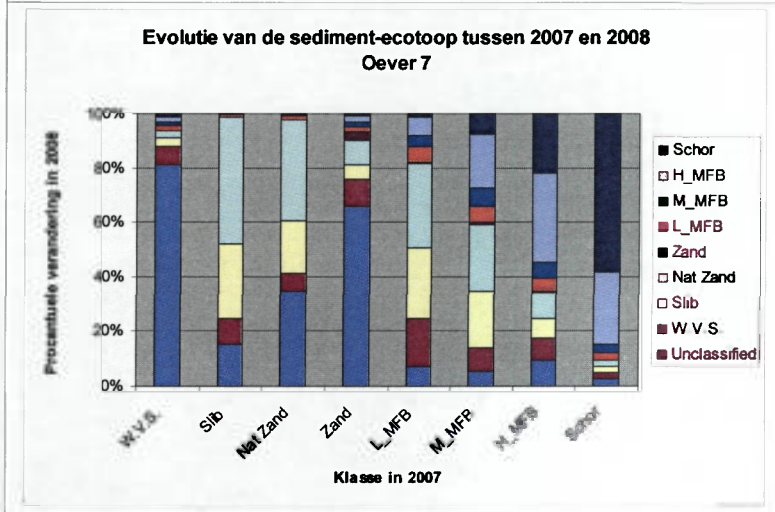

3°54'0"E
3°55'0"E
3°56'0"E
3°57'0"E
3°58'0"E
3°59'0"E
Legende
water
water verzadigd sediment
nat slibhoudend zand
nat zand
droog zand
lage concentratie MFB
matige concentratie MFB
hoge concentratie MFB
schor
N
51°25'0"N
51°24'0"N
0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6
Kilometers

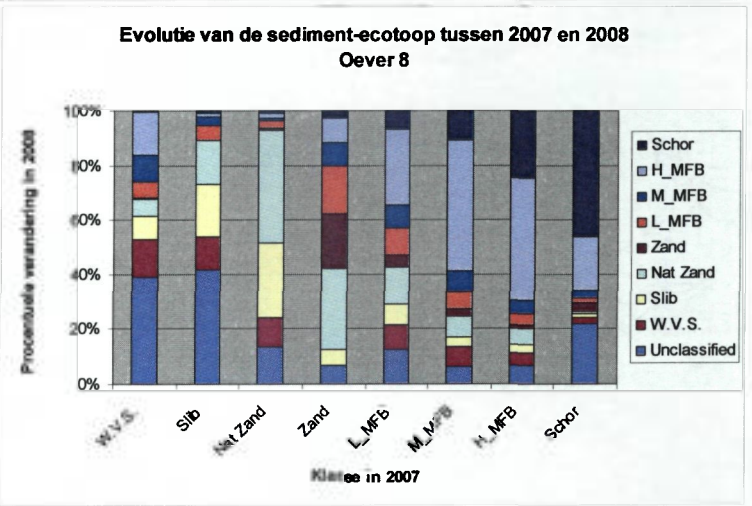
Appendix V: Staafdiagrammen verandering 2007 en 2008 per klasse (VITO-TAP)

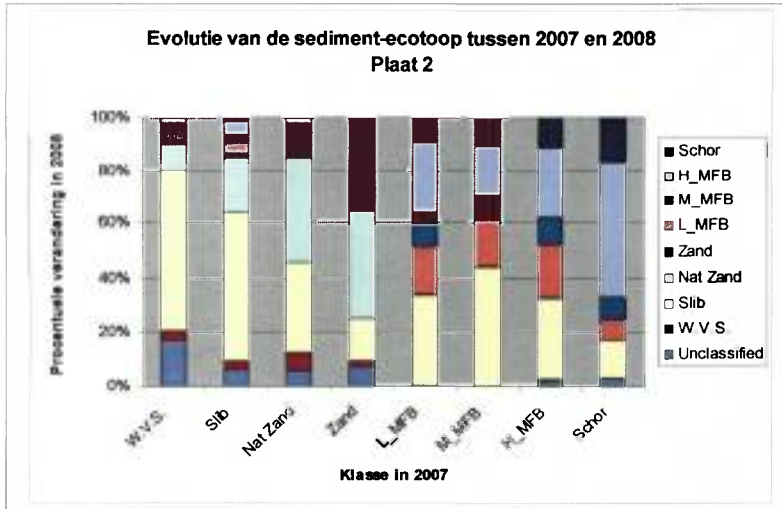


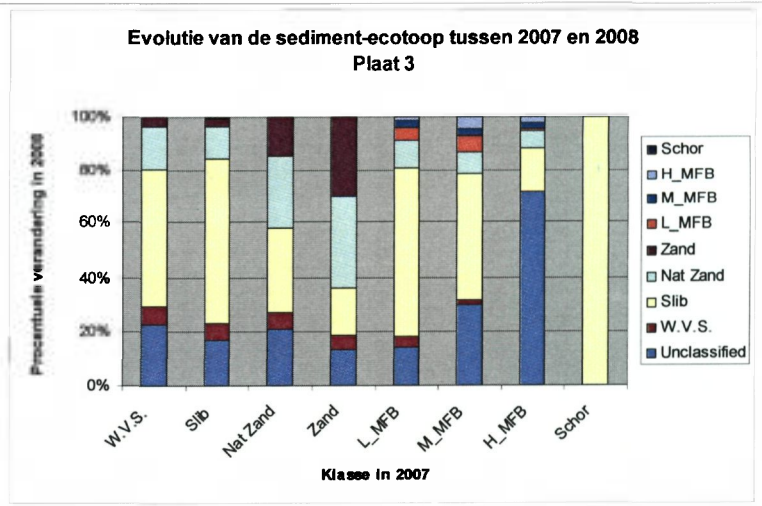

Evolutie van de sediment-ecotoop tussen 2007 en 2008
Oever 5
Procentuele verandering in 2008
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
W.V.S.
Slib
Nat Zand
Zand
L_MFB
M_MFB
H_MFB
Schor
Klasse in 2007
Schor
H_MFB
M_MFB
L_MFB
Zand
Nat Zand
Slib
W.V.S.
Unclassified

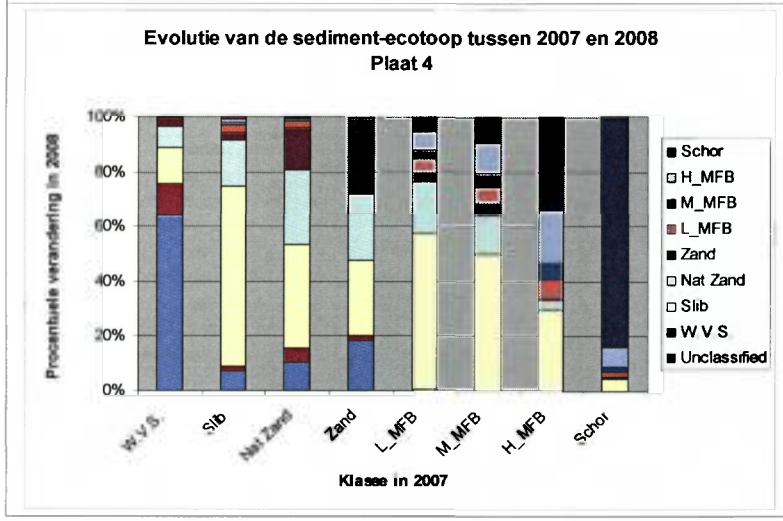

Evolutie van de sediment-ecotoop tussen 2007 en 2008
Oever 6
Procentuele verandering in 2008
100%
80%
60%
40%
20%
0%
W.V.S.
Slib
Nat Zand
Zand
L_MFB
M_MFB
H_MFB
Schor
Klasse in 2007
Schor
H_MFB
M_MFB
L_MFB
Zand
Nat Zand
Slib
W.V.S.
Unclassified

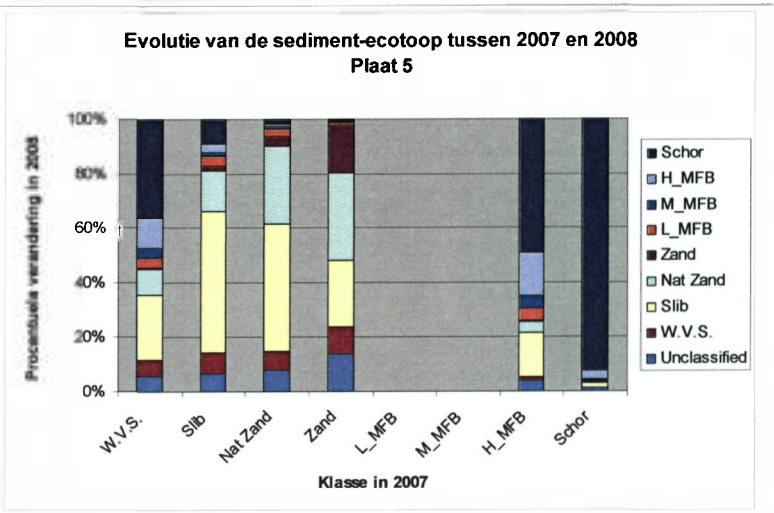

Evolutie van de sediment-ecotoop tussen 2007 en 2008
Oever 7
Procentuele verandering in 2008
100%
80%
60%
40%
20%
0%
W.V.S.
Slib
Nat Zand
Zand
L_MFB
M_MFB
H_MFB
Schor
Klasse in 2007
Schor
H_MFB
M_MFB
L_MFB
Zand
Nat Zand
Slib
W.V.S.
Unclassified


Evolutie van de sediment-ecotoop tussen 2007 en 2008
Oever 8
Procentuele verandering in 2008
100%
80%
60%
40%
20%
0%
W.V.S.
Slib
Nat Zand
Zand
L_MFB
M_MFB
H_MFB
Schor
Klasse in 2007
Schor
H_MFB
M_MFB
L_MFB
Zand
Nat Zand
Slib
W.V.S.
Unclassified


Evolutie van de sediment-ecotoop tussen 2007 en 2008
Plaat 2
Procentuele verandering in 2008
100%
80%
60%
40%
20%
0%
W.V.S.
Slib
Nat Zand
Zand
L_MFB
M_MFB
H_MFB
Schor
Klasse in 2007
Schor
H_MFB
M_MFB
L_MFB
Zand
Nat Zand
Slib
W.V.S.
Unclassified


Evolutie van de sediment-ecotoop tussen 2007 en 2008
Plaat 3
Procentuele verandering in 2008
100%
80%
60%
40%
20%
0%
W.V.S.
Slib
Nat Zand
Zand
L_MFB
M_MFB
H_MFB
Schor
Klasse in 2007
Schor
H_MFB
M_MFB
L_MFB
Zand
Nat Zand
Slib
W.V.S.
Unclassified


Evolutie van de sediment-ecotoop tussen 2007 en 2008
Plaat 4
Procentuele verandering in 2008
100%
80%
60%
40%
20%
0%
W.V.S.
Slib
Nat Zand
Zand
L_MFB
M_MFB
H_MFB
Schor
Klasse in 2007
Schor
H_MFB
M_MFB
L_MFB
Zand
Nat Zand
Slib
W.V.S.
Unclassified


Evolutie van de sediment-ecotoop tussen 2007 en 2008
Plaat 5
Procentuele verandering in 2008
100%
80%
60%
40%
20%
0%
W.V.S.
Slib
Nat Zand
Zand
L_MFB
M_MFB
H_MFB
Schor
Klasse in 2007
Schor
H_MFB
M_MFB
L_MFB
Zand
Nat Zand
Slib
W.V.S.
Unclassified