


Z4212

Opdrachtgever:

Evaluatie van de uitgevoerde
suppleties bij Egmond op basis van
Argus video waarnemingen

Rapport
mei 2007

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterloopkundig laboratorium/WL
BB	67738
WL	Z 4212
EXPL	WL Delft Hydraulics



C 151315

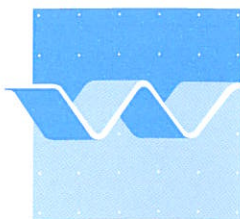
Opdrachtgever:

Evaluatie van de uitgevoerde suppleties bij Egmond op basis van Argus video waarnemingen

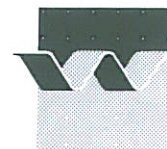
A.B. Cohen & C. Briere

Rapport

mei 2007



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee

TITEL: Evaluatie van de uitgevoerde suppleties bij Egmond op basis van Argus video waarnemingen

SAMENVATTING:

In het programma SLA Kustlijnzorg bij RIKZ wordt gewerkt aan een groot aantal producten dat bijdraagt aan een efficiënter en uniformer beheer van de Nederlandse kust. Momenteel loopt er een traject om marktpartijen en externe deskundigen te laten kijken naar de effectiviteit van de vooroever-suppleties. Om de ontwikkeling in de tijd van de strand- en vooroever-suppleties en de invloed van de natuurlijke omstandigheden hierop beter te kunnen begrijpen is het zaak om een aantal suppleties in detail te analyseren.

Er is een aantal onderzoeksvragen gedefinieerd en om deze te kunnen beantwoorden is er een data analyse uitgevoerd van lodingsdata en Argus video data. Er zijn verschillende indicatoren gekozen om de staat en ontwikkeling op basis van de data te kunnen beschrijven. De lodingsdata (Jarkus) zijn gebruikt om de lange termijn ontwikkeling van het gebied te beschrijven en om te laten zien wat het natuurlijk gedrag van het systeem in het verleden is geweest vóór aanbreng van de suppleties (vanaf 1990). Hiervoor zijn de intergetijdse volumeveranderingen en veranderingen in kustlijnpositie voor de periode 1965-1990 uit JARKUS bepaald om het autonome gedrag te laten zien van deze indicatoren. Voor de periode 1999 – 2006 zijn dezelfde indicatoren, met daarnaast nog de positie van de subgetijdse banken, uit de beschikbare Argus data bepaald. Ook zijn de intergetijdse bodems uit Argus in 2D bekeken om eventuele 2D effecten te kunnen herkennen. Bij de analyse zijn verschillende tijdschalen uit elkaar gehaald: lange termijn (decennia), jaarvariaties, seizoensvariaties, invloed van suppleties, storm gebeurtenissen. Voor het laatste zijn twee stormen in detail bekeken, één net voor en één net na een suppletie. Ook is bij de analyse van de resultaten rekening gehouden met de verschillende typen suppleties die zijn uitgevoerd met elk hun eigen locatie en volume.

REFERENTIES: offerteaanvraag Rkz-1752, brief 2006/05518
 offerte, brief MCM-2039/Z4212.95/AvD en brief MCM22404/Z4212.95/db
 opdracht, brief RIKZ/2007/05081, overeenkomst RKZ-1752, bestelnummer 4500068346

VER	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1	Cohen	12-04-2007		Vd Weck	Schilperoort
2	Cohen	04-05-2007		Walstra	Schilperoort

PROJECTNUMMER:	Z4212
TREFWOORDEN:	Suppleties, coastal monitoring, morfologie
AANTAL BLADZIJDEN:	73
VERTROUWELIJK:	<input type="checkbox"/> JA <input checked="" type="checkbox"/> NEE
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF

Inhoud

1	Achtergrond en opzet van de studie	1—1
1.1	Inleiding	1—1
1.2	Strand- en vooroever suppleties.....	1—1
1.3	Huidige richtlijnen suppletieontwerp	1—6
1.4	Onderzoeksvragen.....	1—7
1.5	Aanpak	1—8
2	Data inventarisatie.....	2—1
2.1	Studiegebied	2—1
2.1.1	Strand bij Egmond.....	2—1
2.1.2	Studiegebied.....	2—3
2.2	Morfologische gegevens.....	2—3
2.2.1	Suppletiegegevens	2—3
2.2.2	Lodingen	2—5
2.2.3	Argus	2—6
2.3	Hydrodynamische gegevens	2—7
3	Methoden	3—1
3.1	Definities	3—1
3.2	Genereren intergetijdebodems	3—2
3.3	Bankendetectie.....	3—2
4	Analyse morfologische en hydrodynamische data	4—1
4.1	Dynamiek intergetijdestrand.....	4—1
4.1.1	Maandelijkse ontwikkeling	4—1

4.1.2	Volumeveranderingen intergetijdestrand	4—5
4.1.3	Kustlijnpositie veranderingen	4—10
4.1.4	Lange termijn morfologische ontwikkeling	4—12
4.2	Bankendynamiek	4—15
4.2.1	Gemiddelde kustdwarse positie.....	4—16
4.2.2	Gedrag middelste bank	4—18
4.2.3	Gedrag binnenste bank.....	4—20
4.3	Relatie banken en intergetijdestrand	4—22
4.4	Koppeling morfodynamica met hydrodynamische informatie	4—23
4.4.1	Storm december 2003 vóór suppleren	4—25
4.4.2	Storm december 2005 na suppleren.....	4—27
4.4.3	Vershil in bankendynamiek	4—29
5	Conclusies	5—1
5.1	Effect van suppleties op het intergetijdestrand	5—1
5.2	Effect van suppleties op de banken dynamiek	5—1
5.3	Koppeling hydrodynamische data, intergetijdestrand en banken.....	5—2
5.4	Beantwoorden van de onderzoeksvragen	5—3
5.5	Vertaling naar richtlijnen	5—5
6	Aanbevelingen.....	6—1
A	Gemiddelde bankenpositie deelgebieden (1000 m) Coast3D station	A—1
B	Gemiddelde bankenpositie deelgebieden (2000 m) Coast3D station	B—1
C	Gemiddelde bankenpositie deelgebieden (1000 m) JvSpeijk station	C—1
D	Gemiddelde bankenpositie deelgebieden (2000 m) JvSpeijk station	D—1
E	Overzichtsfiguur suppleties en analyse raaien.....	E—1

I Achtergrond en opzet van de studie

I.1 Inleiding

Sinds 1990 wordt er in Nederland het beleid gevolgd om de kustlijn, zoals deze er aan het begin van 1990 bij lag, te handhaven. Om dit uitvoerbaar te maken in het beheer van de kust is het principe van de Basis Kustlijn (BKL) bedacht. Deze BKL is bepaald op basis van de momentane kustlijn positie (MKL) over de 10 jaar vóór 1990. Om het beheer voor het komende jaar vast te stellen wordt de trend bepaald door de MKL posities van de afgelopen 10 jaar. Indien deze in het volgende jaar landwaarts van de BKL komt te liggen, dan worden er stappen ondernomen om een ingreep uit te voeren. In de meeste gevallen gaat het hier om een suppletie, op het strand of sinds enige tijd ook op de vooroever, zoals bij Terschelling, Delfland, Katwijk, Noordwijk, Ameland, Egmond en Scheveningen. Ook worden de twee typen suppleties wel eens gecombineerd aangebracht. De strandsuppleties worden direct aangebracht in de BKL zone. De vooroeversuppleties worden deels buiten deze zone aangebracht. Doel is dat na verloop van tijd (termijn van maanden/jaren) de suppletie een gunstig effect heeft op de kustlijn (zeewaartse verschuiving).

In het programma SLA Kustlijnzorg bij RIKZ wordt gewerkt aan een groot aantal producten dat bijdraagt aan een efficiënter en uniformer beheer van de Nederlandse kust. In 2001 heeft Spanhoff op basis van evaluatie van een aantal vooroeversuppleties langs de Nederlandse kust het werkdocument 'Voorlopige richtlijnen monitoring en ontwerp vooroeversuppleties' geschreven. Nu er weer vele nieuwe vooroeversuppleties zijn uitgevoerd en de 'oude' vooroeversuppleties er langer liggen is het mogelijk deze richtlijnen verder aan te scherpen en uit te breiden. Er is een traject ingezet om samen met marktpartijen en externe deskundigen te kijken naar de effectiviteit van de vooroeversuppleties. In het najaar van 2005 zijn een tweetal studies (Steijn, 2005 en Pwa, 2006) verricht naar de effectiviteit van vooroeversuppleties. Vooroeversuppleties blijken gemiddeld te zorgen voor een 20-30% toename van het zandvolume in de BKL zone van het gesuppleerde vak. Om de ontwikkeling in de tijd van de strand- en vooroeversuppleties en de invloed van de natuurlijke omstandigheden hierop beter te kunnen begrijpen is het zaak om een aantal suppleties in detail te analyseren.

Op 9 februari 2007 is opdracht verleend door RIKZ voor de uitvoering van het project 'Evaluatie van de uitgevoerde suppleties bij Egmond op basis van Argus' (brief RIKZ/2007/05081, overeenkomst RKZ-1752, bestelnummer 4500068346). Een deel van het werk is uitgevoerd door de Universiteit Utrecht in de persoon van Leo Pape.

I.2 Strand- en vooroever suppleties

In de afgelopen jaren is er al veel onderzoek gedaan naar het gedrag en de effectiviteit van strand- en vooroever suppleties. Inmiddels is duidelijk dat het van groot belang is het gedrag van het natuurlijke systeem goed te kennen alvorens een uitspraak te doen over de effecten

van ingrepen in dit natuurlijke systeem.

Natuurlijk dynamiek banken en kustlijn

Brekerbanken beschermen het strand tegen golfaanval en hebben een primaire kustdwarse werking. Het typische gedrag van het strand en de brekerbanken op een seizoenstijdschaal is de zeewaarts-landwaartse cyclus met zeewaartse migratie van het bankensysteem tijdens het winter seizoen (hoge golven) en landwaartse migratie in de zomer (lage golven). Deze seizoensvariatie resulteert in zogenaamde zomer- en winterprofielen, maar de mate waarin deze optreden varieert sterk per jaar. Op een tijdschaal van dagen/weken zorgt intensieve breking van de golven tijdens stormen voor een sterke zeewaarts gerichte stroming bij de bodem (undertow) welke sediment zeewaarts transporteert, wat resulteert in zeewaartse migratie van de banken. Het strandprofiel vakt af tijdens deze stormen. Als de morfologie in evenwicht is treedt er bij kalmer weer een langzamer kustwaarts transport op wat de zeewaartse migratie compenseert. Het strandprofiel wordt dan weer steiler met sterkere bank-trog vormen.

Hoefel & Elgar (2003) hebben de processen die banken migratie veroorzaken als volgt geschematiseerd:

- Hoge golven breken tijdens storm op de zandbank, waardoor er een sterke zeewaartse stroming veroorzaakt wordt die een maximale waarde bereikt net landwaarts van de bankentop. De kustdwarse gradiënten in deze stroming resulteren in erosie aan de landwaartse zijde en sedimentatie aan de zeewaartse zijde van de bankentop, en dus zeewaartse migratie van de bank. De locatie van golfbreking en het maximum van de kustdwarse stroming verschuiven daarmee zeewaarts. Er is dus een sterke terugkoppeling tussen golven, stroming en morfologische ontwikkeling die de bank zeewaarts duwen totdat de golfcondities veranderen.
- Lage golven breken niet op de bank, maar ontwikkelen een niet-symmetrische vorm ('skewness'). Het water onder het steile front wordt versneld richting het land, terwijl het water onder de minder steile staart van de golf vertraagt. Kustdwarse gradiënten in de versnelling resulteren in erosie zeewaarts en sedimentatie landwaarts van de bankentop en dus in landwaartse migratie van de bank. De locatie van de maximum versnellingsgradiënt verschuift daarmee landwaarts, wat weer resulteert in een sterke terugkoppeling tussen golven, stroming en morfologische ontwikkeling die de bank zeewaarts duwen totdat de golfcondities veranderen.

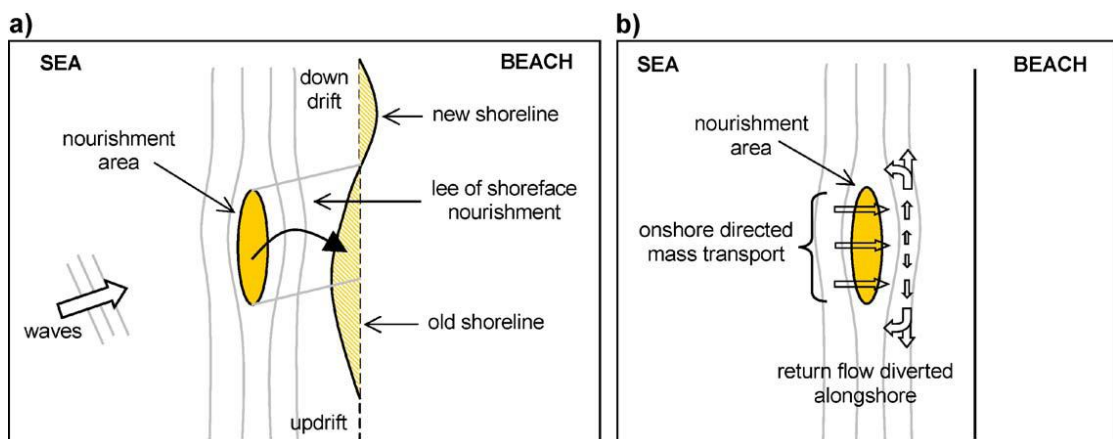
Het intergetijdestrand bevat meer volume tijdens rustige condities. Als er een storm optreedt vakt het intergetijdeprofiel af en wordt er sediment van het intergetijdestrand naar de vooroever getransporteerd, dus onder de laagwaterlijn.

Effect van suppleties

Vooroeversuppleties kunnen gezien worden als een kunstmatige zandbank of een zachte golfbreker. Gebaseerd op het literatuuronderzoek zijn er de volgende effecten te verwachten als gevolg van een vooroeversuppletie:

1. Kustlangs effect (Figuur 1a): hoge golven breken op de vooroever suppletie, waardoor er een milder golfklimaat optreedt achter de suppletie (golf filter). Hierdoor treedt er een vermindering van de kustlangse stroming en dus langstransport capaciteit op. De suppletie werkt als een blokkade resulterend in:
 - a) Een verlaging van het kustlangse sediment transport
 - b) Sedimentatie in het gebied met verlaagde kustlangse stroming
 - c) Erosie in het gebied stroomafwaarts daarvan
2. Kustdwars effect (Figuur 1b): hoge golven breken aan de zeewaartse zijde van de vooroever suppletie, niet-brekende golven propageren kustwaarts en genereren een landwaarts transport door golf-asymmetrie over het gesuppleerde gebied. De lagere golven aan de lijzijde van de suppletie genereren minder opwoeling van sediment en de golfgedreven retourstroom (kustdwarse stroming) vermindert. Dit resulteert in:
 - a) Een verhoging van het landwaarts transport (zeewaartse zijde van de suppletie)
 - b) Een verlaging van het zeewaarts transport (landwaarts van de suppletie)

Omdat een vooroever suppletie een zachte maatregel is zal de vorm van de suppletie veranderen tijdens de levensduur van de suppletie.



Figuur 1 Kustlangse (a) en kustdwarse (b) effecten van een vooroever suppletie

De Keijzer (2004) heeft in zijn studie gezien dat, in de Nederlandse situatie, de natuurlijke afstand tussen de binnenste en buitenste bank ongeveer 300 à 350 m bedraagt. Als een vooroever suppletie dicht bij de bestaande (buitenste) bank wordt neergelegd, dan treedt er een verschuiving kustwaarts op om het systeem in een nieuw evenwicht te brengen. Ook in de studie door Witteveen&Bos (Pwa, 2006) zijn er bevindingen gedaan over dit onderwerp. Bij Bergen, Noordwijk en Katwijk is gesuppleerd binnen een afstand van ca 200 tot 300 m van de buitenste positie van de brekerbank en deze suppleties hebben effect gehad op het systeem. Het systeem moet in staat zijn de suppletie op te merken, dus de suppletie moet voldoende dichtbij de buitenste brekerbank zijn aangebracht om het systeem te kunnen beïnvloeden. Bij Wassenaar is de suppletie aangebracht op ruim 500 m van de buitenste bank en hierbij is de effectiviteit laag en zijn er geen merkbare veranderingen van het bankenpatroon waar te nemen na de suppletie. Daarnaast bestaat er een maximale bankbreedte (kustdwars), in Egmond is deze 260 m en in Bergen 375 m. Als een bank door het aanbrengen van een suppletie breder wordt dan deze maximale breedte, dan splitst de

bank/suppletie zichzelf op in twee banken met een trog ertussen (De Keijzer, 2004).

Als er een strandsuppletie wordt aangebracht zijn er drie processen die de verwachte extra strandbreedte verminderen. De processen werken tegelijkertijd, maar elk op een andere tijdschaal. Ten eerste zal het evenwichtsprofiel zich proberen te herstellen na aanbrengen van de suppletie. Het betreft hier de kustdwarse herverdeling van sediment van het droge strand naar zeewaarts gelegen delen van het profiel. De tijdschaal van deze aanpassing ligt in de orde van maanden tot jaren. Een tweede proces betreft de kustlangse herverdeling van sediment welke optreedt na het aanbrengen van een strand suppletie. Voor langdurige projecten zal de tijdschaal van dit proces in de orde van jaren tot decennia liggen. Een derde proces is de ‘normale’ golfgedreven erosie die optreedt op dezelfde manier als vóór het aanbrengen van de suppletie. De kustdwarse positie van de banken kan ook effect hebben op de erosie of sedimentatie van de kustlijn.

Evaluatie suppleties

Er zijn in de afgelopen jaren meerdere studies uitgevoerd om de in het verleden uitgevoerde suppleties te evalueren. Probleem is dat we graag willen weten hoe het kuststelsel na suppletie zich ontwikkelt ten opzichte van hoe het dat zonder suppletie zou hebben gedaan. Het laatste kan worden geschat door extrapoleren van het kustgedrag voor de suppletie naar de periode erna. Daartoe moet het gedrag uit het verleden (erg) goed bekend zijn. Een tweede mogelijkheid is volgen van het gedrag van naburige gebieden (zogenoemde referentiegebieden) in de periode na de suppletie in de veronderstelling dat deze gebieden niet door de aanwezigheid van de suppletie worden beïnvloed, en aannemend dat het gesuppleerde vak zich (zonder de suppletie) hetzelfde zou hebben gedragen als deze beide referentiegebieden of als het ‘gemiddelde’ daarvan. De ervaring leert dat twee naburige kustvakken zich zelden hetzelfde gedragen en dat het ‘gemiddelde’ ervan kritisch moet worden geïnterpreteerd (Spanhoff, 2001).

In veel gevallen gaat het bij de evaluatie van een zandsuppletie om de beoordeling van de mate waarin de gehaalde levensduur overeenstemt met de oorspronkelijk geplande levensduur. In de evaluatie speelt ook het doel van de suppletie een rol. Bij verbreding van het strand voor recreatiedoeleinden moet een andere evaluatietechniek gehanteerd worden dan bij een suppletie voor kustlijnhandhaving (Basisrapport zandige kust TAW, 1995). Het blijkt moeilijk om de effectiviteit van vooroever suppleties te bepalen, omdat het niet altijd duidelijk is wat het aanvankelijke doel van de suppleties was en het dus moeilijk is om te bepalen of een doel bereikt is (Steijn, 2005). Over het algemeen is te zeggen dat bij suppleties die zijn uitgevoerd om de BKL en het kustfundament te onderhouden, het doel redelijk goed bereikt wordt. Bij suppleties met andere doelen is dit minder duidelijk.

Uit eerdere studies gebaseerd op JARKUS metingen is gebleken dat individuele suppleties niet automatisch een positieve volume verandering veroorzaken. Het lijkt erop dat bij kleinere suppleties ($0 < 400 \text{ m}^3/\text{m}$) het traditionele zaagtand concept (graduele erosie tot een zekere drempel – sterke sedimentatie na suppletie – graduele erosie tot een zekere drempel – etc.) welke veel gebruikt wordt om een levenstijd van een suppletie te bepalen (Basisrapport zandige kust TAW, 1995, 2003; Roelse, 2002; Dean and Dalrymple, 2002) niet altijd van toepassing is.

Egmond suppleties

Het noordelijk deel van de Noord-Hollandse kust, en dus ook het gebied bij Egmond, kan gekarakteriseerd worden als erosief. Het sedimenttransport is noordwaarts gericht en bij het zeegat van Texel wordt het sediment de Waddenzee in getransporteerd. Gebaseerd op gegevens van Rijkswaterstaat is er sinds 1990 meer dan 2500 m³/m gesuppleerd bij Egmond aan Zee. Van Koningsveld & Lescinski (2007) observeren echter maar een volume toename van 500 m³/m sinds het begin van de suppleties in 1990. Dit betekent dat de effectiviteit van de cumulatieve suppleties in het vermeerderen van het totale volume in het profiel ongeveer 20 % bedraagt. Blijkbaar zijn de suppletie volumes bij Egmond niet genoeg gebleken om de natuurlijke variabiliteit van het systeem te overheersen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de natuurlijke erosie van het systeem niet meeberekend is in de effectiviteit. Ook betreft deze studie enkel de MKL zone, sediment dat terecht komt in het kustfundament wordt dus niet als effectief beschouwd, terwijl dit misschien wel in het systeem blijft. Van Koningsveld and Lescinski (2007) tonen een positief effect van de suppleties op de kustlijn ontwikkeling. In de periode voor 1990 heeft de MKL een golvend verloop wat karakteristiek was voor dit deel van de kust. In de periode na 1990 zijn alle trends positief, behalve in een klein deel ten zuiden van Egmond. Momenteel is er nog geen duidelijke reden bekend voor deze erosie. Van Rijn (1995) suggereert dat er in het gebied ten zuiden van Egmond een divergentie optreedt van het kustlangse transport, met noordwaarts transport ten noorden van de hotspot en zuidwaarts transport ten zuiden van de hotspot. Als teruggekeken wordt in de Jarkus data vanaf 1965, dan is te zien dat de kust bij Egmond altijd een kustlangs golvend patroon heeft laten zien. Deze golf was echter niet volledig stabiel en verplaatste heen en weer langs te kust. De laatste jaren is de kustlangse golfvorm echter gestabiliseerd, met een top in zeewaartse richting recht voor het dorp en een dal in landwaartse richting ten zuiden van het dorp, de eerder genoemde hotspot. Het is mogelijk dat dit stabiliseren van de kustlangse golfvorm veroorzaakt is door het menselijk ingrijpen in het gebied, met aanbreng van een groot volume zand recht voor het dorp Egmond om het dorp te beschermen en geen extra volume ten zuiden van het dorp.

Aarninkhof (2003) heeft de eerste vooroever suppletie bij Egmond bestudeerd op basis van Argus video data met behulp van de Intertidal Beach Mapper (IBM). Maandelijkse intergetijd bodems zijn geanalyseerd voor een periode van iets meer dan twee jaar, beginnend twee maanden na het aanbrengen van de vooroeversuppletie bij Egmond in 1999. Er is te zien dat de variabiliteit van het morfodynamische gedrag in het intergetijdgebied zo groot is, dat deze moeilijk te meten is met traditionele meettechnieken. Gemiddeld over het interessegebied is er een sterke seizoensvariabiliteit aanwezig. Daarnaast treedt er ook een aanzienlijke ruimtelijke variatie op door herverdeling van sediment in het interessegebied. Deze variabiliteiten maken het moeilijk om chronische erosie te identificeren en dus de juiste maatregelen te bedenken.

De IBM maakt het mogelijk om de strandbreedte bij laag- en hoogwater, en volumeveranderingen van het intergetijdstrand te kwantificeren. Om de bruikbaarheid voor kustbeleid te bepalen dient aangetoond te worden dat er een correlatie bestaat met de MKL positie, zodat de eerder genoemde parameters rechtstreeks kunnen toeleveren aan het vastgestelde operationele doel van kustlijnhandhaving. De relatie tussen de MKL en de MIKL (MKL intergetijd gebied) is aangetoond in Wijnberg et al. (2004).

In een recente studie door Quartel & Grasmeijer (2007) toont analyse van de hoogtemetingen op het strand en vooroever bij Egmond aan Zee aan dat 2 jaar na aanleg van een serie van 8 strandsuppleties en 1 relatief kleine vooroeversuppletie ($< 1 \times 10^6 \text{ m}^3$) het strandvolume toeneemt tot $+25 \text{ m}^3/\text{m}$ boven het voorspelde niveau zonder suppleties. Ongeveer 5 jaar na aanleg van de vooroeversuppletie (de laatste van de serie) is het strandvolume echter weer op het niveau zoals voorspeld zonder suppleties. De combinatie van 1 strandsuppletie en 1 relatief grote vooroeversuppletie lijkt een vergelijkbaar effect te hebben als de 8 strandsuppletie en 1 kleine vooroeversuppletie. De suppleties (op het strand en onder water) bij Egmond lijken geen eenduidig positieve invloed te hebben op het binnenste brekerzonevolume (tussen -3 m en -0.76 m NAP). Behalve de directe impuls van zand bij een strandsuppletie, toont de huidige analyse van hoogtemetingen bij Egmond aan Zee aan dat het strand geen langdurig effect ondervindt van de suppleties.

Stormcondities

De Keijzer (2004) heeft een aantal stormen in detail bekeken. In Egmond is te zien dat de banken rechttrekken en zeewaarts verplaatsen als er stormen optreden uit het noorden. Bij stormen uit het zuiden trekken de banken krom, maar blijven op hun plaats.

Reintjes (2002) heeft twee typen muien beschreven, zogenaamde accretie muien en erosie muien. Accretie muien hebben een kleine onderlinge afstand, zijn stabiel qua locatie en komen voor bij een dalende H_{rms} . Erosie muien daarentegen zijn zeer dynamisch en komen voor bij een stijgende H_{rms} . Dit geldt echter tot een bepaald maximum, indien de H_{rms} nog sterker stijgt verdwijnen de muien weer en trekken de banken recht (Short, 1985). In deze studie kan geen sterk verband aangetoond worden tussen volumeveranderingen en het voorkomen van muien.

1.3 Huidige richtlijnen suppletieontwerp

Hieronder volgen richtlijnen voor het ontwerpen van vooroever- en strandsuppleties (Van der Spek et al., 2006). Het uitgangspunt voor deze richtlijnen is een optimaal onderhoud van het kustprofiel. Indien andere doelstellingen voorop staan resulteert dit in andere richtlijnen. Deze richtlijnen zijn gebaseerd op de huidige inzichten in het functioneren van suppleties. Deze inzichten zijn hypothesen welke afgeleid zijn uit de beschikbare waarnemingen. Op dit moment kunnen nog veel vragen over het functioneren van suppleties niet beantwoord worden. De meest relevante vragen zullen in de komende tijd nader onderzocht worden.

- **Suppleer onder water.** Het kustprofiel reageert snel op het aanbrengen van een suppletie rond de -5m NAP. Indien een suppletie van dezelfde grootteorde als de aanwezige banken aangelegd wordt op of vlakbij de locatie waar de meest zeewaartse bank verdwijnt, zullen in het eerste jaar na uitvoering banken en troggen landwaarts schuiven, met als netto resultaat een toename van het zandvolume in de ondiepe brandingszone en in de strand- en duinzone.
- Een vergelijkbare ontwikkeling is waargenomen in een gebied waar geen banken

aanwezig zijn. De suppletie vervormt tot een bank en induceert een trog. Doordat het profiel zich instelt op deze nieuwe vorm treedt er een netto zandverplaatsing op richting landzijde.

- Alleen indien er sprake is van zeer snelle erosie waarbij de BasisKustLijn (BKL) flink wordt overschreden, wordt geadviseerd een strandsuppletie aan te brengen. Lokale morfologie zoals een geul vlak onder het strand maakt het suppleren onderwater soms onmogelijk of inefficiënt.
- Het volume van de aan te brengen suppletie dient aan te sluiten bij het volume van de banken die van nature aanwezig zijn in het profiel.
- Hou er bij het ontwerp rekening mee dat de positieve invloed van een suppletie van orde grootte 3 km zich uitstrekt tot (maximaal) zo'n 2 km ter weerszijden van de locatie. Afwijkend is het Waddengebied, zie hieronder bij Specifieke situaties.
- Waddengebied – Door de oost-west oriëntatie van de Waddenkust zorgen sterke westelijke winden voor kustlangse effecten. De invloed van een suppletie is daardoor sterk oostwaarts gericht. De aanleg van een suppletie dient daarom westwaarts uitgevoerd te worden t.o.v. de zone waar netto zandwinst gewenst is.
- Zeeland - Hier liggen vaak geulen dicht onder de kust. Vooroeverssuppleties op de geulwand zijn nu een aantal maal aangebracht met als doel de geul uit de kust te houden en eventueel strandsuppleties te voorzien van een ondersteunend zandlichaam. Richtlijnen voor geulwandsuppleties zijn er door de korte evaluatieperiode nog niet.

1.4 Onderzoeksvragen

Op basis van de vragen in de offerte aanvraag en van het literatuuronderzoek is er een aantal onderzoeksvragen voor deze studie opgesteld waarop de analyse zich spitst. Per vraag is aangegeven wat voor informatie er gebruikt zal worden om de vraag te beantwoorden en wat voor sub-vragen er spelen. Aan het eind van het rapport zal op de onderzoeksvragen teruggekomen worden en zal geprobeerd worden om deze zover mogelijk te beantwoorden.

Onderzoeksvragen

1. Wat is het effect van de twee typen suppleties op het intergetijdestrand volume en de strandbreedte?
 - a) Is het zogenaamde zaagtand concept terug te herkennen in de intergetijde volume en strandbreedte ontwikkelingen?
2. Wat is het effect van de twee typen suppleties op het bankgedrag?
 - a) Zijn effecten van de suppleties terug te zien in het bankgedrag in de vorm van trendbreuken?
 - b) Hebben strandsuppleties ook een effect op het bankgedrag?
 - c) Hoe snel streeft het systeem naar een nieuw dynamisch evenwicht na een suppletie?
3. Hoe lang hebben suppleties effect, wat is de levensduur mbt bankgedrag,

intergetijdestrand en strandbreedte?

- a) Vanuit de basissituatie, hoe lang duurt het voordat deze situatie na suppleties weer is 'hersteld'? → zaagtandhypothese
 - b) Wat is een zinnige frequentie voor suppleren bij Egmond?
4. Hoe gedragen de twee typen suppleties zich onder invloed van stormcondities?
- a) Wat gebeurt er met de suppleties en het bankensysteem in geval van storm condities?
 - b) Wat is het effect op de levensduur van suppleties?
 - c) Zijn er meer of minder zinnige seizoenen om te suppleren?
5. Hebben vooroever suppleties een stabiliserend effect op strandsuppleties?
6. Zijn er erosiehotspots (intergetijdegebied) en wat is het effect van suppleties op de erosiehotspots?
- a) Verminderen of verplaatsten de hotspots door de suppleties?
 - b) Kan er op een zinnigere locatie worden gesuppleerd?

1.5 Aanpak

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden wordt er een data analyse uitgevoerd van lodingsdata en Argus video data. Er worden verschillende indicatoren gekozen om de staat en ontwikkeling op basis van de data te kunnen beschrijven. De lodingsdata (Jarkus) wordt gebruikt om de lange termijn ontwikkeling van het gebied te beschrijven en om te laten zien wat het natuurlijk gedrag van het systeem in het verleden is geweest vóór aanbreng van de suppleties (vanaf 1990). Hiervoor worden de intergetijde volumeveranderingen en veranderingen in kustlijnpositie voor de periode 1965-1990 uit JARKUS bepaald om het autonome gedrag te laten zien van deze indicatoren. Voor de periode 1999 – 2006 zijn dezelfde indicatoren, met daarnaast nog de positie van de subgetijde banken, uit de beschikbare Argus data bepaald. De verwerking van deze data is uitgevoerd door de Universiteit Utrecht. Ook zijn de intergetijde bodems uit Argus in 2D bekeken om eventuele 2D effecten te kunnen herkennen.

Bij de analyse worden verschillende tijdschalen uit elkaar gehaald: lange termijn (decennia), jaarvariaties, seizoenvariaties, invloed van suppleties, storm gebeurtenissen. Voor het laatste worden twee stormen in detail bekeken, één net voor en één net na een suppletie. Ook wordt bij de analyse van de resultaten rekening gehouden met de verschillende typen suppleties die zijn uitgevoerd met elk hun eigen locatie en volume.

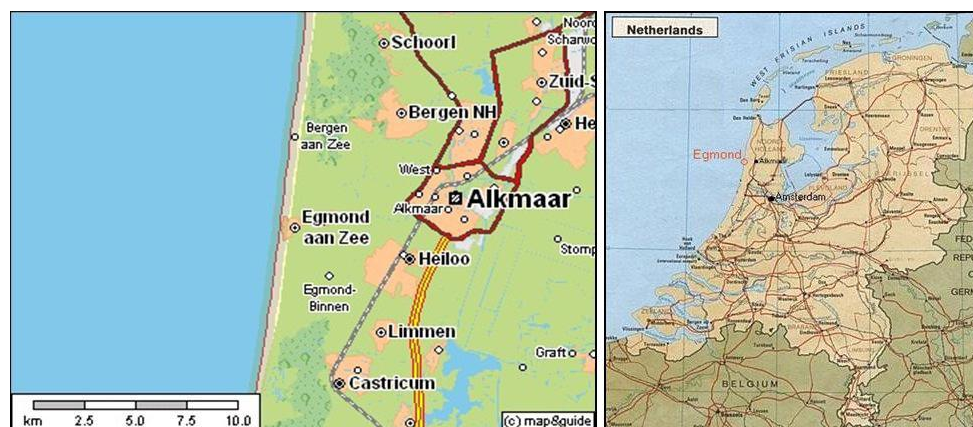
2 Data inventarisatie

2.1 Studiegebied

2.1.1 Strand bij Egmond

Egmond is gelegen in het centrale deel van de Hollandse kust, tussen Den Helder en Hoek van Holland. De Hollandse kust ligt aan de Noordzee en is onderhevig aan wind golven en deining. De getijgolf dringt de Noordzee binnen in het noorden en loopt door de Coriolis kracht eerst langs de kust van het Verenigd Koninkrijk en dan door langs de Nederlandse kust. Hierdoor treedt er een fase en amplitude verschil op in het getij langs de Nederlandse kust. De kustlijn oriëntatie in Egmond is ongeveer 8° ten opzichte van het topografische noorden. Dit betekent dat de kustnormaal een hoek van 278° ten opzichte van het noorden maakt.

Figuur 2 laat de geografische ligging van Egmond zien. Het gemiddelde getijverschil varieert tussen 1.2 m gedurende doortij en 2.1 m gedurende springtij. Piek stroomsnelheden buiten de brandingszone tijdens vloed bedragen ongeveer 0.5 m/s, waarbij de vloed stroom naar het noorden iets sterker is dan de ebstroom naar het zuiden. De maandelijks gemiddelde offshore golfhoogte is afhankelijk van het seizoen en varieert van ongeveer 1 m in de zomermaanden (mei-augustus) tot ongeveer 1.7 m in de herfst- en wintermaanden (oktober-januari). Tijdens hevige stormen vanuit het zuid- tot noordwesten kan de golfhoogte zelfs oplopen tot 5 m.



Figuur 2 Locatie Egmond aan Zee.

In de directe omgeving van Egmond zijn er geen harde constructies aanwezig. Het droge strand is ongeveer 100 tot 125 m breed met een helling van 1:30 tot 1:50. De grootschalige bathymetrie kan gekarakteriseerd worden als een uniforme, rechte kust met parallelle dieptelijnen. De kleinschalige morfologie laat onregelmatigheden zien in het grootschalige

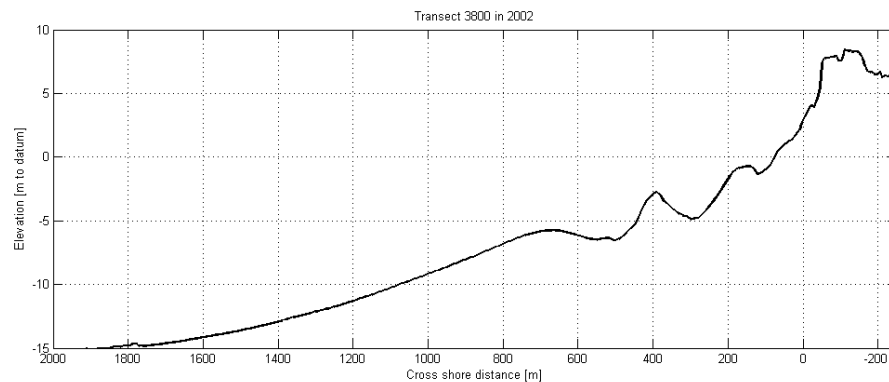
uniforme beeld. Dit deel van de kust wordt gedomineerd door kustlangse zandbanken, welke onderbroken worden door muien en kleine, lokale banken. Drie hoofdbanken zijn aanwezig welke over het algemeen parallel aan de kust gelegen zijn. Figuur 3 laat een tijdsgemiddeld video beeld zien van het strand bij Egmond (ingewonnen met het Argus video station ten zuiden van Egmond). In deze figuur zijn de locaties van de twee binnenste zandbanken te zien ter plaatse van de witte, kustlangse banden waar de golven breken op de banken. Op de buitenste bank vindt geen breking plaats en deze is minder dynamisch dan de middelste en binnenste banken.



Figuur 3 Golf dissipatie in een tijdsgemiddeld video beeld (Argus). De witte banden geven de locaties aan van de banken waarop de golven breken.

Tijdens de studieperiode ligt de binnenste bank bij Egmond op ongeveer 200 m van RSP=0m op ongeveer 1 m onder gemiddelde zee niveau. De top van de middelste bank ligt ongeveer 4 m onder gemiddelde zee niveau op ongeveer 500 m van RSP=0m. Tussen de binnenste en de middelste bank ligt een brede trog. De buitenste bank ligt op ongeveer 700 m van RSP=0m met de top op een diepte van ongeveer 6 m onder het gemiddelde zeeniveau. Over het algemeen bestaat het strand en de vooroever uit zand met een diameter van 0.25-0.5 mm, maar in de trog is het zand groffer (> 0.5 mm) en minder gesorteerd. De kustdwarse helling van de vooroever is ongeveer 1:100 en de gemiddelde korrelgrootte is 200 μm (Elias et al. , 2000; van Rijn et al. , 2001).

Op grotere kustlangse schaal (10 km) en lange termijn (jaren) is het gedrag van de banken bij Egmond tweedimensionaal. Hiermee wordt bedoeld dat de banken continu en van dezelfde vorm zijn in kustlangse richting en dat deze hetzelfde migratie patroon laten zien. Op een kleinere schaal (1 km) en kortere termijn (storm/maand) kunnen er verstoringen ontstaan in het overheersend rechte patroon welke leiden tot een driedimensionaal morfologisch systeem. Muien (met een lengte van 200 tot 300 m en diepte van 0.5 tot 1 m) ontstaan in de top van de binnenste bank op een tijdschaal van een paar dagen tijdens lichte stormcondities. Tijdens zwaardere condities worden deze over het algemeen weer weggevaagd. Over het algemeen zijn de netto natuurlijke veranderingen in de binnenste bank en het strand relatief klein, maar groter dan de veranderingen in de middelste en buitenste bank. De banken vertonen een natuurlijke lange termijn migratie zeewaarts van ongeveer 20 tot 40 m/jaar (van Rijn et al. , 2003).



Figuur 4 Karakteristiek kustdwars profiel bij Egmond met de buitenste bank op $x=700\text{m}$, de middelste bank op $x=400\text{m}$ en de binnenste bank op $x=180\text{m}$.

2.1.2 Studiegebied

Deze studie heeft als doel om de bestaande Argus data te gebruiken voor een evaluatie van de uitgevoerde suppleties bij Egmond. In Egmond staan twee Argus stations. Het eerste station is geplaatst op een speciaal voor de camera's gebouwde mast (in het kader van het Coast3D project) ongeveer drie kilometer ten zuiden van het dorp Egmond (RSP 41.25). Hier worden sinds augustus 1998 beelden ingewonnen met vijf camera's die een 180° beeld geven van de kust. Het tweede station is geplaatst op de vuurtoren Jan van Speijk in het dorp Egmond (RSP 38). Ook hier zijn beelden ingewonnen met vijf camera's die tevens een 180° beeld geven van de kust. Hier worden sinds juni 1999 beelden ingewonnen. Beide stations hebben kustlangs een bereik van ongeveer vier kilometer, waarbij het bereik van de twee stations elkaar iets overlapt, dus totaal wordt er een stuk bekeken van ongeveer zeven kilometer kustlangs. Kustdwars is het bereik van de camera's ongeveer een kilometer. Hoe verder er van de camera's gekeken wordt, hoe slechter de resolutie van de beelden en dus van de afgeleide informatie. Het in deze studie gebruikte lokale Argus coördinaten stelsel heeft de oorsprong in het Jan van Speijk station (RSP 38.0). De y-as is kustlangs gericht met de positieve waarden richting het zuiden. De x-as staat loodrecht op de kust met positieve waarden zeewaarts. Dit voldoet aan de internationale Argus conventies zoals deze bij alle Argus site ter wereld gehanteerd worden,

2.2 Morfologische gegevens

De studie in dit rapport focust zich op de periode juni 1999 t/m december 2006, aangezien dit de periode is dat er video data van Egmond beschikbaar is. Voor een breder perspectief wordt ook gebruik gemaakt van de bestaande Jarkus data vanaf 1965 t/m 2006, zodat een beeld verkregen wordt van het natuurlijke gedrag van het studiegebied.

2.2.1 Suppletiegegevens

Sinds de invoer van het Dynamische Kustlijn Handhaving beleid in Nederland is de kust bij

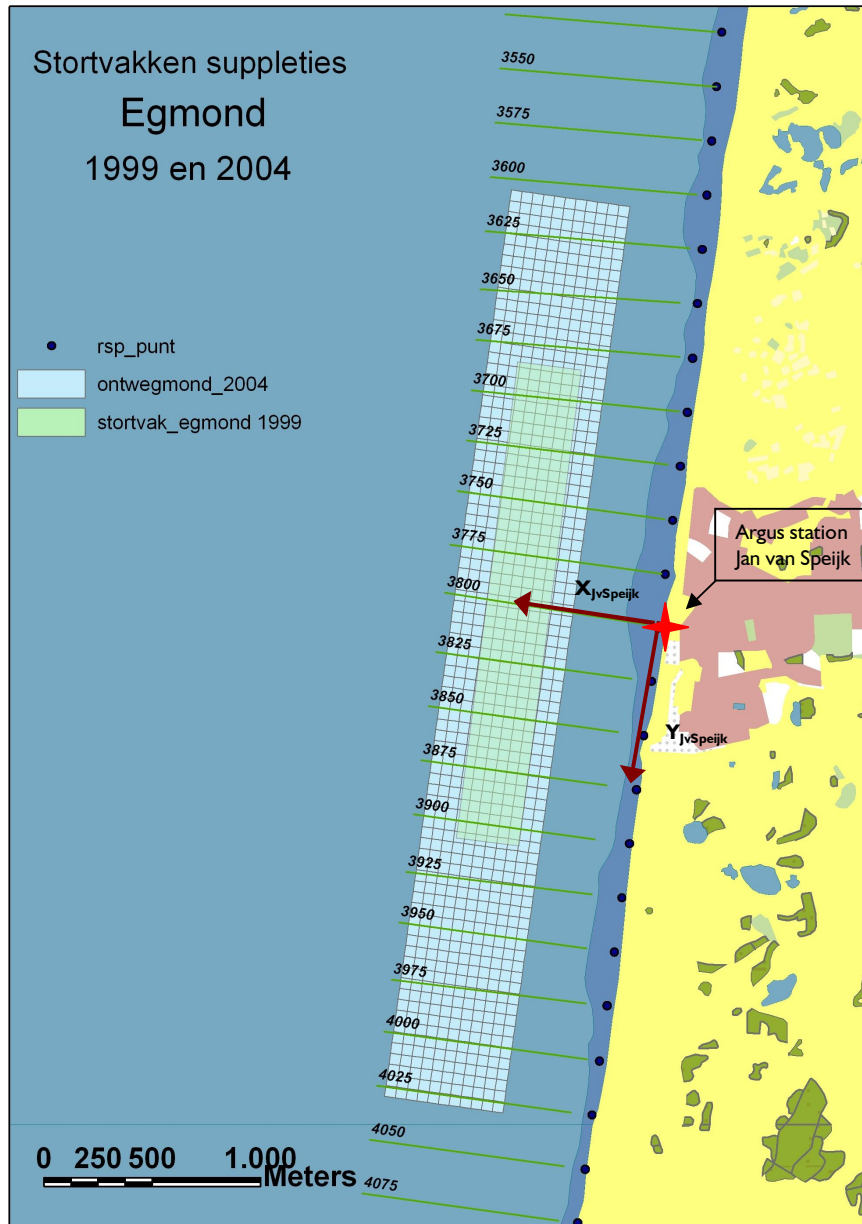
Egmond regelmatig gesuppleerd. Egmond is zelfs één van de zwaarst gesuppleerde stukken kust in Nederland. Voor veiligheidsdoeleinden is de referentie kustlijn op deze locatie enkele tientallen meters zeewaarts van de oorspronkelijk berekende positie gelegd, wat resulteert in een frequentere suppletie behoefte.

In Tabel 1 is informatie over de tussen 1990 en 2006 uitgevoerde suppleties bij Egmond getoond. Er zijn in totaal negen strandsuppleties uitgevoerd in deze periode en twee vooroever suppleties. De suppleties verschillen allen in vorm en volume (zie Tabel 1).

Locatie	Start	Eind	Raai	Raai	Totaal	Gemiddeld	Type	
					volume	volume		
					(m ³)	(m ³ /m)		
Egmond aan Zee	05 1990	05 1990	37	38.5	323318	216	strand suppletie	
Egmond aan Zee	09 1992	11 1992	37.65	38.6	69225	73	strand suppletie	
Egmond aan Zee	06 1994	06 1994	37.85	38.2	106343	304	strand suppletie	
Egmond aan Zee	05 1995	05 1995	37.25	38.75	306000	204	strand suppletie	
Egmond aan Zee	05 1997	05 1997	36.25	38.8	314000	123	strand suppletie	
Egmond aan Zee	06 1998	07 1998	37.5	38.75	244442	196	strand suppletie	
Egmond aan Zee	04 1999	04 1999	37.25	38.75	214515	143	strand suppletie	
Egmond aan Zee	06 1999	09 1999	36.9	39.1	880100	400	vooroever suppletie	
Egmond aan Zee	06 2000	07 2000	38	38.8	207445	259	strand suppletie	
Egmond aan Zee	06 2004	11 2004	36.2	40.2	1606056	402	vooroever suppletie	
Egmond aan Zee	04 2005	05 2005	37	39.25	500000	222	strand suppletie	

Tabel 1 Overzicht van de suppleties bij Egmond aan Zee. Het totale volume is het aantal m³ gemeten na suppleren. Het gemiddeld volume is het totaal volume/([eindraai-beginraai]*0.001).

De twee vooroever suppleties zijn beiden zeewaarts tegen de buitenste bank aangelegd, de locaties (ontwerp) zijn weergegeven in Figuur 5. De tweede vooroever suppletie was langer dan de eerste. Dit is gedaan om eventuele kopeffecten aan het zuidelijke uiteinde van de suppletie verder naar het zuiden te verschuiven. Op de plaats van de zuidelijke kop van de eerste suppletie treedt namelijk een erosie hotspot op. Met de tweede verlengde vooroever suppletie is getracht deze hotspot te voorkomen. In Appendix E is een overzichtsplaatje gegeven, waarin de vier suppleties die uitgevoerd zijn in de studieperiode ruimtelijk zijn getoond in het studiegebied. Ook zijn hierin de raaien aangegeven waarop de analyses in § 4.1.2 en 4.1.3 zijn uitgevoerd.



Figuur 5 Ontwerp locaties van de twee vooroeversuppleties (1999 en 2004) bij Egmond aan Zee. Ook is de locatie van het Argus station Jan van Speijk aangegeven bij RSP 3800. Argus station Coast3D ligt bij RSP 4125, dus iets ten zuiden van het gebied in deze figuur. De lokale Argus assenstelsels hebben de oorsprong in het station, de x-as zeewaarts gericht en de y-as langs de kust gericht met positieve richting naar het zuiden (wiskundig positief assenstelsel).

2.2.2 Lodingen

Voor een lange termijn analyse van de kust bij Egmond zijn de jaarlijkse kustmetingen (Jarkus) gebruikt die sinds 1965 zijn ingewonnen. In de UCIT database waren al data aanwezig van de Jarkus metingen vanaf 1965 t/m 2004. In het kader van dit project zijn deze data aangevuld tot en met 2006. De data zijn in de database gezet als ruwe Jarkus profielen en als grids in kaartbladformaat. Van de nieuw toegevoegde data is het natte deel ingemeten met behulp van een automatisch lodingsysteem en het droge deel door middel

van laseraltimetrie. De onderlinge afstand van de Jarkus raaien bedraagt 250 m kustlangs en de gegevens zijn geleverd in RSP coördinaten.

Naar aanleiding van de uitgevoerde suppleties zijn er sinds 1999 bij Egmond frequenter (ca. 2 keer per jaar)metingen uitgevoerd, zogenaamde monitoringslodingen. De toegeleverde data van de monitoringslodingen die bij Egmond zijn uitgevoerd zijn omgezet naar kaartbladformaat en aan de UCIT database toegevoegd. Een overzicht van de beschikbaar gestelde monitoringsdata is gegeven in Tabel 2.

Jaar	datum
1999	september
2000	maart
	augustus
2001	maart
	juni
	november
2002	april
	september
2004	maart
	december
2005	december

Tabel 2 Overzicht van beschikbare monitoringslodingen voor de studieperiode (1999-2006).

2.2.3 Argus

In § 2.1.2 is reeds een beschrijving gegeven van de twee Argus video stations bij Egmond. De beelden die in deze twee station zijn ingewonnen zullen gebruikt worden voor het evalueren van de suppleties bij Egmond. Uit de videobeelden worden twee soorten informatie afgeleid, banken posities en intergetijdestrand bodems. De methoden die hiervoor gebruikt zijn worden beschreven in Hoofdstuk 3.

Er is in deze studie gebruik gemaakt van een reeds bestaande dataset van uit Argus afgeleide intergetijdebodems voor station Jan van Speijk. Deze dataset bestaat uit waterlijnen die maandelijks zijn afgeleid uit de videobeelden en welke geïnterpoleerd zijn naar intergetijdebodems. De waterlijnen zijn gegenereerd door Caljouw (juni 1999 – juni 2000), Nipius (juli 2000 – september 2001), Reintjes (oktober 2001 – april 2003) en Verhage (mei 2003 – juni 2004).

Voor deze studie zijn de beschikbare ruwe waterlijnen in de Argus database ingelezen (juli 2000 – juni 2004). Voor de periode juli 2004 – december 2006 zijn nieuwe maandelijkse waterlijnen gegenereerd, welke tevens aan de database zijn toegevoegd. Omdat de reeds bestaande waterlijnen voor verschillende periodes op verschillende manieren waren geïnterpoleerd naar bodems is er in deze studie voor gekozen de ruwe waterlijnen opnieuw te interpoleren, maar nu voor de gehele periode op een consistente manier. Van de door Caljouw gegenereerde bodems waren de ruwe waterlijnen niet meer beschikbaar, enkel de geïnterpoleerde bodems (juni 1999 – juni 2000). Deze zijn wel gebruikt in de studie, maar de gebruikte interpolatiemethode (lineaire interpolatie, $z_{min} = 0$ m NAP en $z_{max} = +1$ m

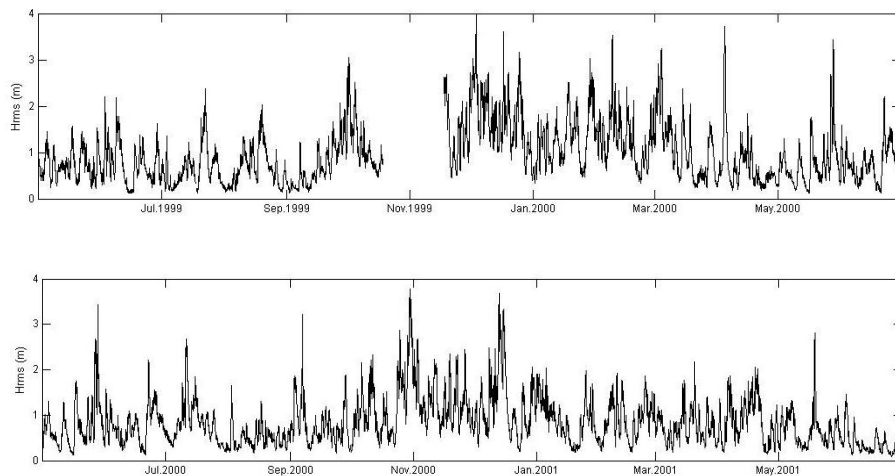
NAP) verschilt van de methode beschreven in § 3.2.

Het genereren van waterlijnen bleek een tijdsintensieve activiteit. In het kader van deze studie is er dus voor gekozen om de bestaande Jan van Speijk dataset aan te vullen tot en met december 2006. De beelden van de Coast3D mast zijn niet gebruikt om waterlijnen uit af te leiden, aangezien dit nog voor de gehele periode gedaan moet worden en dit buiten de scope van deze opdracht valt.

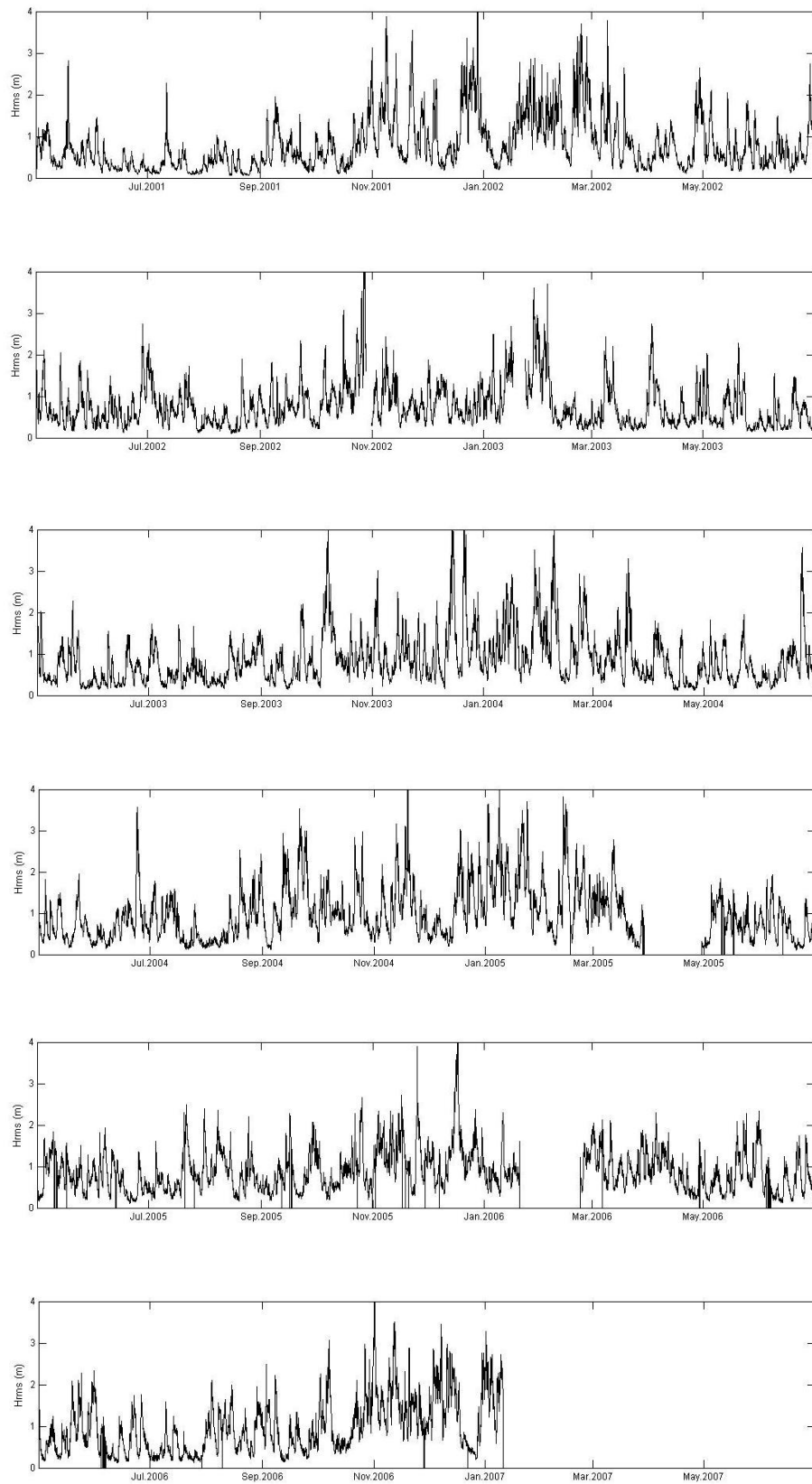
Voor het genereren van bankenlijnen (posities) zijn dagelijkse beelden bij hoogwater van beide Argus stations gebruikt. Hiervoor zijn merges gegenereerd met een hoge resolutie en voor een zo groot mogelijk bereik van de camera's ($x_{\min} = -100\text{m}$, $x_{\max} = 1200\text{ m}$, $dx = 2.5\text{ m}$, $y_{\min} = -2000\text{ m}$, $y_{\max} = 2000\text{ m}$, $dy = 2.5\text{ m}$) op van tevoren uitgekozen tijdstippen op basis van getij informatie. Dit is voor beide stations gedaan voor de periode juni 1999 – december 2006.

2.3 Hydrodynamische gegevens

Golfdata is gemeten in de meetposten IJ-geul munitiestortplaats (1^e prioriteit) en Eierlandse Gat (2^e prioriteit dwz. als 1^e prioriteit geen data bevat voor een tijdstip). De data bevatten spectrale significante golfhoogte H_{m0} , golfperiode T_{m02} en hoofdgolfrichting T_{h0} en zijn gemeten met een tijdstap van één uur. De H_{m0} wordt voor de Argus database omgerekend naar een H_{rms} . In Figuur 6 zijn de gemeten golfhoogten getoond in Egmond voor de gehele studieperiode. De winters zijn over het algemeen stormachtig met grote golfhoogtes. Een uitzondering hierop zijn de winters van 2002/2003 en 2005/2006, welke een zachter golfklimaat hadden dan de andere winters. De jaarlijks gemiddelde golfrichting (piek) van golven lager dan 2 m lag tussen 280° en 290°, dus vrijwel loodrecht op de kust (kustnormaal = 287°). De jaarlijks gemiddelde golfrichting (piek) van golven hoger dan 3 m lag tussen 280° en 310°, dus met meer spreiding en vanuit het noord-westen.



op basis van Argus video waarnemingen

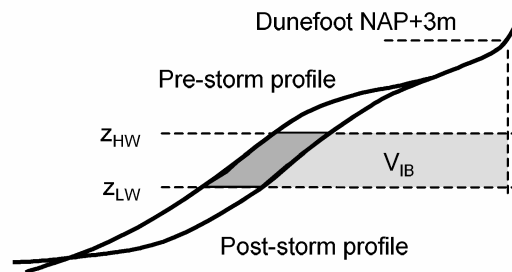
Figuur 6 Tijdreeks van golfhoopte H_{rms} (m) in Egmond voor de gehele studieperiode juni 1999 – december 2006.

Waterstanden zijn gemeten in de meetposten Petten zuid en IJmuiden buitenhaven. Deze waterstanden worden gemiddeld om zo een benadering van de waterstand bij Egmond te krijgen. Het getij bij Egmond is tweemaal daags en heeft een gemiddeld getijverschil van 1.8 m bij springtij en 1.4 m bij doortij. Het getij is asymmetrisch met een opgaande periode van 4 uur en een afgaande periode van 8 uur.

3 Methoden

3.1 Definities

Om een objectieve kwantificering van de dynamiek van het intergetijdestrand te geven is er in deze studie voor gekozen om te werken met twee Coastal State Indicators (CSI, Van Koningsveld, 2003) die de staat van het intergetijdestrand weergeven, intergetijdestrand volume en strandbreedte.



Figuur 7 Definitie figuur van de Coastal State Indicator intergetijdestrand volume.

Het intergetijdestrand volume is gedefinieerd als het sediment volume V_{IB} in een referentiesectie van het kustdwarse profiel, begrensd door de horizontale positie van de duinvoet aan de landwaartse zijde en de verticale locatie van de hoog- en laagwater contouren aan de zeewaartse zijde (zie Figuur 7b). Voor de toepassing bij Egmond is gekozen voor waarden van NAP-0.4 m en NAP+1.0 m voor z_{LW} en z_{HW} respectievelijk, aangezien dit bereik door alle data opnamen gehaald wordt. In Quartel & Grasmeijer (2007) is gebruik gemaakt van een iets groter bereik, namelijk van NAP-0.76 m tot NAP+1.34 m. Verwacht wordt dat het kleinere bereik dat in deze studie gebruikt zal worden genoeg variabiliteit zal laten zien om de overheersende bewegingen in het intergetijdestrand aan te tonen. Variaties in V_{IB} tussen opeenvolgende maanden geven erosie of sedimentatie weer van het intergetijdestrand. Een deel van de gebruikte dataset heeft een kleiner verticaal bereik, namelijk van NAP+0 m tot NAP+1.0 m (zie §2.2.3).

De strandbreedte is in deze studie bepaald als de positie van de Momentane Intergetijde Kustlijn (MIKL), een maat vergelijkbaar met de MKL die van toepassing is op het intergetijde gebied. Hierbij wordt het berekende intergetijde strand volume gedeeld door het verticale bereik waarover het volume berekend is.

Voor het subgetijde gebied worden de posities van de zandbanken bepaald. De binnenste bank wordt gedefinieerd als de bank die een gemiddelde kustdwarse positie heeft van $x = 250$ m. De buitenste bank wordt gedefinieerd als de bank met een gemiddelde kustdwarse positie van ongeveer $x = 450$ m.

3.2 Genereren intergetijdebodems

Uit tijdgemiddelde Argus beelden worden waterlijnen afgeleid door middel van de Intertidal Beach Mapper (IBM, Aarninkhof, 2003). Het model bepaalt strand contouren uit tijdgemiddelde Argus beelden op basis van visueel contrast tussen droog en nat. Uit de gemeten golf- en getij-informatie wordt bij deze positie een verticale waarde afgeleid. Dit wordt gedaan gedurende een opkomend en een afgaand getij tijdens springtij, waardoor voor een zo groot mogelijk verticaal bereik de contouren van het intergetijdestrand bepaald worden. Validatie van IBM met GPS metingen tonen aan dat de gemiddelde verticale afwijking kleiner is dan 15 cm in het gebied bij Egmond (Aarninkhof, 2003). Dit is klein ten opzichte van de variabiliteit van de kustlijn over de gehele studieperiode.

De gegenereerde waterlijnen hebben een variabele meetresolutie. De kustlangse meetresolutie van de punten varieert van 1 tot 15 m, afhankelijk van de pixel resolutie welke beter wordt naarmate dichter bij de camera gekeken wordt. De kustdwarse meetresolutie van de punten varieert tussen 1 en 20 m en is bepaald door de lokale strandhelling, het getijverschil tussen opeenvolgende beelden en het voorkomen van opkomende intergetijdebanken.

Zoals al genoemd is in § 2.2.3 zijn de bodems van juni 1999 – juni 2000 geïnterpoleerd met een lineaire interpolatiemethode. Voor bodems vanaf juli 2000 – december 2006 is gebruik gemaakt van de meer geavanceerde Loess interpolatie methode (Plant et al., 2002). Het verticale bereik van de lineair geïnterpoleerde bodems is van 0 m NAP tot +1 m NAP. Dit beperkt de huidige analyse tot dit bereik. De waterlijnen zijn geïnterpoleerd naar een grid met afmetingen $x_{min} = -100$ m, $x_{max} = 220$ m, $dx = 2$ m, $y_{min} = -1000$ m, $y_{max} = +1000$ m, $dy = 20$ m, waarbij de x-as kustdwars georiënteerd is met de positieve x-as zeewaarts en de y-as kustlangs, met de positieve y-as richting het zuiden. De oorsprong ligt ter plaatse van de vuurtoren Jan van Speijk.

3.3 Bankendetectie

De posities van de banken worden bepaald met behulp van de Barline Intensity Tracker (BLIM). Hierbij wordt in een tijdsgemiddeld Argus beeld de banken geïdentificeerd op basis van maxima in de intensiteit (de witte banden waar golven breken). Het achterliggende algoritme werkt als volgt. Voor de eerste afbeelding wordt de region of interest (ROI) handmatig aangegeven (geklikt met de muis). Binnen de ROI zoekt het algoritme van links naar rechts in de opeenvolgende kolommen van pixels naar de pixel met de hoogste intensiteit. De gevonden coördinaten worden gesmooth met een filter (zie smoothing algoritme verderop in deze paragraaf) en de uitkomst van hiervan wordt genomen als het centrum van de region of interest voor de afbeelding van de volgende (vorige) dag. Deze stappen worden herhaald (behalve het handmatig aangeven van de ROI) totdat alle afbeeldingen geanalyseerd zijn. Dit kan zowel voorwaarts als achterwaarts in de tijd en is afhankelijk van de kwaliteit van de afbeeldingen beide gebruikt.

Mocht dit proces ergens mislopen, bijvoorbeeld omdat er veel opeenvolgende afbeeldingen zijn waarin geen brekende golven te ontdekken zijn, dan is het algoritme voorwaarts en terugwaarts in de tijd gebruikt, totdat bevredigende resultaten verkregen werden (de

banklijnen van de opeenvolgende afbeeldingen vertonen geen plotselinge verschuivingen). Hiermee wordt voldaan aan het uitgangspunt dat de bank op dezelfde plek blijft liggen als er geen golven breken. Voor de twee banken die het dichtst bij de kust liggen is geprobeerd zoveel mogelijk banklijnen vast te stellen, waarbij bij lage energetische condities bovenstaande methode gebruikt is. Omdat de golven slechts sporadisch hoog genoeg zijn om ook op de derde (buitenste) bank te breken, is deze alleen uit de beelden geanalyseerd als er daadwerkelijk brekende golven zichtbaar waren.

Het smoothing algoritme werkt als volgt:

1. creëer een Hanning window (Oppenheim & Schafer, 1989) met lengte x
2. bepaal de helft van de lengte van de Hanning window: $hx = x / 2$
3. spiegel de eerste hx en laatste hx punten van de banklijn om randeffecten te voorkomen
4. convolveer (Oppenheim & Schafer, 1989) het resultaat van step 3 met de Hanning window
5. het resultaat van stap 4 is de gesmoothe banklijn

De waarden van x zijn in pixel coördinaten (vermenigvuldig met 2.5 om meters te krijgen), en zijn afhankelijk van de vorm van de bank en de kwaliteit van het beeld. Over het algemeen zijn waarden gebruikt van 30 pixels voor de binnenste bank, 50 voor de middelste bank, en 200 pixels voor de buitenste bank.

4 Analyse morfologische en hydrodynamische data

De dataset zoals beschreven in § 2.2.3 wordt geanalyseerd met de methoden beschreven in hoofdstuk 3. De afzonderlijke analyses van intergetijde en subgetijde gebied zullen daarna aan elkaar gekoppeld worden, met inachtneming van hydrodynamische condities. Dit resulteert in een zo goed mogelijk beeld van de respons van het strand op de uitgevoerde suppleties.

4.1 Dynamiek intergetijdestrand

4.1.1 Maandelijks ontwikkeling

De reeds bestaande dataset van intergetijdebodems uit Argus (zie § 2.2.3) is uitgebreid tot en met december 2006. Dit resulteert in een reeks maandelijks intergetijdebodems in het gebied voor de vuurtoren Jan van Speijk voor de periode juni 1999 – december 2006 (zie Figuur 8). De bodems zijn getoond voor het verticale bereik van NAP+0 m tot NAP+1.0 m, aangezien dit door de hele dataset gehaald wordt.

Periode 1999 - 2001 na de eerste vooroever suppletie

Aan het begin van de periode heeft het strand een karakteristieke, onregelmatige vorm. Recht voor het dorp is het strand breed (ca. 130 m bij $y = -200$ m), maar iets ten zuiden van het dorp is het strand ongeveer twee keer smaller (ca. 60 m bij $y = 600$ m). Er is net voor de eerste intergetijdebodem een strandsuppletie uitgevoerd (april 1999, RSP 37.25 – 38.75, zie Tabel 1). In de periode juni – september 1999 wordt de eerste vooroever suppletie uitgevoerd. Deze heeft een lengte van 2.2 kilometer en ligt recht voor het dorp (RSP 36.9 – 39.1, zie Tabel 1). In oktober en november is er een significante erosie te zien die toegewezen kan worden aan de optredende stormen in die periode. Gedurende de rest van de winter 1999-2000 is een verdere erosie van het strand te zien, welke gepaard gaat met een afvlakking van het strand. Dit is te zien aan het verder uit elkaar liggen van de intergetijde strandhoogte contouren.

Na de winter (maart 2000) is de teruggang van de kust ten opzichte van de beginbodem in juni 1999 ca. 30 m in het noorden en ca. 50 m in het zuiden. In het voorjaar 2000 herstelt het strand zich weer enigszins, maar het keert niet geheel terug tot de oorspronkelijke staat van juni 1999. In juni/juli 2000 wordt er een strandsuppletie uitgevoerd ten zuiden van het station (RSP38 – 38.8, zie Tabel 1) om de erosie hotspot die daar optreedt te beschermen. Het gesuppleerde zand verdwijnt in de periode augustus – september 2000 echter weer, zodat de erosie hotspot opnieuw verschijnt. De stormen in november en december 2000 zorgen voor nog meer erosie en een landwaartse opschuiving van de kustlijn van ongeveer 20 m. In januari 2001 lijkt het strand iets aan te groeien en het strand wordt vlakker. In het

intergetijdegebied treden onregelmatigheden op. Het strand wordt weer steiler in de zomermaanden (april – augustus 2001) en de onregelmatigheden in het intergetijde gebied verdwijnen. In het najaar van 2001 treedt er wederom erosie op, maar in december 2001 lijkt er een kustlangse herverdeling op te treden, met sedimentatie in het zuidelijke gebied ter plaatse van de erosie hotspot en erosie op het bredere deel bij $y = 0$ m. Dit effect verdwijnt weer in de eerste maanden van 2002.

Wat opvalt is dat het strand er in juli 2001 vrijwel gelijk uitziet als het strand in juni 1999, net vóór de vooroeversuppletie van september 1999. De erosie hotspot bij $y = 600$ m is op dezelfde manier aanwezig en het strand voor het dorp is ca. 140 m breed. In de tussentijd zijn er een vooroever suppletie en een strand suppletie uitgevoerd, maar deze lijken op het eerste gezicht dus geen significant effect te hebben op het intergetijdestrand en de breedte van het strand.

Periode 2002 – 2004 tussen de vooroever suppleties in

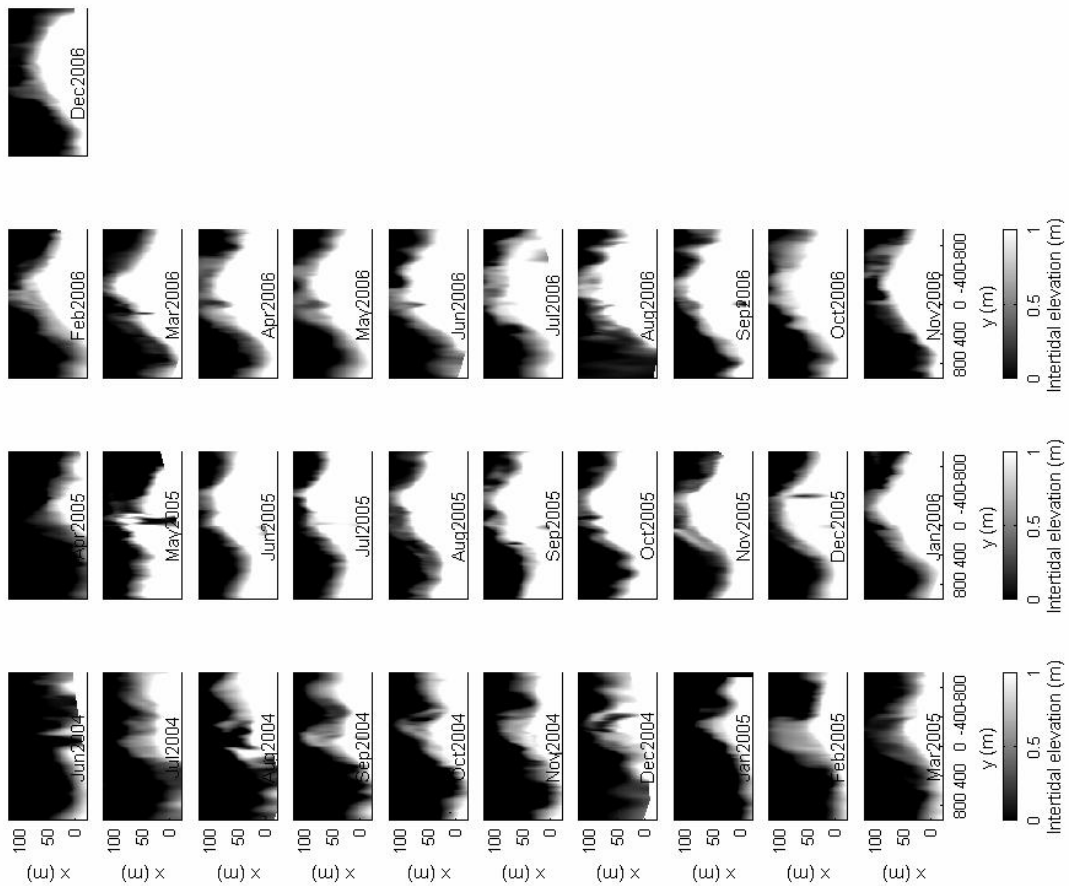
In de zomermaanden van 2002 verschijnen er sterke onregelmatigheden op het intergetijdestrand. Het zuidelijk deel vertoont een lichte aangroei, alhoewel de erosie hotspot wel duidelijk aanwezig blijft. Het verschil in strandbreedte tussen het zuidelijk en noordelijk deel van het strand wordt kleiner. De bult met zand die tot dan toe redelijk constant in het centrale deel van het strand aanwezig was verschuift langzaam richting het noorden, er lijkt een kustlangse herverdeling van sediment op te treden. De winter 2002 – 2003 is vrij mild. Er verandert dan ook weinig in het intergetijde gebied (geen extreme erosie of sedimentatie), behalve dat het intergetijde strand vlakker wordt door de wintercondities. In de periode maart – juli 2003 wordt het strand weer steiler. Kustlangs treden er onregelmatigheden op, maar het strand is in het noordelijk deel nog steeds een weinig breder dan in het zuidelijk deel, het verschil is een stuk kleiner dan in de jaren ervoor. Vanaf december 2003 treedt er tijdens de winter 2003 – 2004 een zeer sterke erosie op over het hele kustlangse domein, welke vrijwel zeker een sterk verband heeft met de optredende stormen in die periode. Het strand trekt bijna recht tijdens de wintermaanden. Vanaf april 2004 begint het noordelijk deel weer iets aan te groeien, terwijl het zuidelijk deel zeer smal blijft. Hierdoor komt iets van de oorspronkelijke vorm terug, maar nog steeds is het strand overal een stuk smaller dan aanvankelijk het geval was.

Periode 2004 – 2006 na de tweede vooroever suppletie

In de periode juni – november 2004 wordt de tweede vooroever suppletie aangelegd over een lengte van 4 kilometer, dus bijna twee keer zo lang als de eerste vooroever suppletie (RSP 36.2 – 40.2, zie Tabel 1). In juli en augustus groeit het strand iets aan in het noordelijk deel, waar het intergetijdestrand erg variabel is en het strand reduceert in het zuidelijk deel tot een zeer smalle strook. Vanaf september 2004 begint de bult in het noordelijke deel zich weer terug te verplaatsen naar het meer centrale gelegen deel, waardoor de oorspronkelijk vorm in sterk geërodeerde vorm terugkomt. In april/mei 2005 wordt er een strandsuppletie uitgevoerd (RSP 37 – 39.25, zie Tabel 1) omdat het strand zich dan al een tijd in kritieke staat bevindt. Door de suppletie is het strand tijdelijk breder in het zuidelijk deel dan in het noordelijk deel, maar dit herstelt zich in de maanden na de suppletie weer zeer snel tot de

op basis van Argus video waarnemingen

oorspronkelijke vorm. Er lijkt een kustlangse herverdeling op te treden waarbij sediment van het zuidelijk deel naar het noordelijk deel verplaatst wordt om zo de oorspronkelijke vorm met erosie hotspot weer terug te krijgen. Tijdens de winter 2005 – 2006 verplaatst de kustlijn zich landwaarts, met name in het gebied rond de erosie hotspot. Tijdens de voorjaars- en zomermaanden blijft het strand redelijk stabiel, behalve dat het intergetijdestrand onregelmatigheden vertoont op een kleine schaal. Het strand is redelijk vlak in die periode en lijkt iets aan te groeien tussen mei en juli. In de laatste maanden van 2006 treedt er erosie op in het brede deel van het strand recht voor het dorp. De erosie hotspot erodeert niet verder. Een jaar na de strandsuppletie van 2005 is het strand bij de erosie hotspot ($y = 400$ m) weer smal geworden en is het strand in het noordelijk gebied iets aangegroeid. Er lijkt een kustlangse herverdeling plaats te vinden, die telkens streeft naar de oorspronkelijke vorm. Er is wel degelijk een positief effect te zien van de strandsuppletie.



op basis van Argus video waarnemingen



Figuur 8 Maandelijkse intergetijdebodems afgeleid uit Argus beelden (station Jan van Speijk). Coördinaten zijn in meters in een lokaal Argus stelsel met de oorsprong in de vuurtoren Jan van Speijk.

Opmerkingen en conclusies

Over het algemeen kunnen er een paar opmerkingen gemaakt worden over de patronen die

te zien zijn in Figuur 8.

- De strandbreedte vertoont seizoensvariaties, het gedrag dient te worden gekoppeld aan de capaciteit van de subgetijde banken (locatie en hoogte) om de inkomende golven te dempen (§ 4.2) en aan het optredende golfklimaat (§ 4.4).
- De locatie en de persistentie van de erosie hotspot zijn opvallend in de figuur. De locatie kan veroorzaakt worden door de ligging van de binnenste en buitenste banken (§ 4.2). Als deze verder zeewaarts liggen, dan liggen ze vaak ook dieper en treedt er dus minder demping van inkomende golven op, waardoor het intergetijde en droge strand aan meer erosie onderhevig zijn.
- In juni 2001 is er geen positief effect op de strandstabiliteit meer te zien van de vooroever suppletie (1999) en de strandsuppletie (2000).
- Daarentegen is er in juni 2006 wel degelijk een positief effect te zien van de vooroever suppletie (2004) met de strandsuppletie (2005) op de strandbreedte en stabiliteit. Het verschil in gedrag met de eerdere combinatie van vooroever suppletie en strandsuppletie kan veroorzaakt zijn door een milder golfklimaat bij de tweede combinatie en door de verschillende geometrieën van de suppleties. Hierbij is het grootste verschil aanwezig in de vooroever suppleties, waarbij de tweede vooroever suppletie bijna twee keer zo lang was als de eerste.

4.1.2 Volumeveranderingen intergetijdestrand

Kustdwarse ontwikkeling

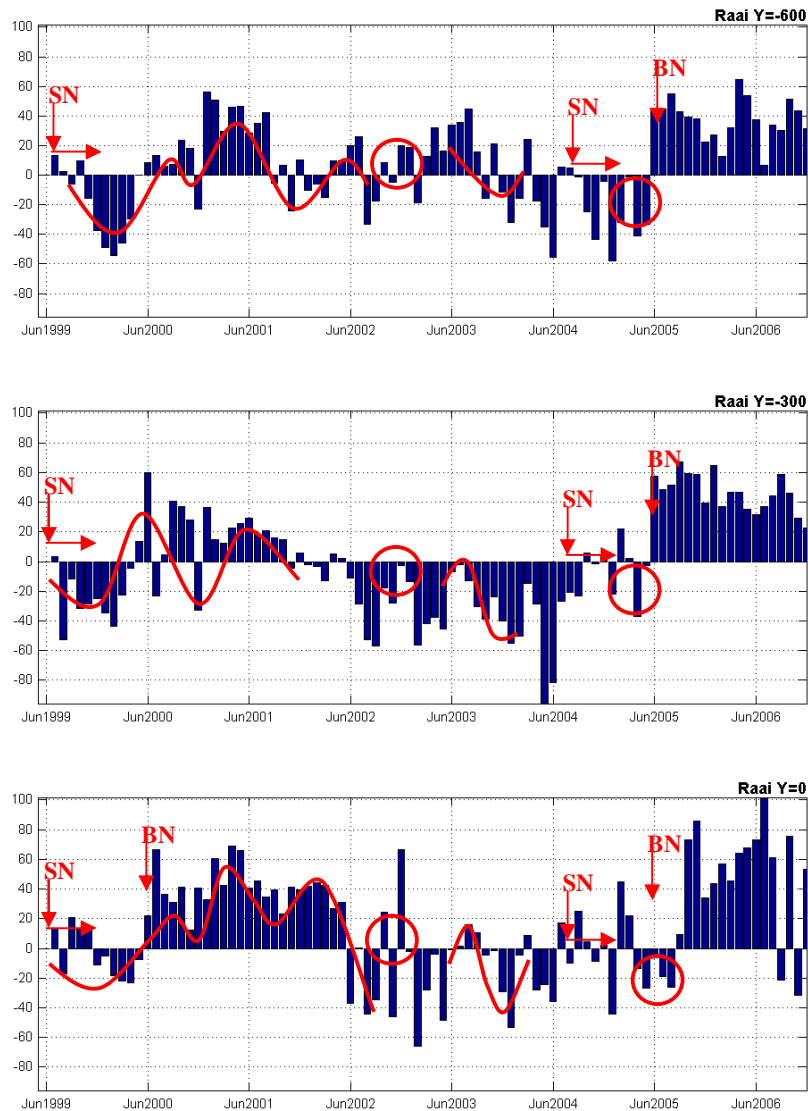
In Figuur 9 is de ontwikkeling van intergetijddevolume getoond voor verschillende kustdwarse raaien ($y = -600:300:600$ m). Hierin is de kustdwarse ontwikkeling van het intergetijdestrand te zien. De volumina zijn per raai bepaald en zijn dus in m^3/m . Een overzichtsplaatje van de raaien geplaatst in het studiegebied, tezamen met de uitgevoerde suppleties, is gegeven in Appendix E.

In de periode na de eerste vooroever suppletie en de strandsuppletie (ca. 1999 – 2002) is er een seizoensvariabiliteit te zien met sedimentatie in de zomer en erosie in de winter. Dit patroon is aanwezig in alle getoonde raaien, maar in de noordelijke raaien ($y < 0$ m) is het effect sterker dan in de zuidelijke raaien. Er lijkt geen herverdeling van sediment op te treden in kustlangse richting. In de winter 1999 – 2000 is de daling van intergetijddevolume in alle raaien erg sterk, dit kan gekoppeld worden aan de zware golfcondities die in die winter zijn opgetreden.

In de zomer van 2002 is er in de verschillende raaien een tegenstrijdig beeld te zien, met erosie in de raaien $y = -300, 0$ en 600 m en sedimentatie in de raaien $y = -600$ en 300 m. Er lijken dus verschuivingen kustlangs op te treden, welke niet direct gekoppeld kunnen worden aan de hydrodynamische condities of een menselijke ingreep. Gedurende de winter van 2002 – 2003 treedt er in alle raaien sedimentatie op, wat samenhangt met de milde golfcondities in die winter. Na de tweede vooroever suppletie lijkt het intergetijde strand bezig een evenwicht te hervinden, maar met het invallen van de winter treedt er in alle raaien een sterke erosie op, ondanks de aangebrachte suppletie. Deze heeft dus nog niet

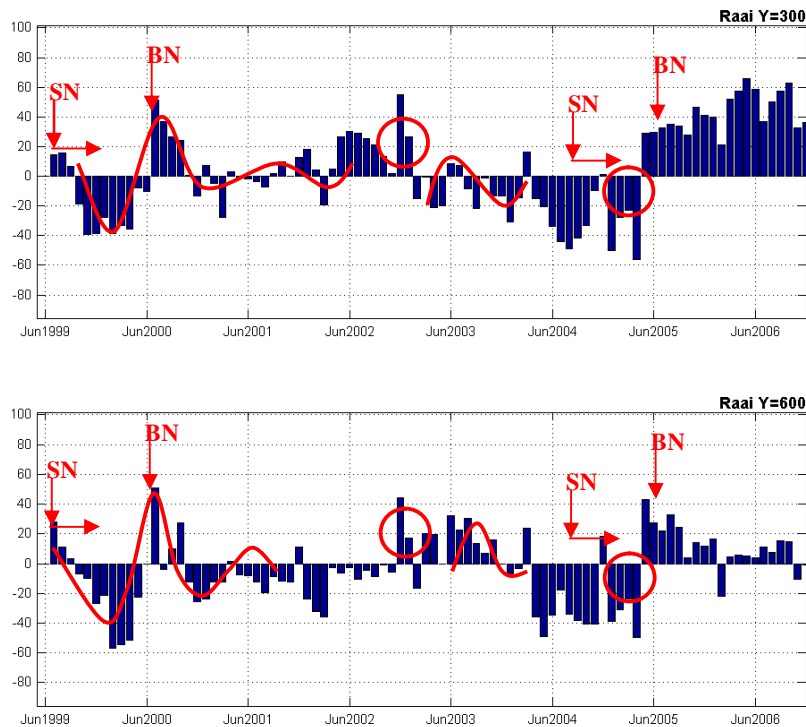
op basis van Argus video waarnemingen

genoeg dempende werking om de invallende golven te verlagen Dit was ook te zien in de maandelijkse ontwikkeling van het intergetijdestrand (§ 4.1.1). Met het aanbrengen van de strand suppletie in 2005 wordt het volume in alle raaien weer omhoog getild. In de noordelijke raaien blijft het volume daarna redelijk constant, met aanwezigheid van enige seizoensvariatie. In de meest zuidelijke raai (y = 600 m) neemt het volume echter gestaag weer af tot hetzelfde niveau als aan het begin van de metingen (juni 1999).



Figuur 9 Maandelijkse volumeveranderingen per raai (y = -600, -300, 0 m of RSP 3740, 3770, 3800) ten opzichte van het volume van de eerste opname (juni 1999). Het verticale bereik is NAP-0.4 m tot NAP+1.0 m, behalve voor het eerste jaar (NAP+0 m – NAP+1.0 m). Een vooroever-suppletie is aangegeven met 'SN' (Shoreface Nourishment) en een strand-suppletie met 'BN' (Beach Nourishment).

op basis van Argus video waarnemingen



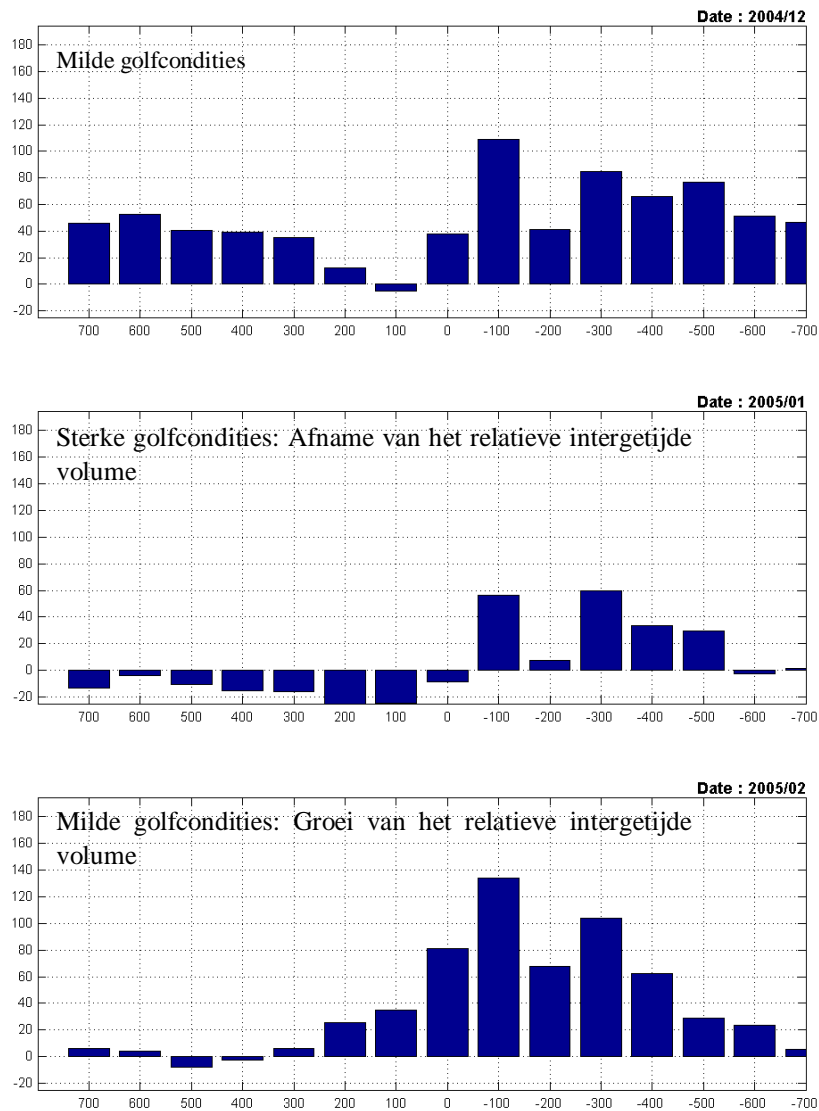
Figuur 10 Maandelijke volumeveranderingen per raai ($y = 300, 600$ m of RSP 3830, 3860) ten opzichte van het volume van de eerste opname (juni 1999). Het verticale bereik is NAP-0.4 m tot NAP+1.0 m, behalve voor het eerste jaar (NAP+0 m – NAP+1.0 m). Een vooroeversuppletie is aangegeven met 'SN' (Shoreface Nourishment) en een strandsuppletie met 'BN' (Beach Nourishment).

Kustlangse ontwikkeling

De kustlangse ontwikkeling van het gebied bij de vuurtoren Jan van Speijk is in grote lijnen al redelijk af te leiden uit de maandelijke intergetijdgebodems zoals besproken in § 4.1.1. In deze paragraaf zal iets dieper ingegaan worden op de volumeveranderingen in het intergetijdgebied. Hierbij wordt onderzocht wat het effect van verschillende golfcondities is op de ontwikkeling van het intergetijdstrand. Er zijn twee perioden nader bekeken, waarbij de eerste periode zware golfcondities vertoont en de tweede zeer zwakke golfcondities. Daarnaast is gekeken wat het effect van de tweede vooroeversuppleties is geweest, door de volumeverandering te bekijken die na een jaar is opgetreden.

Over het algemeen kan gezegd worden dat de morfologische veranderingen ruimtelijk coherent zijn, er is geen sterk kustlangs diffusief karakter te herkennen. Zoals eerder in dit hoofdstuk is aangetoond zijn de kustdwarse veranderingen sterk gestuurd door de golfcondities. In Figuur 11 zijn de relatieve volumeveranderingen te zien in december 2004, januari 2005 en februari 2005 voor het hele gebied voor de Jan van Speijk vuurtoren ten

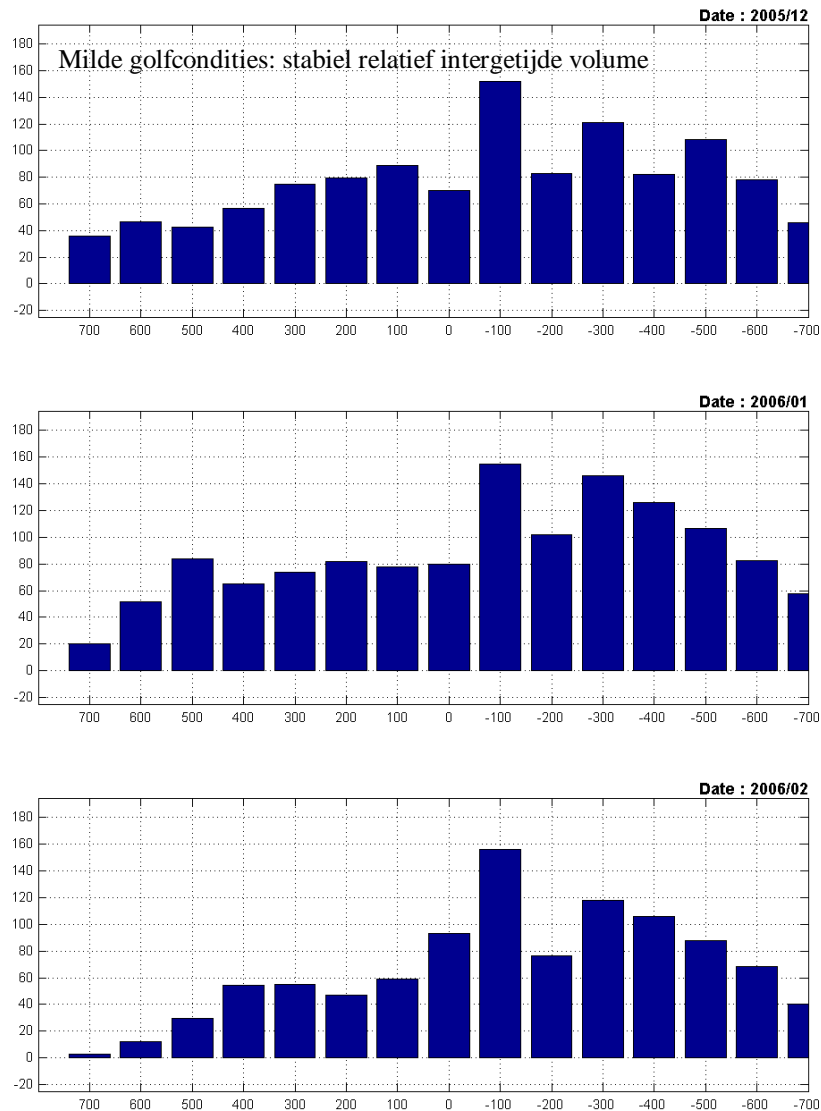
opzichte van de bodem in juni 2004. Aanvankelijk is er aangroei van het intergetijde volume door de milde golfcondities aan het begin van de winter. In januari 2005 traden er echter een aantal zware stormen op, waardoor het intergetijdestrand erodeert. Dit is terug te zien in de afname in intergetijde volume in het middelste paneel van Figuur 11. In februari 2005 zwakken de golfcondities weer af en treedt er herstel op van het intergetijdestrand. Deze aangroei van intergetijdevolume treedt vooral op in het gebied ten noorden van de vuurtoren. In het gebied ten zuiden (ter plekke van de hotspot) herstelt het intergetijdevolume zich niet en blijft het volume gelijk aan het volume in juni 2004.



Figuur 11 Relatieve kustlangse volumeveranderingen in december 2004 – februari 2005 ten opzichte van de bodem van juni 2004.

De winter van 2005 – 2006 is relatief mild met lage golfcondities. Dit is te zien in de relatieve volumeveranderingen in Figuur 12, waar de relatieve volumeveranderingen van het

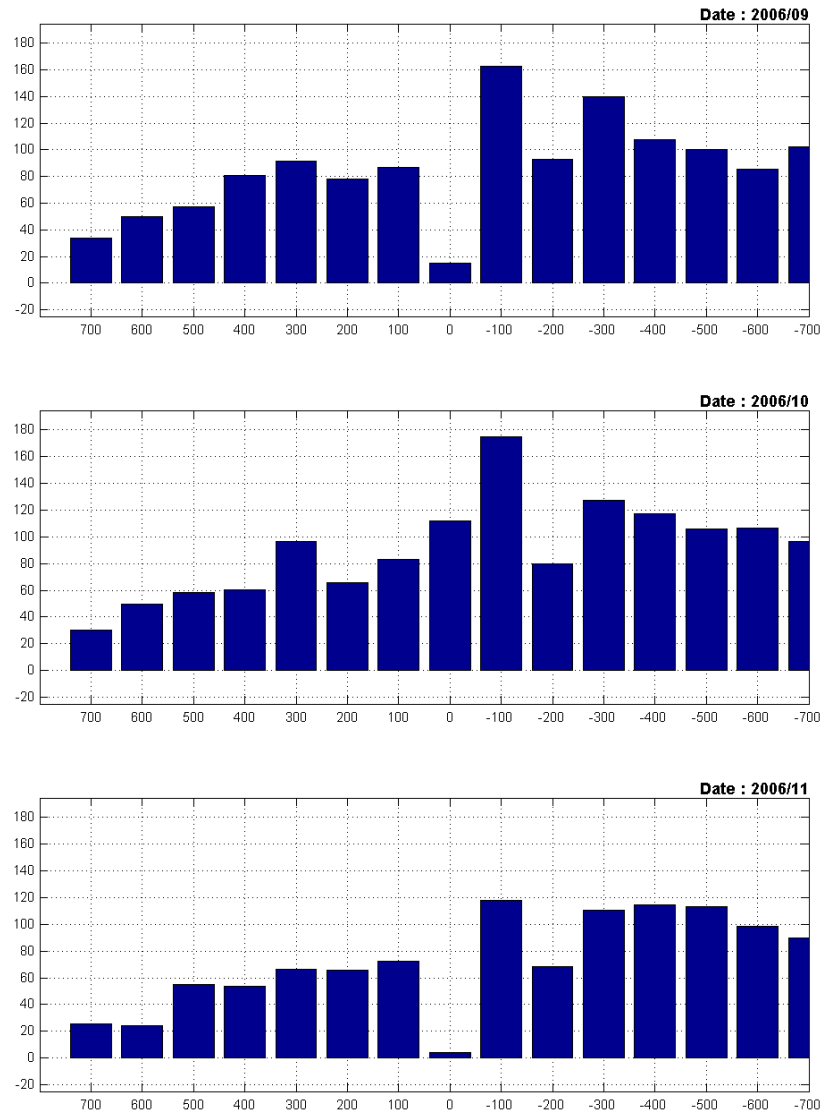
intergetijdegebied getoond zijn voor de periode december 2005 – februari 2006. De relatieve volumeverandering is over het gehele gebied positief, wat mede veroorzaakt is door de strandsuppletie die in april/mei 2005 is uitgevoerd. Het volume is in de getoonde wintermaanden stabiel. In februari 2006 treedt er een storm op die een lichte erosie veroorzaakt. Over het algemeen kan de winter zacht genoemd worden, wat terug te zien is in de stabiliteit van het intergetijdestrand.



Figuur 12 Relatieve kustlangse volumeveranderingen in december 2005 – februari 2006 ten opzichte van de bodem van juni 2004.

In Figuur 13 is de situatie van de relatieve intergetijde volumina getoond twee jaar na de vooroever suppletie van 2004 en ruim een jaar na de strand suppletie in 2005. Duidelijk is te zien dat het strand over de het hele kustlangse domein een positieve relatieve volumeverandering laat zien ten opzichte van voor de suppleties (juni 2004). Algemeen kan

geconcludeerd worden dat de kustdwarse dynamiek dominant is boven de kustlangse effecten in de veranderingen in de intergetijddevolumina. Daarbij spelen golfcondities een belangrijke rol in deze dynamiek.



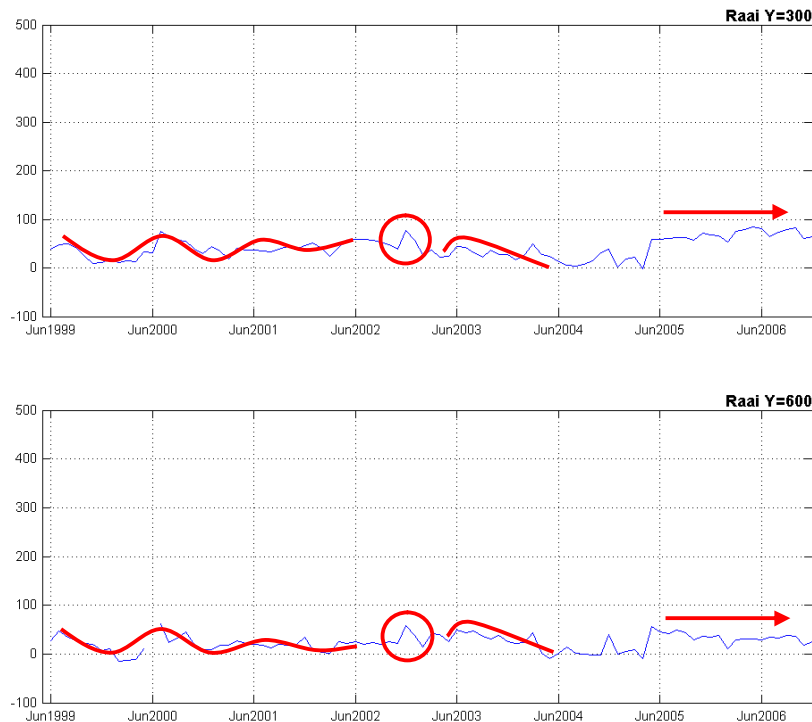
Figuur 13 Relatieve kustlangse volumeveranderingen in september 2006 – november 2006 ten opzichte van de bodem van juni 2004.

4.1.3 Kustlijnpositie veranderingen

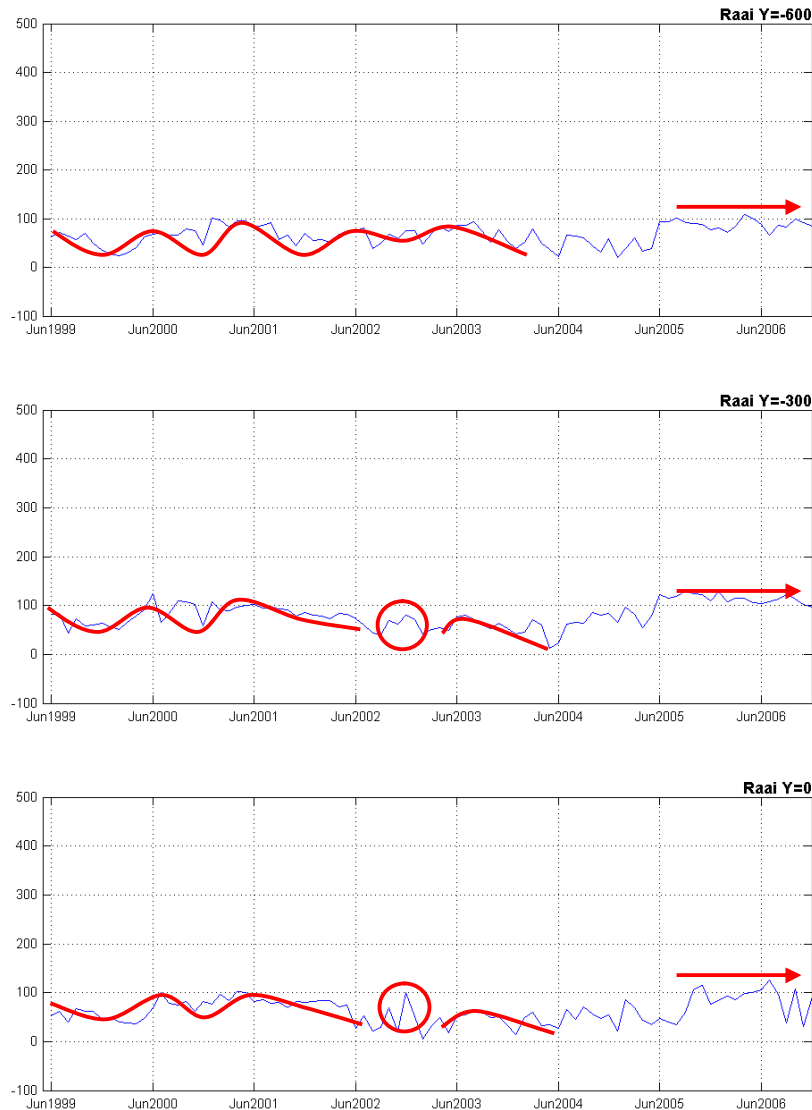
Naast intergetijde volume is ook de positie van de kustlijn uit Argus (zie § 3.1) maandelijks bepaald voor de gehele studieperiode in het gebied rond de vuurtoren Jan van Speijk. De resultaten zijn getoond in Figuur 15 en Figuur 14. Over het algemeen is te zeggen dat er een grote correlatie is tussen het gedrag van het intergetijde volume en dat van de kustlijn

positie. Bij grote intergetijddevolumina is over het algemeen een breed strand (zeewaarts gelegen kustlijn positie) te zien en vice versa.

Dezelfde patronen zijn te zien als in de intergetijdde volumina. Na de vooroever en strand suppleties in 1999 vertoont de kustlijn positie een sterke seizoensvariabiliteit. Met name in de winter van 1999 – 2000 is er een sterke teruggang van de kustlijn positie te zien. Deze patronen zijn in alle raaien aanwezig, wat erop duidt dat de processen zich met name kustdwars afspeelen, er is geen kustlangse herverdeling zichtbaar. In de raaien $y = -300$ m en $y = 0$ m is er in de zomer van 2002 een landwaartse beweging van de kustlijn positie te zien, terwijl in de raaien $y = -600$ m en $y = 300$ m juist een zeewaartse beweging is te zien. Dit is hetzelfde fenomeen wat reeds in de analyse van de kustdwarse intergetijddevolumina opgemerkt was. Tijdens de milde winter van 2002 – 2003 bouwt de kust zich uit in alle raaien. Ondanks het aanbrengen van de vooroever suppletie in 2004 verschuift de kustlijn positie in de winter 2004 – 2005 en in de eerste helft van 2005 toch landwaarts, maar na het aanbrengen van de strand suppletie in 2005 is de kustlijn positie weer hersteld en ligt deze zeewaarts van de oorspronkelijke positie in 1999. In de periode na de combinatie vooroever en strand suppletie in 2004 – 2005 blijft de positie van de kustlijn zeer stabiel en vertoont vrijwel geen seizoensvariabiliteit meer.



Figuur 14 Maandelijkse kustlijnpositie ($z=0$ m) per raai ($y = 300, 600$ m of RSP 3830, 3860).



Figuur 15 Maandelijkse kustlijnpositie ($z=0$ m) per raai ($y = -600, -300, 0$ m of RSP 3740, 3770, 3800).

4.1.4 Lange termijn morfologische ontwikkeling

Om de uit Argus afgeleide gegevens goed in te kunnen schatten is het belangrijk om ook naar de langere termijn te kijken. Hiervoor is in drie Jarkus raaien (RSP 3750, 3800, 3850 of $y_{\text{argus}} = -500, 0, 500$ m) het intergetijde volume bepaald, op dezelfde manier zoals deze ook bepaald zijn uit de Argus intergetijde bodems (zie § 3.1). De resultaten zijn getoond in Figuur 16.

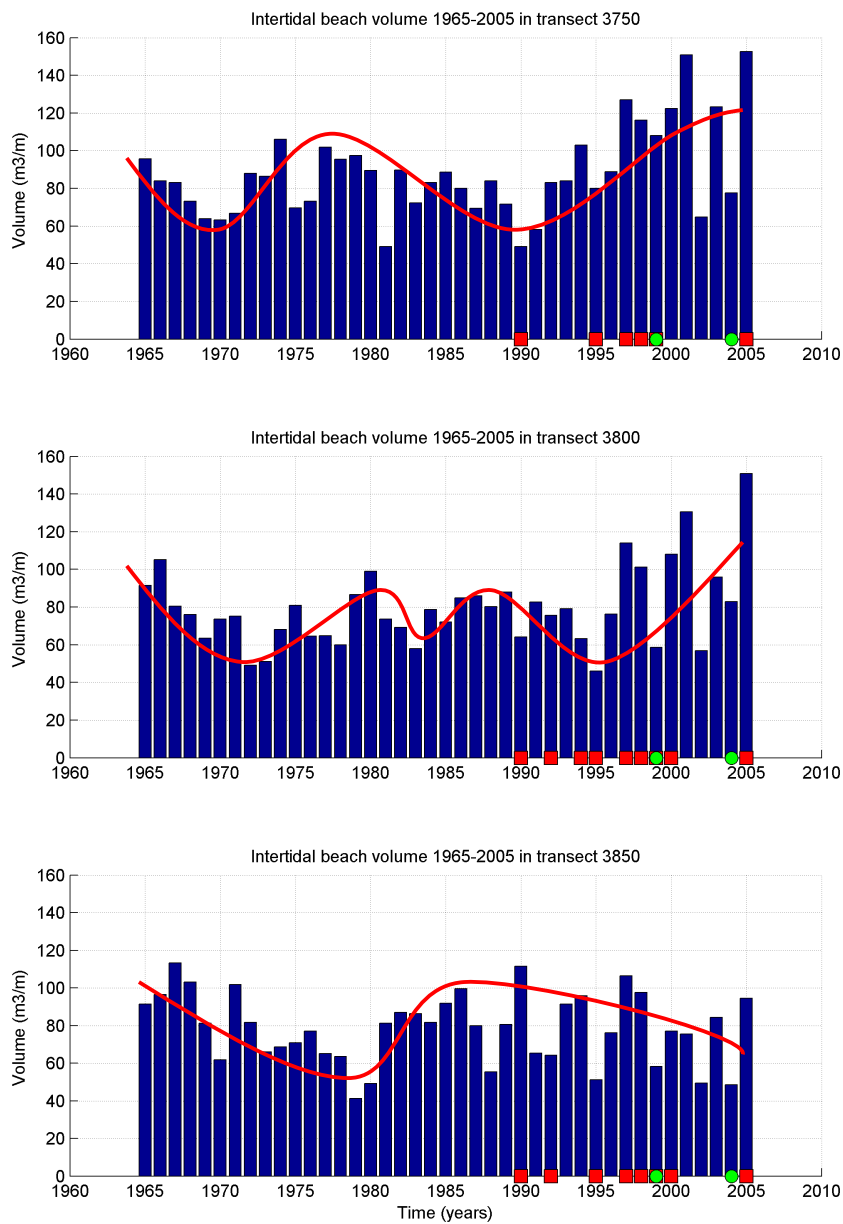
Het intergetijde volume varieert in de periode 1965 – 2005 maximaal met $100 \text{ m}^3/\text{m}$ in de raaien RSP 3750 en 3800 en met maximaal $80 \text{ m}^3/\text{m}$ in de zuidelijke raai (RSP 3850).

Gemiddeld ligt de variatie in de orde 20 à 40 m³/m in alle drie de raaien. Dit ligt in de orde van de seizoensvariabiliteit die te zien was in de uit Argus berekende intergetijde volumes. Het is dus van belang om de lange termijn gegevens door de oogbaren te bekijken, want de variaties van jaar op jaar kunnen zeer goed veroorzaakt zijn door een verschil in condities in de meetperiodes van de verschillende jaren.

Van 1965 tot 1970 was er een erosieve ontwikkeling te zien van het gebied. Daarna laten de raaien RSP 3750 en 3800 aangroei zien tot 1980, terwijl de raai RSP 3850 redelijk constant blijft. Van 1980 – 1990 ondergaat de raai RSP 3750 weer erosie. De centrale raai toont eerst erosie met daarna weer sedimentatie, zodat in 1990 op hetzelfde volume uitgekomen wordt als in 1980. Het intergetijde volume in de zuidelijke raai groeit in die periode juist iets aan. Vanaf 1990 wordt er gesuppleerd in het gebied. Dit is duidelijk terug te zien in de positieve ontwikkeling van raai RSP 3750. Iets minder sterk is de aangroei na de suppleties in de centrale raai, waar in de eerste jaren zelfs erosie optreedt. Er treden per jaar grote sprongen op in het intergetijde volume, wat het moeilijk maakt om een eenduidig beeld te krijgen van de ontwikkeling. De zuidelijke raai RSP 3850 laat eveneens een chaotisch beeld zien waarbij het gemiddelde redelijk constant blijft.

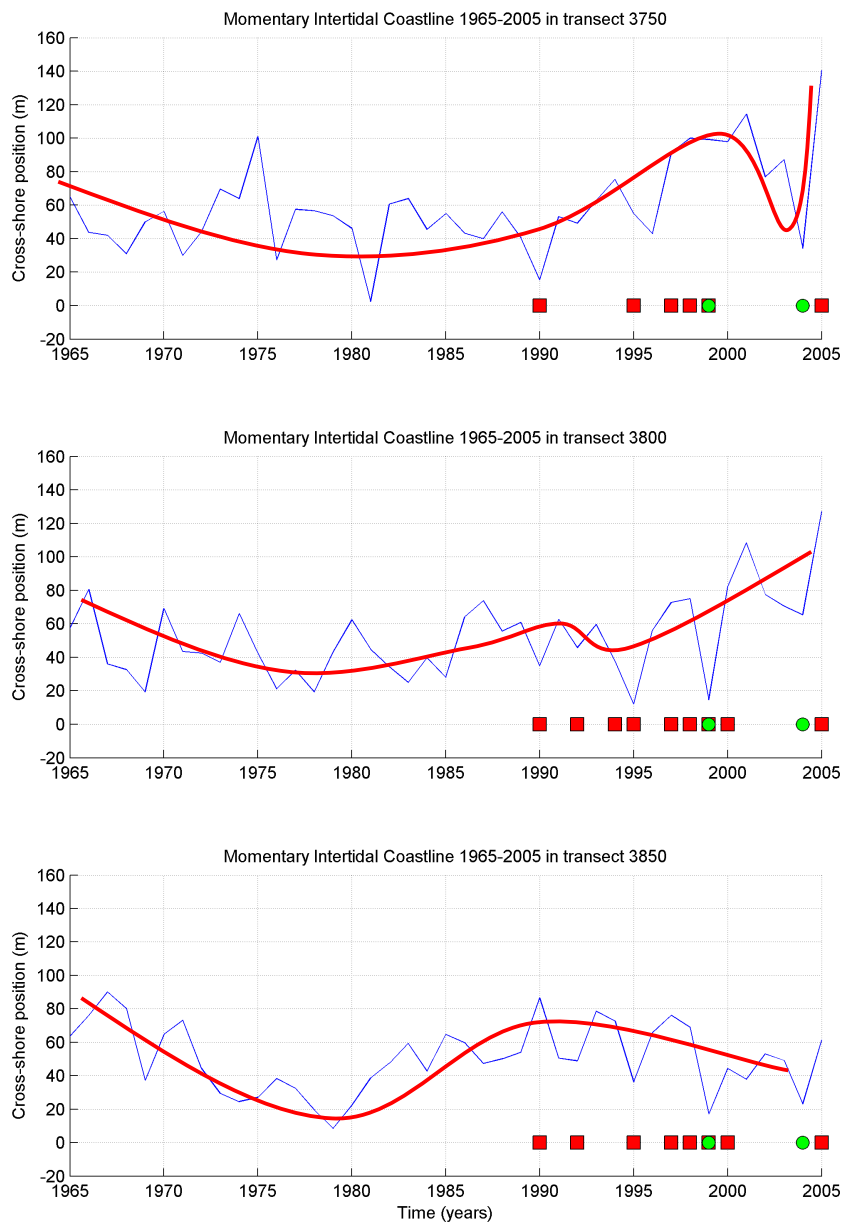
Naast de intergetijde volumina zijn ook de MIKL posities uit Jarkus bepaald in de drie raaien (zie Figuur 17). De maximale variabiliteit van jaar tot jaar is ongeveer 50 m kustdwars. In de uit Argus afgeleide MIKL posities was een seizoensvariatie van deze orde te zien, dus een periode met zware golfcondities kan zorgen voor een dergelijke verschuiving. In de figuur is in alle raaien van 1965 – 1980 een teruggang te zien van de MIKL positie. In de noordelijke raai is er vanaf 1980 – 2001 sprake van een zeewaartse verschuiving van de MIKL. Daarna is er een korte dip te zien tot 2004, waarna de MIKL positie zich weer herstelt. Ook de centrale raai laat een beeld zien van zeewaartse verschuiving, maar hierbij treedt er rond 1995 een kleine stagnatie op waarna de zeewaartse verschuiving weer doorgaat. In de zuidelijke raai RSP 3850 is van 1980 – 1990 een zeewaartse verschuiving te zien, welke na het starten van de suppleties omkeert naar een landwaarts verschuiving.

op basis van Argus video waarnemingen



Figuur 16 Ontwikkeling intergetijde strand volumina uit Jarkus metingen voor de periode 1965 – 2005 in de raaien RSP 3750, 3800 en 3850 ($y = -500, 0$ en 500 m in lokaal Argus coördinaten stelsel). Strandsuppleties zijn aangegeven met een rood vierkant, vooroever suppleties met een groene cirkel.

op basis van Argus video waarnemingen



Figuur 17 Ontwikkeling MIKL uit Jarkus metingen voor de periode 1965 – 2005 in de raaien RSP 3750, 3800 en 3850 ($y = -500, 0$ en 500 m in lokaal Argus coördinaten stelsel). Strandsuppleties zijn aangegeven met een rood vierkant, vooroeversuppleties met een groene cirkel.

4.2 Bankendynamiek

Met behulp van de BLIM tool (§ 3.3) zijn de posities van de banken (bankenlijnen) geïdentificeerd voor de gehele studieperiode en in het hele studiedomein (Jan van Speijk en Coast3D stations). Hieruit is de gemiddelde positie van alle banken in de tijd bepaald.

Tevens is gedetailleerder het gedrag per bank in de tijd bekeken. Dit is gedaan voor de middelste en binnenste banken, omdat de golven niet sporadisch breken op de buitenste bank en hier dus geen informatie met een hoge resolutie in tijd van beschikbaar is uit Argus. De gemiddelde positie van de buitenste bank (§ 4.2.1) is wel bepaald in de studieperiode op de momenten dat dit mogelijk was (breking op buitenste bank). Door de oogharen is daarmee wel een beeld verkregen van het gedrag van de buitenste bank.

4.2.1 Gemiddelde kustdwarse positie

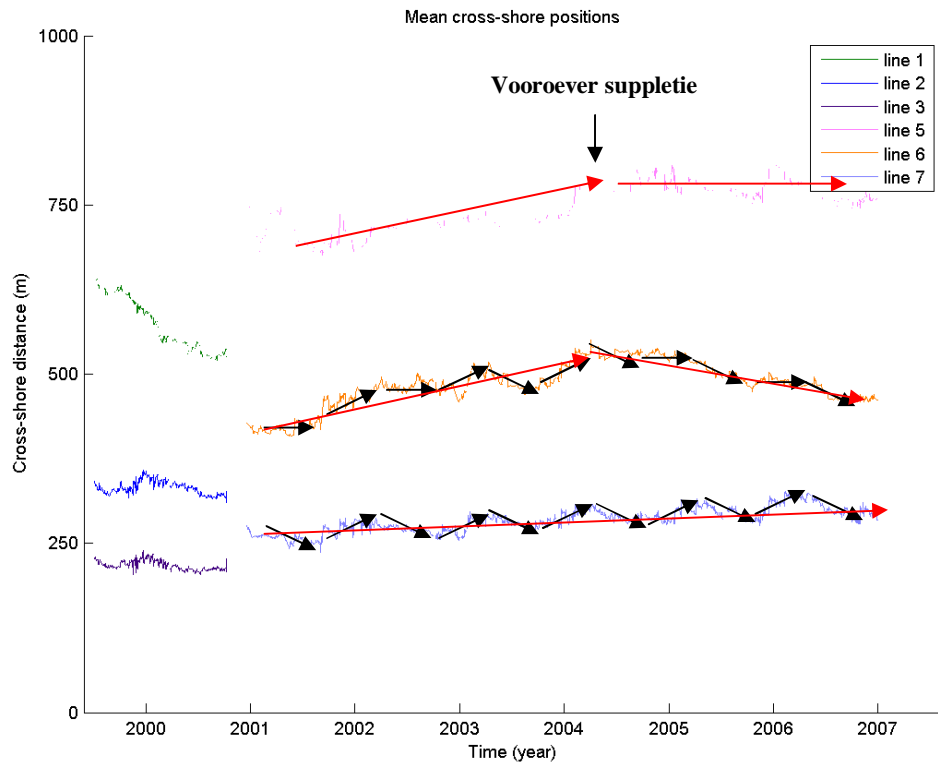
De gemiddelden (van kustdwarse posities) van alle banklijnen per Argus station staan in Figuur 18 en Figuur 19 geplot tegen de tijd. Voor het Coast3D station zijn er drie banklijnen, voor het Jan van Speijk station zes. Eind 2000 lijkt er een banken switch op te treden in Jan van Speijk. Een implicatie voor het laatste is te zien in de figuren in appendix A, B, C en D. Omdat de gemiddelde bankpositie over het hele gebied hierna nogal anders komt te liggen dan daarvoor, is gecontinueerd met andere banklijnen.

In Figuur 18 zijn gemiddelde kustdwarse posities te zien van de banken voor station Jan van Speijk. In het signaal zijn duidelijk seizoenspatronen te zien. Aan het begin van de periode is de vooroever suppletie net uitgevoerd. Dit is te zien in de kustwaarts gerichte migratie van de buitenste bank. De middelste en binnenste banken zijn stabiel, met een zeer lichte zeewaartse migratie eind 1999 en een zeer lichte landwaartse migratie in 2000. Eind 2000 treedt er een bankenswith op in het gebied, dit betekent dat een bifurcatie tussen de binnenste en middelste bank optreedt, waardoor er in een bepaald gebied onduidelijkheid ontstaat over welke de binnenste bank en de middelste bank is. Dit is duidelijker te zien in de figuren in Appendix C en D, waar te zien is hoe in de noordelijke deelgebieden de middelste bank het van de binnenste bank overneemt. Vanaf 2001 migreert de middelste bank langzaam zeewaarts (ca. 75 m per jaar). De buitenste bank is niet altijd zichtbaar (door gebrek aan breking), maar vertoont vanaf 2001 een lichte zeewaartse migratie. De binnenste bank migreert ook naar buiten, maar dan met een langzamer tempo (ca. 10 m per jaar).

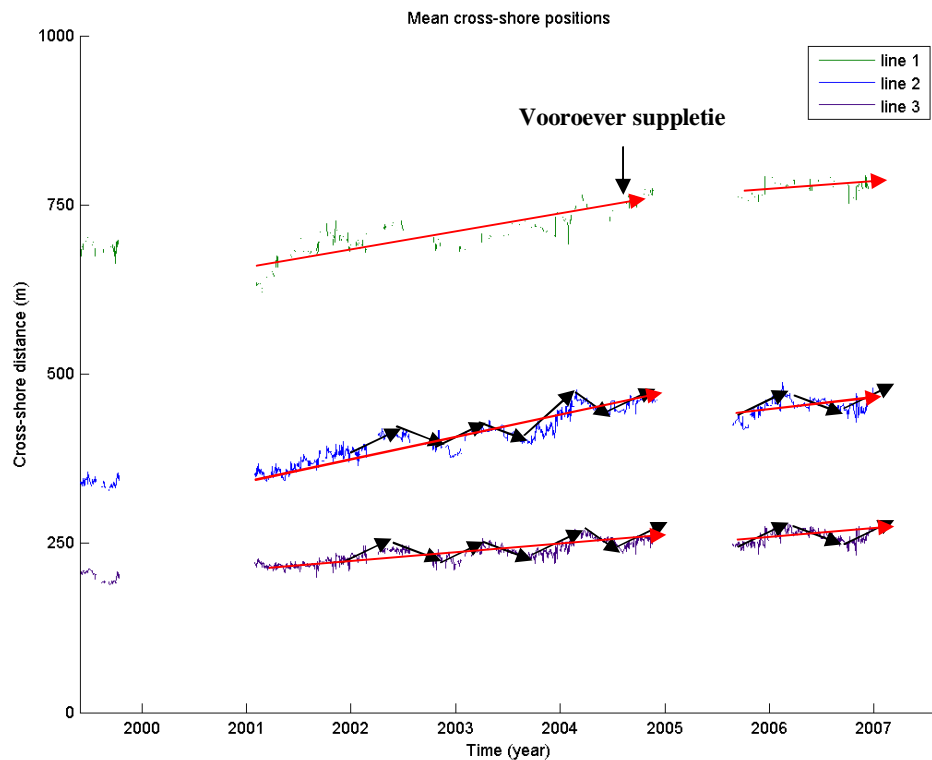
In 2004 is zeer sterk het effect van de in 2004 uitgevoerde vooroever suppletie te zien in het kustdwarse gedrag van de middelste bank. De zeewaartse migratie keert om naar landwaarts en het seizoenspatroon wordt minder sterk dan voor de suppletie. De buitenste bank stopt na de suppletie met zeewaarts te verplaatsen en blijft stabiel liggen. Het kustdwarse gedrag van de binnenste bank daarentegen lijkt niet beïnvloed te worden door het aanbrengen van de vooroever suppletie. De zeewaartse migratie blijft met hetzelfde tempo als voor de suppletie doorgaan.

In de gemiddelde bankposities in het Coast3D gebied is minder sterk de invloed van de vooroever suppletie van 2004 te zien. De zeewaartse migratie van de middelste bank wordt iets geremd, maar dit effect is minder duidelijk dan in Jan van Speijk.

op basis van Argus video waarnemingen



Figuur 18 Gemiddelden kustwarse bankposities van alle banklijnen in Argus station Jan van Speijk.



Figuur 19 Gemiddelden kustwarse bankposities van alle banklijnen in Argus station Coast3D.

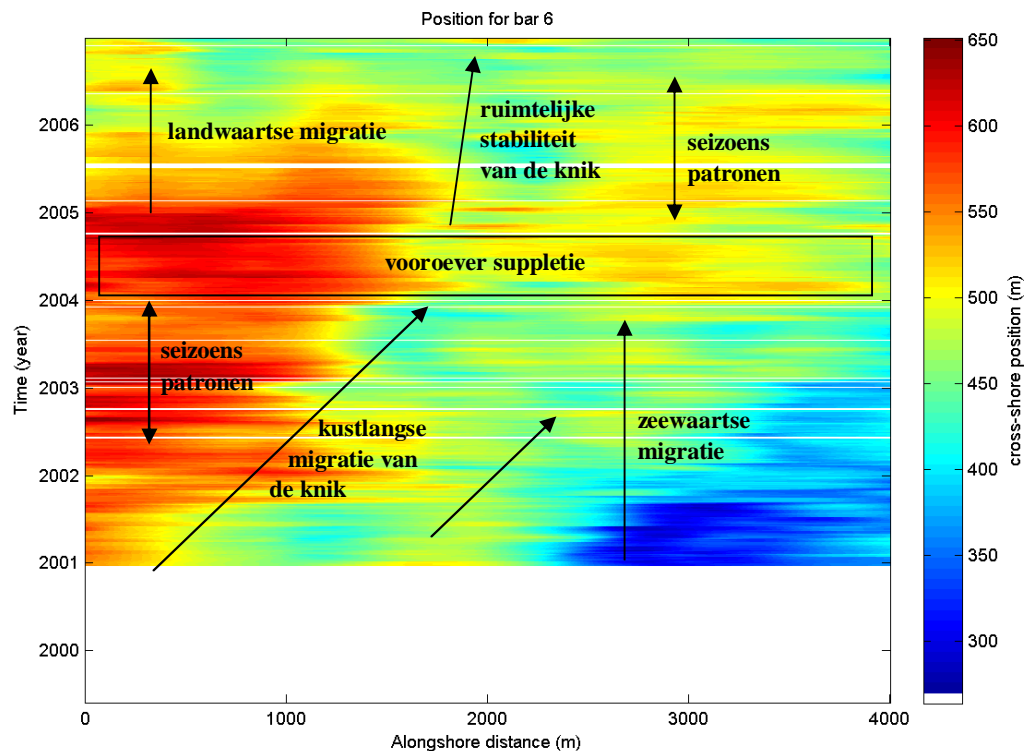
Op basis van de huidige dataset is het moeilijk om te bepalen wat de levensduur van een vooroever suppletie is. Er is een duidelijk effect aanwezig van de vooroever suppletie op het kustwarse gedrag van de middelste en buitenste banken, maar de periode na de vooroever suppletie is nog te kort om een uitdoving van dit veranderde gedrag, en daarmee een levensduur, te zien.

In appendix A, B, C en D zijn de gemiddelde bankposities bepaald voor verschillende deelgebieden. Hierin is te zien dat de deelgebieden hetzelfde gedrag laten zien als de gemiddelde bankpositie over de gehele gebieden. Wat ook opvalt is dat in meest zuidelijke gebied bij de Coast3D mast ook een invloed is te zien van de vooroeversuppletie, terwijl deze daar niet voor de kust ligt. Het effect van de vooroeversuppletie strekt dus kustlangs verder dan het gebied waar deze geplaatst is, in ieder geval 2 km ten zuiden van het zuidelijke einde van de vooroeversuppletie bij Egmond in 2004.

4.2.2 Gedrag middelste bank

De kustwarse positie van de middelste bank ten opzichte van de gemiddelde positie over het hele kustlangse gebied rond station Jan van Speijk (4 km) is in kleurcodes afgezet tegen de tijd (zie Figuur 20). In de figuur zijn de kustlangse verschillen in kustwarse positie te zien, welke een verschil in banken dynamiek vertonen tussen het noordelijk en het zuidelijk deel. Over het algemeen zijn er in de hele kustlangs seizoenspatronen te zien.

Voor de suppletie van 2004 is er in het noordelijk deel een knik te zien in de bank, met ten noorden van de knik een zeewaartse positie en ten zuiden van de knik een landwaartse positie. Deze knik verplaatst zich langzaam kustlangs naar het zuiden met een snelheid van ca. 550 m per jaar. In het zuidelijk deel treedt er een zeewaartse migratie op van de bank. Na de suppletie van 2004 is te zien dat de kustlangse migratie van de knik in het noordelijk deel ophoudt en dat deze op zijn plaats blijft liggen. Het noordelijk deel begint landwaarts te migreren, waardoor de knik in 2006 zelfs helemaal verdwijnt en de bank kustlangs recht trekt.

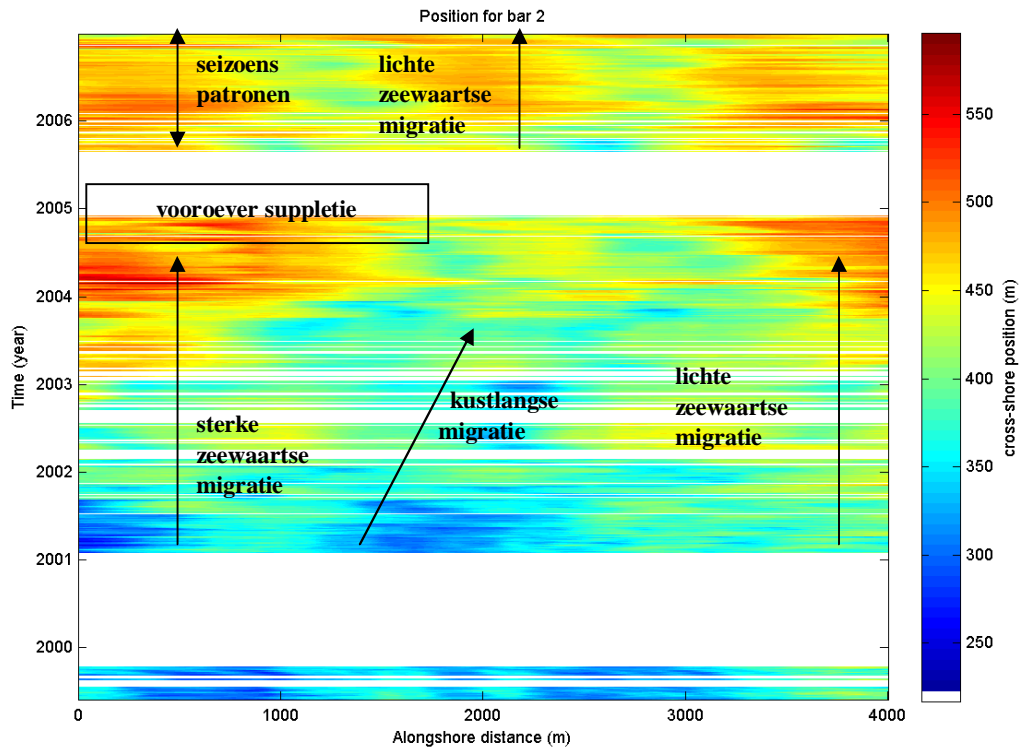


Figuur 20 Kustdwarse positie van de middelste bank in het Jan van Speijk station over het hele kustlangse gebied rond het station (4 km) in kleurcodes afgezet tegen de tijd. In de waarden van het kleurspectrum is de positieve as naar zee gericht. De data zijn geplotted in een lokaal assenstelsel, het station heeft een kustlangse positie van 2000 m met het noorden richting 0 m en het zuiden richting 4000 m.

De ontwikkeling van de kustdwarse positie van de middelste bank ten opzichte van de gemiddelde positie over de hele kustlangs in station Coast3D is te zien in Figuur 21. Vóór de vooroever suppletie van 2004 gedraagt de bank zich anders dan na de suppletie. In 2001 ligt de bank in het noorden iets meer kustwaarts dan in het zuiden. De zeewaartse migratie die over de hele bank optreedt is echter in het noorden sterker dan in het zuiden, dus dit deel haalt het zuidelijk deel als het ware in, zodat vanaf 2003 het noordelijk deel meer zeewaarts ligt dan het zuidelijk deel. Er zit een lichte zuidwaartse migratie van de knik in de ontwikkeling. In het kustlangse gebied is een grote kustdwarse variabiliteit te zien met veel variatie in de tijd.

Na het aanbrengen van de vooroever suppletie (2004) wordt de zeewaartse migratie van het

noordelijk deel zwakker en krijgt deze dezelfde grootte als de migratie in het zuidelijk deel.



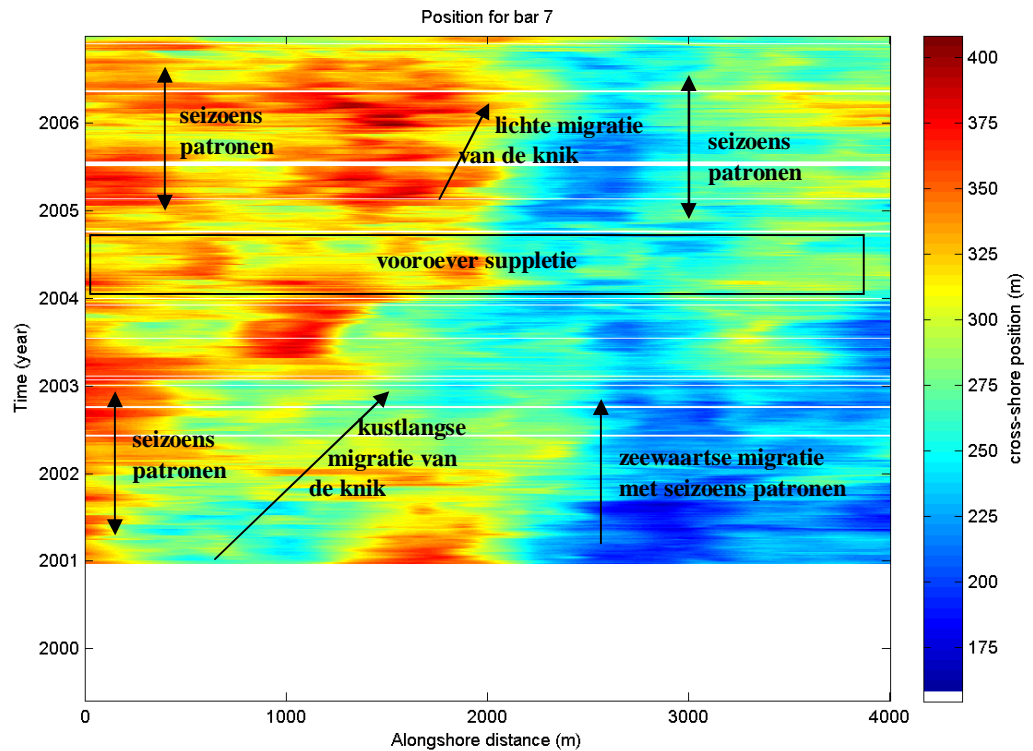
Figuur 21 Kustdwarse positie van de middelste bank in het Coast3D station over de hele kustlangs in kleurcodes afgezet tegen de tijd. In de waarden van het kleurspectrum is de positieve as naar zee gericht. De data zijn geplotted in een lokaal assenstelsel, het station heeft een kustlangse positie van 2000 m met het noorden richting 0 m en het zuiden richting 4000 m.

4.2.3 Gedrag binnenste bank

In Figuur 22 is de kustdwarse positie van de binnenste bank ten opzichte van de gemiddelde positie over de hele kustlangs in station Jan van Speijk in kleurcodes afgezet tegen de tijd. Algemeen is op te merken dat er voor het aanbrengen van de vooroever suppletie in 2004 een hoge correlatie te zien is tussen de dynamiek van de binnenste bank en die van de middelste bank. Wederom is te zien dat de bank zich in het noorden en in het zuiden verschillend gedraagt. De knik in het noorden is ook in de binnenste bank aanwezig en migreert tot 2003 zuidwaarts. Over het hele gebied is er een zeewaartse migratie van de bank te zien.

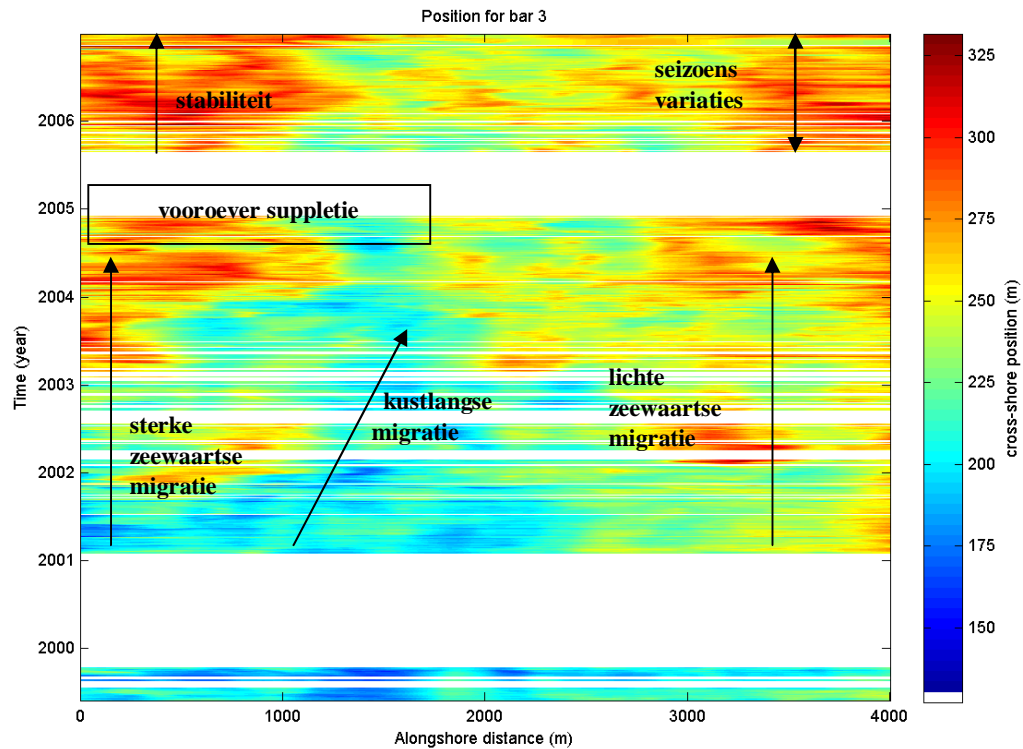
Na het aanbrengen van de vooroever suppletie in 2004 stabiliseert de knik zich en migreert deze slecht nog een weinig langs te kust zuidwaarts. De zeewaartse migratie van de bank blijft doorgaan en er blijft een sterke seizoensvariatie in de positie van de bank aanwezig. Er lijkt weinig effect te zijn van de uitgevoerde suppletie, behalve dat de binnenste bank in het noorden na het aanbrengen van de strandsuppletie in 2005 verder zeewaarts wil gaan liggen.

op basis van Argus video waarnemingen



Figuur 22 Kustdwarse positie van de binnenste bank in het Jan van Speijk station over de hele kustlangs in kleurcodes afgezet tegen de tijd. In de waarden van het kleurenspectrum is de positieve as naar zee gericht. De data zijn geplot in een lokaal assenstelsel, het station heeft een kustlangse positie van 2000 m met het noorden richting 0 m en het zuiden richting 4000 m.

Ook bij de banken voor het Coast3D station (zie Figuur 23) is er een grote overeenkomst tussen het gedrag van de middelste en de binnenste bank, met een sterke zeewaartse migratie in het noordelijke deel en een lichtere zeewaartse migratie in het zuidelijk deel in de periode voor de vooroever suppletie van 2004. Na het aanbrengen van de suppletie is te zien dat de binnenste bank zich stabiliseert en dat de seizoensvariaties overheersen.

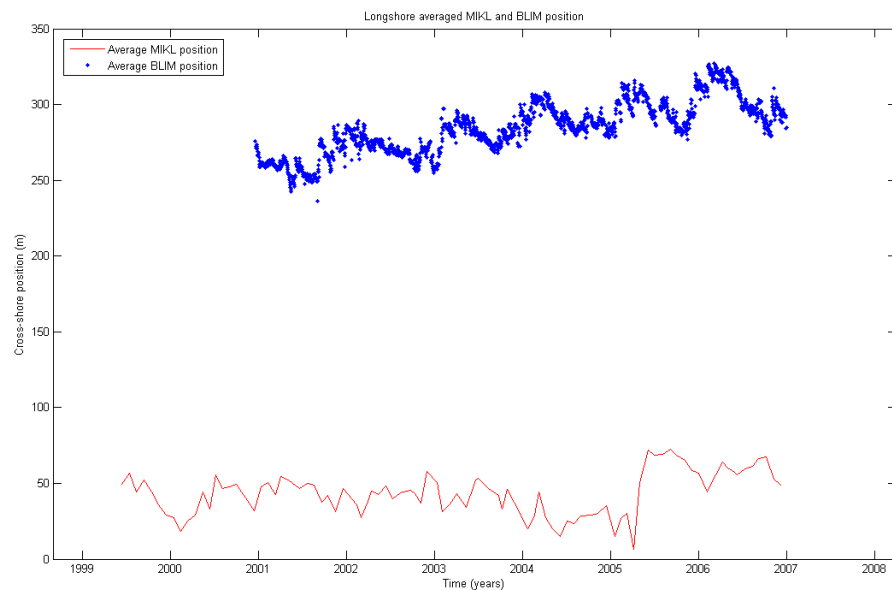


Figuur 23 Kustdwarse positie van de binnenste bank in het Coast3D station over de hele kustlangs in kleurcodes afgezet tegen de tijd. In de waarden van het kleurenspectrum is de positieve as naar zee gericht. De data zijn geplotted in een lokaal assenstelsel, het station heeft een kustlangse positie van 2000 m met het noorden richting 0 m en het zuiden richting 4000 m.

4.3 Relatie banken en intergetijdestrand

In de voorgaande hoofdstukken is de ontwikkeling van het intergetijdestrand los bekeken van de ontwikkeling van de banken in het subgetijdegebied. Er bestaan ideeën dat bij een meer landwaarts gelegen bank de top van deze bank hoger ligt. Op deze bank zou dan, bij hoge inkomende golven, meer golfenergie dissiperen, zodat het strand beter beschermd blijft in dit gebied. Er zou dan dus een correlatie moeten bestaan tussen de hoogte en/of de positie van de binnenste bank met het intergetijddevolume. In Van Rijn et al. (2002) wordt op stormtijdschaal een duidelijke relatie aangetoond tussen de hoogte van de binnenste bank en het strandprofiel. Quartel & Grasmeijer (2007) hebben geen duidelijke relatie kunnen aantonen tussen de hoogte en ligging van de binnenste brekerbank en het strandvolume in Egmond aan Zee. Omdat we in de huidige studie enkel informatie hebben over de positie van de binnenste bank en niet over de hoogte van de bank, zullen we de relatie tussen de positie van de binnenste bank en het intergetijddevolume nader bekijken.

op basis van Argus video waarnemingen



Figuur 24 Kustlangs gemiddelde positie van de binnenste bank (blauw) en van de MIKL (rood) in het gebied Jan van Speijk.

In Figuur 24 is de kustlangs gemiddelde positie van de binnenste bank getoond, samen met de kustlangs gemiddelde positie van de MIKL. In de positie van de bank is de zeewaartse migratie te zien op een termijn van jaren. Op seizoensschaal zijn ook de seizoensvariaties te zien. In de ontwikkeling van de MIKL is duidelijk de strandsuppletie van 2005 te zien. Deze is echter niet duidelijk terug te vinden in de ontwikkeling van de binnenste bank. Verder is de MIKL redelijk constant met een lichte teruggang door de jaren, welke zich na de strandsuppletie voortzet. Op basis van deze data zien we geen duidelijk verband tussen het gedrag van het intergetijdestrand en de locatie van de binnenste bank.

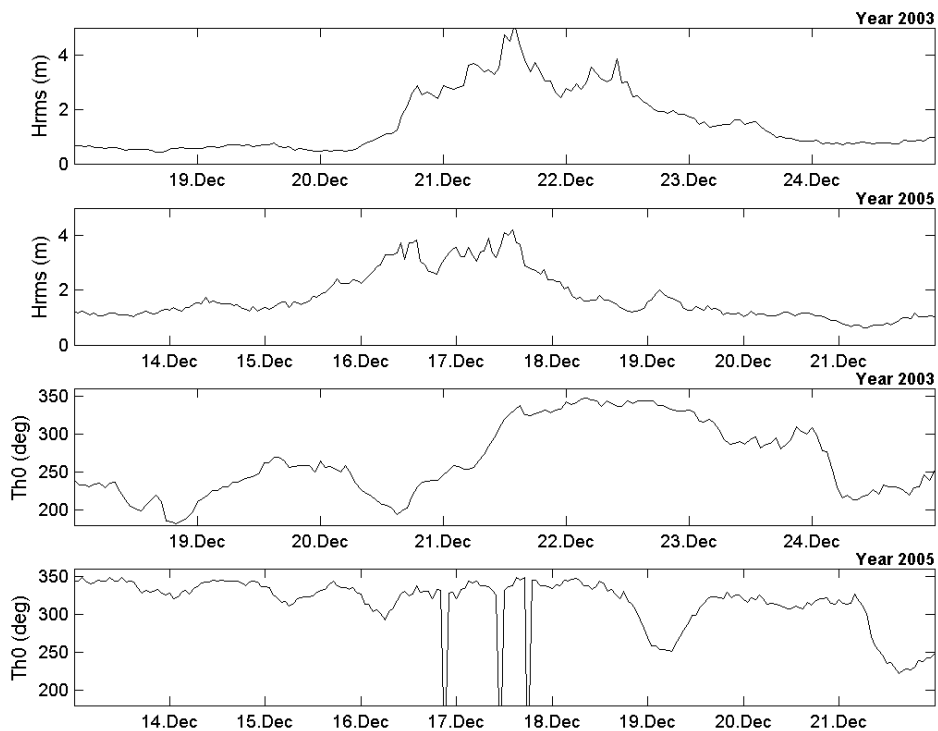
4.4 Koppeling morfodynamica met hydrodynamische informatie

Bij de analyse van de banken en het intergetijdestrand is op de achtergrond rekening gehouden met de optredende golfcondities gedurende de studieperiode (zie § 2.3). Om beter in detail te begrijpen wat er tijdens een storm gebeurt op het intergetijdestrand en in het subgetijde gebied is er voor gekozen om twee stormen nader te bekijken. De eerste storm die geanalyseerd is trad op in december 2003, dus vóór de tweede vooroeversuppletie van juni 2004. De tweede storm die geanalyseerd is trad op in december 2005, dus na de tweede vooroeversuppletie en de strandsuppletie van juni 2005.

Tijdens beide stormen traden ongeveer dezelfde condities op. Beide stormen zijn de eerste grote storm sinds twee weken, dus de condities voor het optreden van beide stormen waren twee weken lang zwak te noemen. Hierdoor hebben de banken in beide gevallen genoeg kans gehad om sinds de vorige storm weer in een evenwichtspositie terug te keren. Voor een overzicht van de bankenontwikkeling in de periode voor het optreden van de stormen wordt verwezen naar de website www.wldelft.nl/argus. Hier zijn alle samengevoegde beelden te

vinden voor de gehele studieperiode met een interval van één uur.

De gemiddelde golfhoogte H_{rms} lag tijdens beide stormen rond 4 m en de storm hield in beide gevallen ongeveer twee dagen aan. Wel trad er bij de storm in 2003 een grote piek op met een golfhoogte van bijna 5 m. Deze piek hield echter niet lang aan, waarna de golfhoogte weer zakte naar ongeveer 3 m. De storm in 2005 laat een meer constante golfhoogte zien. De richting verschilt iets tussen beide stormen, met een west-noordwestelijke golfrichting tijdens de storm in 2003 en een overheersend noordwestelijke richting tijdens de storm in 2005. Opgemerkt dient te worden dat er ook een verschil is in de condities vóór de beide stormen. Voor de storm in december 2003 lag de gemiddelde golfhoogte rond 0.7 m. In december 2005 lag deze golfhoogte gemiddeld rond 1.1 m. Ook was de stormopzet verschillend, de maximale waterstand bij de 2003 storm was 2.2 m en de maximale waterstand in december 2005 was 1.9 m. Dit kan effect hebben op de respons hoger in het intergetijdeprofiel.



Figuur 25 Condities tijdens de stormen in december 2003 en december 2005. De bovenste twee figuren geven de golfhoogte H_{rms} weer in december 2003 en 2005. De onderste twee figuren geven de golfrichting Th_0 weer in december 2003 en 2005 ten opzichte van het noorden.

Voor beide stormen is er een intergetijdebodem uit Argus gegenereerd van vóór de storm en van na de storm, dus vier bodems in het totaal. Daarnaast zijn de gemergde Argus beelden beschikbaar die zijn gebruikt voor de analyse van de banken.

Storm	Datum bathymetrie	Karakteristieken
December 2003	18 en 19	Vóór de storm, vóór de suppleties
December 2003	24 en 25	Na de storm, vóór de suppleties
December 2005	13 en 14	Vóór de storm, na de suppleties
December 2005	21 en 22	Na de storm, na de suppleties

Tabel 3 Argus intergetijdebodems gegenereerd voor de analyse van de effecten van stormen in combinatie met suppleties op het intergetijdestrand.

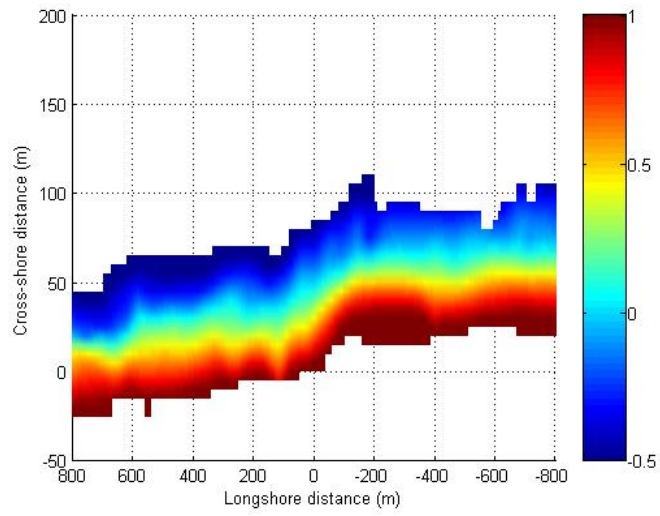
4.4.1 Storm december 2003 vóór suppleren

De intergetijdebodems van voor en na de storm in december 2003 (Figuur 27 en Figuur 29) laten zien dat de waterlijn op $z = 0$ m niet sterk beïnvloed is door de opgetreden storm. De grootste verandering die te zien is, is dat het profiel van het intergetijdestrand iets minder steil is geworden na de storm. Vooral in het noorden is dit het geval, waardoor het hoogste deel van het intergetijdestrand rechter trekt in kustlangse richting.

De positie van de banken is vrijwel gelijk in de situatie voor en na de storm (Figuur 26 en Figuur 28). De bifurcatie net ten noorden van het station is iets naar het zuiden verschoven, wat veroorzaakt kan zijn door de golfrichting (noordwestelijk). Wellicht is de golfdoordringing ter plekke van de bifurcatie minder gedempt door de bank, wat een verklaring zou kunnen zijn voor de sterke verandering in de steilheid van het intergetijdestrand in dit gebied ($y = -100$ m). Over het algemeen is op basis van deze data te zeggen dat het sterkste effect van de storm op een niet gesuppleerd strand te vinden is in het platter worden van het intergetijdeprofiel.



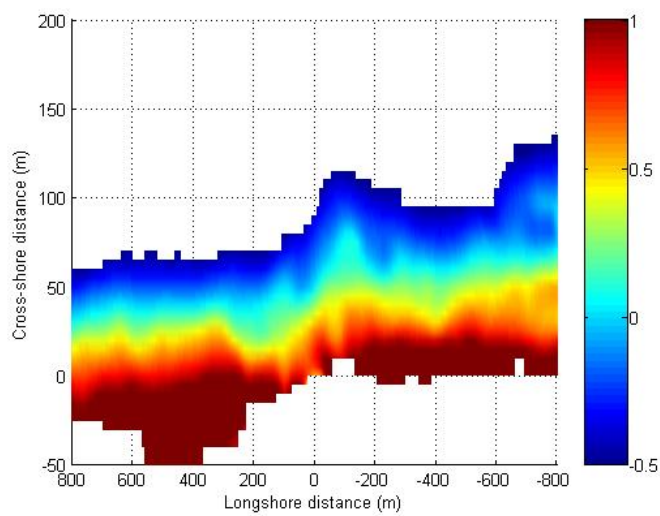
Figuur 26 Argus merge op 16 december 2003 bij laagwater (getijniveau = -0.92m).



Figuur 27 Intergetijdebodem uit Argus van 18/19 december 2005 (vóór de storm, vóór de suppleties).



Figuur 28 Argus merge op 23 december 2003 bij laagwater (getijniveau = -0.83m).



Figuur 29 Intergetijdebodem uit Argus van 24/25 december 2003 (na de storm, vóór de suppleties).

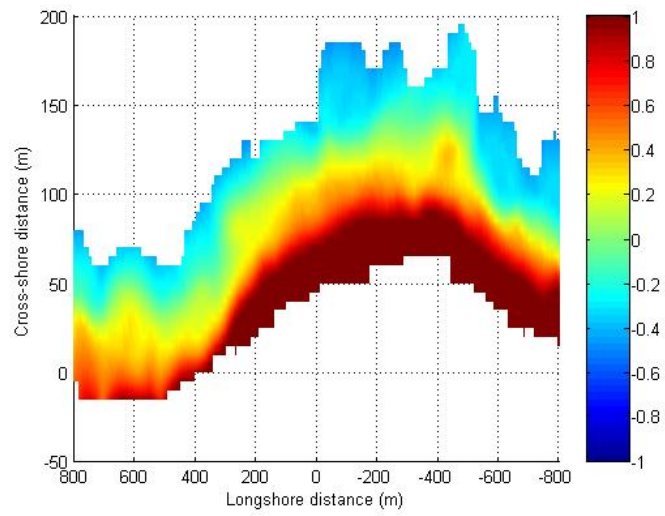
4.4.2 Storm december 2005 na suppleren

Het intergetijdestrand voor de storm in december 2005 ziet er heel anders uit dan het strand voor de storm in december 2003. Het strand vertoont een gekromde vorm in de kustlans met een hotspot in het zuiden en een uitbouw in het centrale/noordelijke deel van het gebied. Na de storm is het intergetijdestrand steiler geworden, vooral in het zuidelijk gebied bij de hotspot. De waterlijn op $z = 0$ m is licht teruggetrokken in het centraal en noordelijk gebied. De banken vertonen voor en na de storm een gelijk beeld, met een golvende vorm in de kustlans. Over het algemeen is op basis van deze data te zeggen dat het effect van de storm na suppleren versteilend is in het intergetijdegebied. Dit kan erop duiden dat de banken een sterkere dempende werking hebben door de suppletie, wat resulteert in een versteiling van het intergetijdestrand (met name ter plekke van de hotspot) in plaats van het platter worden van het profiel door golfaanval.

Er is een verschil in stormopzet tussen de 2003 en 2005 stormen. Bij de 2005 storm is de stormopzet lager, het afvlakken van het strand door golfaanval gebeurt dus over een kleiner kustdwars gebied dan bij de 2003 storm. In het intergetijdegebied treedt dus lager in het profiel klifvorming op dan bij een hogere stormopzet, wat een versteiling van het intergetijdegebied als gevolg heeft in het bovenste deel van het natte strand. In de analyse in dit hoofdstuk is echter alleen naar de intergetijdebodem tussen NAP-1 m en NAP+1 m gekeken. Bij beide stormen is dit deel van het strand onderhevig aan golfaanval.



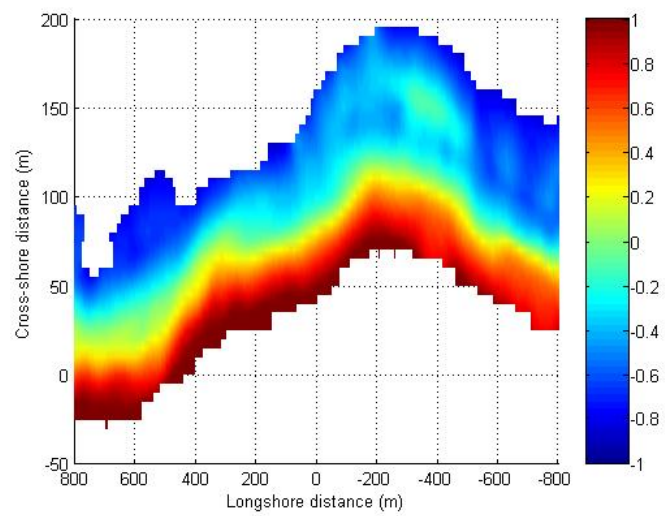
Figuur 30 Argus merge op 13 december 2005 bij laagwater (getijniveau = -0.76m).



Figuur 31 Intergetijdebodem uit Argus van 13/14 december 2005 (vóór de storm, na de suppleties).



Figuur 32 Argus merge op 20 december 2005 bij laagwater (getijniveau = -0.96m).



Figuur 33 Intergetijdebodem uit Argus van 21/22 december 2005 (na de storm, na de suppleties).

4.4.3 Verschil in bankendynamiek

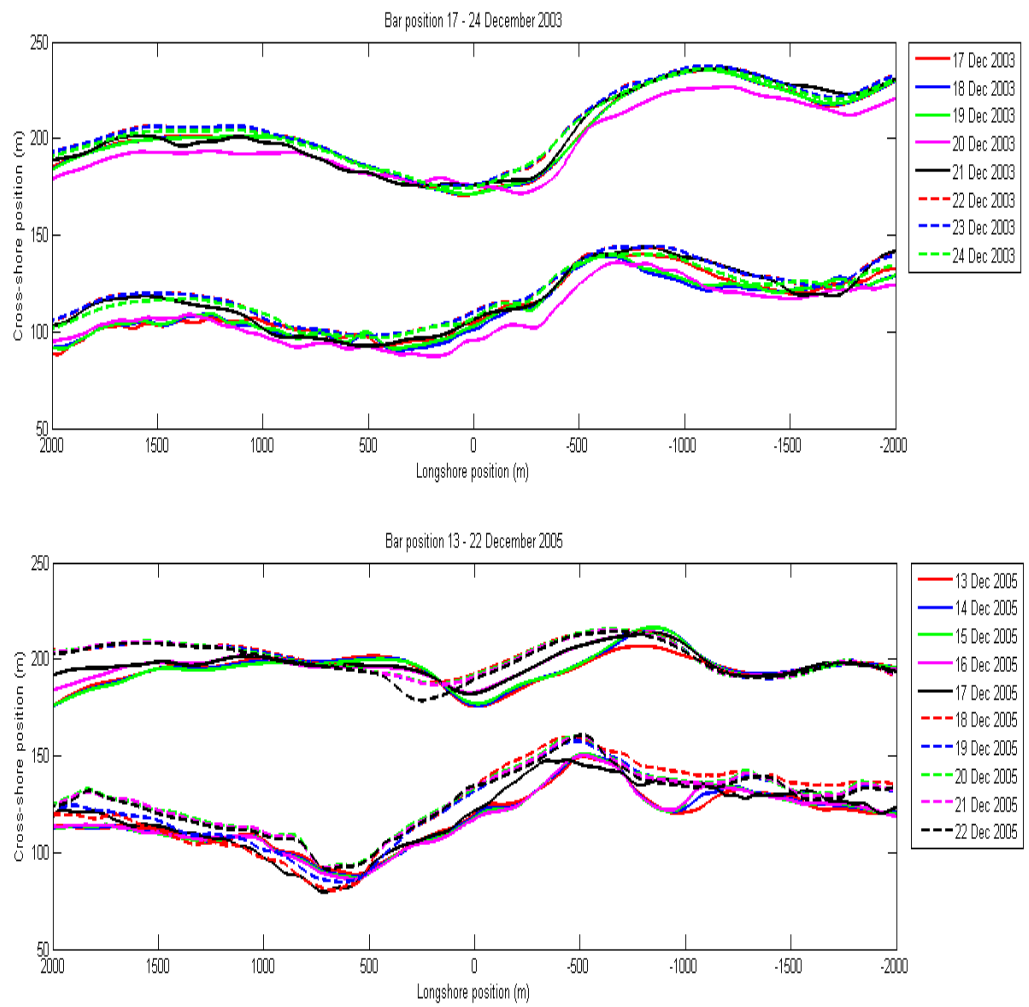
In detail is nog eens gekeken naar de beweging van de banken tijdens de twee stormen. Dit is mogelijk doordat er bijna dagelijks een bankenpositie is bepaald uit Argus voor de gehele studie periode. De bankenposities tijdens de twee stormen zijn getoond in Figuur 34.

Voor de storm in december 2003 geldt dat er in de dagen voor de storm (17 t/m 20) een landwaartse migratie te zien is van beide banken. Aan het begin van de storm (20 t/m 21) treedt er een zeer snelle respons op met migratie zeewaarts. Dit is vooral te zien in de binnenste bank, waar het gedrag sterk bepaald wordt door het inkomende golfklimaat. Ook de buitenste bank toont deze snelle respons, vooral in het noordelijk gebied is deze te zien. In de dagen na de storm (22 t/m 24) blijven de banken op hun plaats liggen, zodat de situatie voor en na de storm vrijwel gelijk is aan elkaar. Er lijken geen kustlangse verschuivingen op te treden, wat samenvalt met het feit dat de golven bij deze storm tijdens de golfhoogtepiek vrijwel loodrecht op de kust invallen (west). Pas daarna draait de richting naar het noordwesten.

Tijdens de storm in december 2005 is het beeld chaotischer. In de dagen voor de storm (13 t/m 16) liggen de banken stabiel op hun plaats, waarbij de buitenste bank ongeveer 40 m meer landwaarts ligt dan in december 2003 (migratie veroorzaakt door de vooroever-suppletie, zie § 4.2.2). Tijdens de storm (16 t/m 18) treedt er in de binnenste bank een zeewaartse migratie op in het noorden en centrale deel welke gradueler verloopt dan in 2003. Dit kan te maken hebben met de opbouw van de storm (piek in begin bij storm 2003, constante storm in 2005). In het noorden trekt de binnenste bank recht tijdens de storm, in het zuiden loopt de bank iets naar binnen. De buitenste bank is in deze dagen constant in het noorden en vertoont in het centrale deel vooral een zuidwaartse verschuiving van de kustlangse golfvorm. In het zuiden loopt de buitenste bank tijdens de storm naar buiten. In de dagen na de storm (18 t/m 22) zijn beide banken redelijk constant in hun positie. Ten opzichte van de situatie voor de storm is de binnenste bank in het noorden rechtgetrokken. De buitenste bank is in het centrale deel kustlangs verschoven naar het zuiden. Dit kan veroorzaakt zijn door de persistente golfrichting uit het noordwesten.

Het grootste verschil in stormrespons van de banken vóór en na suppleren ligt in het chaotische gedrag van de binnenste bank. Het is niet met zekerheid te zeggen dat dit gedrag veroorzaakt is door de vooroever- en/of strandsuppletie.

op basis van Argus video waarnemingen



Figuur 34 Posities van de binnenste en buitenste bank bij station Jan van Speijk gedurende de stormen in december 2003 (bovenste figuur) en december 2005 (onderste figuur).

5 Conclusies

Uit de uitgevoerde studie zijn verschillende conclusies te trekken, welke in de volgende paragrafen op een rijtje zijn gezet. De conclusies zijn opgesplitst per analyse onderdeel.

5.1 Effect van suppleties op het intergetijdestrand

- Het intergetijdestrand in het gebied bij Jan van Speijk streeft telkens naar dezelfde oorspronkelijke vorm in kustlangse richting met een hotspot in het zuiden en een uitbouw centraal en in het noorden.
- De tweede vooroeversuppletie (met een groter volume dan de eerste) in combinatie met een strandsuppletie heeft een stabiliserend effect gehad op het intergetijdvolume.
- Er is sterke seizoensvariabiliteit te zien in de intergetijdvolumina (orde $40 \text{ m}^3/\text{m}$).
- In juni 2001 is er geen positief effect op de strandstabiliteit meer te zien van de vooroeversuppletie (1999) en de strandsuppletie (2000).
- In juni 2006 is er wel degelijk een positief effect te zien van de vooroeversuppletie (2004) met de strandsuppletie (2005) op de strandbreedte en stabiliteit.
- Het verschil in gedrag tussen de eerste en tweede combinatie van vooroeversuppletie en strandsuppletie kan veroorzaakt zijn door een milder golfklimaat bij de tweede combinatie en door de verschillende geometrieën van de suppleties. Hierbij is het grootste verschil aanwezig in de vooroever suppleties, waarbij de tweede vooroever suppletie bijna twee keer zo lang was als de eerste.
- De kustdwarse dynamiek is dominant boven de kustlangse effecten in de veranderingen in de intergetijdvolumina. Daarbij spelen golfcondities tijdens een seizoen een belangrijke rol in deze dynamiek. Een winterseizoen met veel zware stormen laat veel sterkere erosie zien dan een winterseizoen met minder zware stormen.
- Er is een grote positieve correlatie aanwezig tussen het gedrag van het intergetijdvolume en dat van de kustlijn positie.
- Gemiddeld ligt de langjarige variatie van het intergetijdestrand in het gebied bij Jan van Speijk in de orde 20 à $40 \text{ m}^3/\text{m}$. Dit ligt in de orde van de seizoensvariabiliteit die te zien was in de uit Argus berekende intergetijd volumes. De variaties van jaar op jaar kunnen zeer goed veroorzaakt zijn door een verschil in condities in de meetperiodes van de verschillende jaren.
- De maximale langjarige variabiliteit in MIKL positie is ongeveer 50 m kustdwars. In de uit Argus afgeleide MIKL posities was een seizoensvariatie van deze orde te zien, dus een periode met zware golfcondities kan zorgen voor een dergelijke verschuiving.

5.2 Effect van suppleties op de banken dynamiek

- Het effect van de vooroeversuppletie strekt kustlangs verder dan het gebied waar deze geplaatst is, in ieder geval 2 km ten zuiden van het zuidelijke einde van de vooroeversuppletie bij Egmond in 2004.
- Jan van Speijk: In 2004 is zeer sterk het effect van de in 2004 uitgevoerde vooroever

suppletie te zien in het kustdwarse gedrag van de middelste bank. De zeewaartse migratie keert om naar landwaarts en het seizoenspatroon wordt minder sterk dan voor de suppletie. De buitenste bank stopt na de suppletie met zeewaarts te verplaatsen en blijft stabiel liggen.

- Jan van Speijk en Coast3D: Het kustdwarse gedrag van de binnenste bank lijkt niet beïnvloed te worden door het aanbrengen van de vooroever suppletie. De zeewaartse migratie blijft met hetzelfde tempo als voor de suppletie doorgaan.
- Op basis van de huidige dataset is het moeilijk om te bepalen wat de levensduur van een vooroever suppletie is. Er is een duidelijk effect aanwezig van de vooroever suppletie op het kustdwarse gedrag van de middelste en buitenste banken, maar de periode na de vooroever suppletie is nog te kort om een uitdoving van dit veranderde gedrag, en daarmee een levensduur, te zien.
- Jan van Speijk: De middelste bank vertoont vóór de vooroeversuppletie (2004) een hoge kustlangse variabiliteit in kustdwarse positie, maar na de suppletie is de kustdwarse positie stabiel.
- Jan van Speijk: Na het aanbrengen van de vooroever suppletie (2004) wordt de zeewaartse migratie van het noordelijk deel zwakker en krijgt deze dezelfde grootte als de migratie in het zuidelijk deel. De kustdwarse variabiliteit wordt in het hele kustlangse gebied kleiner en de variaties worden stabiel (blijven op hun plaats liggen).
- Algemeen is op te merken dat er vóór het aanbrengen van de vooroever suppletie in 2004 een hoge correlatie te zien is tussen de dynamiek van de binnenste bank en die van de middelste bank.
- Jan van Speijk: Er lijkt weinig effect te zijn van de uitgevoerde suppletie, behalve dat de binnenste bank in het noorden na het aanbrengen van de strandsuppletie in 2005 verder zeewaarts wil gaan liggen. Ten opzichte van de middelste bank vertoont de binnenste bank een zeer hoge kustdwarse variabiliteit met kleinschalige variaties. Er is geen duidelijk effect te zien van de suppleties op deze variabiliteit van de binnenste bank.
- Coast3D: Er is een grote overeenkomst tussen het gedrag van de middelste en de binnenste bank, met een sterke zeewaartse migratie in het noordelijke deel en een lichtere zeewaartse migratie in het zuidelijk deel in de periode voor de vooroever suppletie van 2004. Na het aanbrengen van de suppletie is te zien dat de binnenste bank zich stabiliseert en dat de seizoensvariaties overheersen.

5.3 Koppeling hydrodynamische data, intergetijdestrand en banken

- Er is op basis van de huidige data geen duidelijk verband aan te tonen tussen het gedrag van het intergetijdestrand en de locatie van de binnenste bank.
- Wellicht is de golfdoordringing ter plekke van de bifurcatie minder gedempt door de bank, wat een verklaring zou kunnen zijn voor de sterke verandering in de steilheid van het intergetijdestrand in dit gebied ($y = -100$ m).
- Het sterkste effect van een individuele storm op een niet gesuppleerd strand is te vinden in het afvlakken van het intergetijdeprofiel.
- Na suppleren zien we dat het intergetijdegebied na een storm steiler is geworden in plaats van vlakker. Dit kan erop duiden dat de banken een sterkere dempende werking hebben door de suppletie, wat resulteert in een versteiling van het intergetijdestrand

(met name ter plekke van de hotspot) in plaats van het afvlakken van het profiel door golfaanval.

- Het grootste verschil in stormrespons van de banken vóór en na suppleren ligt in het chaotische gedrag van de binnenste bank. Het is niet met zekerheid te zeggen dat dit gedrag veroorzaakt is door de vooroever- en/of strandsuppletie.

5.4 Beantwoorden van de onderzoeksvragen

In deze paragraaf wordt teruggekomen op de onderzoeksvragen die zijn gedefinieerd in § 1.4. Op basis van de uitgevoerde analyse en de getrokken conclusies wordt geprobeerd de onderzoeksvragen zo compleet mogelijk te beantwoorden.

1. *Wat is het effect van de twee typen suppleties op het intergetijdestrand volume en de strandbreedte?*

a) *Is het zogenaamde zaagtand concept terug te herkennen in de intergetijde volume en strandbreedte ontwikkelingen?*

Twee jaar na de eerste vooroeversuppletie (1999) en strandsuppletie (2000) is er geen positief effect meer te zien in het intergetijdestrandvolume en strandbreedte. Twee jaar na de tweede vooroeversuppletie (2004) en strandsuppletie (2005) is er wel een duidelijk positief effect te zien. Het verschil in respons ligt waarschijnlijk in een combinatie van mildere golfcondities en een groter volume van de vooroeversuppletie in het tweede geval. Het zaagtand concept is niet duidelijk te herkennen in de ontwikkeling van intergetijdevolume en strandbreedte, want de seizoensvariaties zijn zo sterk dat deze het beeld verstoren.

2. *Wat is het effect van de twee typen suppleties op het bankgedrag?*

a) *Zijn effecten van de suppleties terug te zien in het bankgedrag in de vorm van trendbreuken?*

b) *Hebben strandsuppleties ook een effect op het bankgedrag?*

c) *Hoe snel streeft het systeem naar een nieuw dynamisch evenwicht na een suppletie?*

Vooroeversuppleties hebben het sterkst een effect op de positie van de middelste bank. Bij het dorp Egmond keert de zeewaartse migratie bij beide vooroeversuppleties om naar een landwaartse migratie. Bij de eerste vooroeversuppletie is dit effect 1.5 tot 2 jaar zichtbaar. Bij de tweede vooroeversuppletie is het effect nog niet uitgewerkt en is dus niet te zeggen hoe lang het duurt voordat er weer evenwicht is. Aan de zuidelijke kant van de vooroeversuppletie is het effect minder sterk en wordt de zeewaartse migratie enkel afgeremd en tijdelijk tot stilstand gebracht. De buitenste bank laat een soortgelijk gedrag zien, maar dan minder sterk. Er is geen duidelijke relatie te zien tussen het gedrag van het intergetijdestrand en het bankgedrag. Strandsuppleties lijken geen effect te hebben op het bankgedrag.

3. *Hoe lang hebben suppleties effect, wat is de levensduur mbt bankgedrag, intergetijdestrand en strandbreedte?*

a) *Vanuit de basissituatie, hoe lang duurt het voordat deze situatie na suppleties weer is 'hersteld'? → zaagtandhypothese*

b) *Wat is een zinnige frequentie voor suppleren bij Egmond?*

De levensduur van de eerste vooroeversuppletie (1999) mbt het bankgedrag bedraagt 1.5 tot 2 jaar, daarna keren de banken weer terug naar hun oorspronkelijke gedrag van zeewaartse

migratie. De levensduur van de tweede vooroeversuppletie (2004) mbt het bankgedrag is nog niet te bepalen, omdat het effect op de banken nog niet lijkt te zijn uitgewerkt. De levensduur van de strandsuppleties is moeilijk te bepalen uit de huidige data, omdat seizoensvariaties sterk zijn en deze een eventuele zaagtand vorm verstoren. Een zinnige frequentie van suppleren is sterk afhankelijk van de geometrie en het volume van de suppletie. In deze studie is een beperkt aantal suppleties in detail bekeken en is er dus geen eenduidig antwoord te geven op deze vraag. Indien een suppletie met dezelfde geometrie en volume als de vooroeversuppletie van 1999 wordt toegepast is een zinnige frequentie van suppleren 1 keer per 2 jaar. In het geval van een vooroeversuppletie met een vergelijkbare geometrie en volume als de suppletie in 2004 kan gezegd worden dat de frequentie voor suppleren kleiner zal zijn dan 1 keer per 2 jaar. Toekomstige monitoring zal exacter uitwijzen wat de frequentie voor suppleren bij dat volume dient te zijn.

4. *Hoe gedragen de twee typen suppleties zich onder invloed van stormcondities?*

- a) *Wat gebeurt er met de suppleties en het bankensysteem in geval van storm condities?*
- b) *Wat is het effect op de levensduur van suppleties?*
- c) *Zijn er meer of minder zinnige seizoenen om te suppleren?*

De banken lijken een sterkere dempende werking te hebben door de suppletie, wat resulteert in een versteiling van het intergetijdestrand in plaats van het afvlakken van het intergetijdestrand door golfaanval. Het grootste verschil in stormrespons van de banken vóór en na suppleren ligt in het chaotische gedrag van de binnenste bank na suppleren. Het is niet met zekerheid te zeggen dat dit gedrag veroorzaakt is door de vooroever- en/of strandsuppletie. Op stormtijdschaal is het effect op de ontwikkeling van de banken en het intergetijdestrand niet significant, echter cumulatief is het effect op seizoensschaal wel sterk terug te herkennen in de ontwikkeling in meerjarige tijdreeksen. Op basis van de huidige data is geen advies te geven over een zinnig seizoen om te suppleren met het oog op de respons van het bankensysteem. Het kiezen van het suppletieseizoen zal voor nu dus voornamelijk afhangen van operationele en logistieke aspecten.

5. *Hebben vooroeversuppleties een stabiliserend effect op strandsuppleties?*

De tweede combinatie van vooroeversuppletie (2004) en strandsuppletie (2005) toont een stabiel verloop van het intergetijdestrand naderhand dan de eerste combinatie. Om een stabiliserend effect te hebben op de strandsuppletie dient een vooroeversuppletie dus wel een bepaalde geometrie en minimaal volume te hebben. Dit minimale volume kan op basis van de huidige data niet exact bepaald worden, maar de volumes van de suppleties in 2004 en 2005 kunnen voor dit moment als minimum gehanteerd worden.

6. *Zijn er erosiehotspots (intergetijdegebied) en wat is het effect van suppleties op de erosiehotspots?*

- a) *Verminderen of verplaatsten de hotspots door de suppleties?*
- b) *Kan er op een zinnigere locatie worden gesuppleerd?*

Er is een erosiehotspot aanwezig ten zuiden van het dorp Egmond. Deze hotspot blijft gedurende de gehele studieperiode bestaan, ook al wordt er gesuppleerd. Strandsuppleties verminderen de hotspot tijdelijk, maar naarmate de tijd verstrijkt erodeert de hotspot weer tot de oorspronkelijke staat. Het strand lijkt een natuurlijke kustlangse vorm te hebben waar voortdurend naar teruggekeerd wordt, dus op lange termijn is suppleren geen oplossing om

de hotspot bij Egmond te elimineren. Omdat het kustlangse profiel zich op meerjarige termijn niet veel aan lijkt te trekken van de uitgevoerde suppleties is er geen invloed op de hotspot locatie uit te oefenen door een meer of minder zinnige locatie voor suppleren.

5.5 Vertaling naar richtlijnen

Voor wat betreft de reeds door RIKZ opgestelde richtlijnen (§1.3) zijn de volgende opmerkingen te maken:

- *Suppleer onder water. Het kustprofiel reageert snel op het aanbrengen van een suppletie rond de -5m NAP. Indien een suppletie van dezelfde grootteorde als de aanwezige banken aangelegd wordt op of vlakbij de locatie waar de meest zeevaartse bank verdwijnt, zullen in het eerste jaar na uitvoering banken en troggen landwaarts schuiven, met als netto resultaat een toename van het zandvolume in de ondiepe brandingszone en in de strand- en duinzone.*

Deze richtlijn wordt onderbouwd door de resultaten van deze studie. Inderdaad treedt er bij Egmond een landwaartse migratie op van de middelste bank na suppleren. Over het netto resultaat in zandvolume is geen uitspraak te doen op basis van de huidige data. Het feit dat vooroeversuppleties een sterker (positief) effect lijken te hebben op het systeem dan strandsuppleties, kan veroorzaakt worden doordat vooroeversuppleties over het algemeen een veel groter volume hebben dan strandsuppleties. Het is niet gezegd dat er bij het aanbrengen van eenzelfde volume op het strand minder effect te verwachten is dan van een vooroever suppletie met datzelfde volume.

- *Hou er bij het ontwerp rekening mee dat de positieve invloed van een suppletie van orde grootte 3 km zich uitstrekt tot (maximaal) zo'n 2 km ter weerszijden van de locatie. Afwijkend is het Waddengebied, zie hieronder bij Specifieke situaties.*

Inderdaad is geconcludeerd dat het effect van de vooroeversuppletie kustlangs verder strekt dan het gebied waar deze geplaatst is, in ieder geval 2 km ten zuiden van het zuidelijke einde van de vooroeversuppletie bij Egmond in 2004.

Op basis van de uitgevoerde studie zijn geen nieuwe, harde richtlijnen voor het suppletie ontwerp op te stellen. Hiervoor is de bestudeerde periode nog te kort en het aantal suppletie geometrieën te beperkt. Wel is op te merken dat er bij deze studie een persistente kustlangse vorm van het strand te zien was die na suppleren telkens terugkwam. Het is aan te bevelen om bij het ontwerpen van een suppletie rekening te houden met eventueel aanwezige persistente vormen in het strand.

De huidige studie zal vooral bijdragen aan het begrip van het systeem en aan de manier waarop er met data omgegaan moet worden. Doordat er met behulp van de Argus data een dichtere temporele resolutie is behaald, is er inzicht verkregen in de grote seizoensfluctuaties in de bankenligging en de intergetijdvolumes. Deze inzichten zullen bijvoorbeeld bijdragen aan de interpretatie van Jarkus data voor het evalueren van suppleties.

op basis van Argus video waarnemingen

6 Aanbevelingen

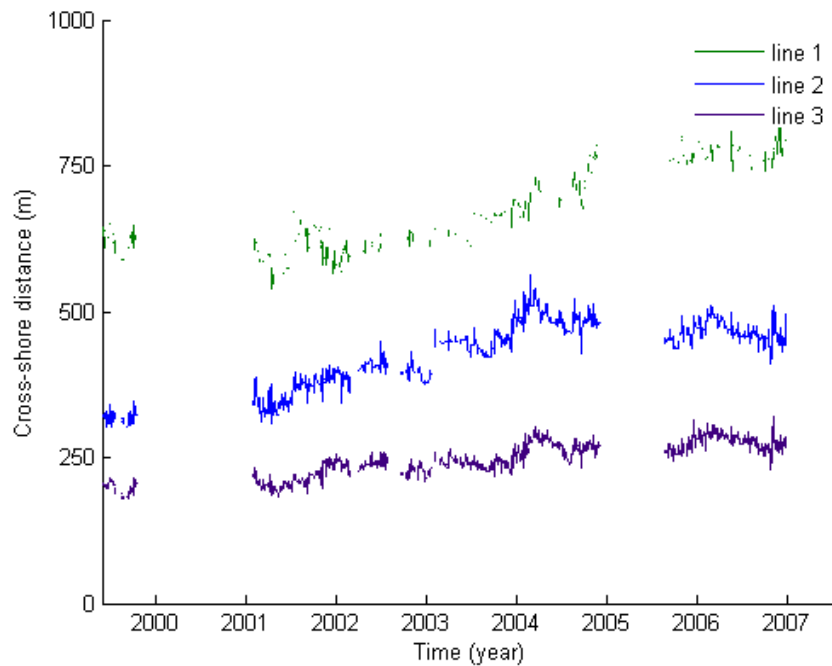
- Om een beter beeld te krijgen van de levensduur van verschillende vooroeversuppleties dient de (Argus) monitoring nog een aantal jaar voortgezet te worden, totdat het effect van de laatste vooroeversuppletie op het bankgedrag uitgewerkt is. Pas dan is een indicatie te geven van de factor waarmee de levensduur omhoog gaat bij verhoging van het suppletievolume.
- In de huidige studie zijn enkel intergetijdebodems en banklocaties (op basis van Argus) bekeken. Om in de kustdwars een completer beeld te krijgen van waar het zand naartoe gaat en hoe het zich verplaatst is het aan te bevelen om eenzelfde studie uit te voeren, maar dan ook te kijken naar data van het sub-getijde gebied met een hoge resolutie in de tijd. Dit is recent mogelijk geworden door de ontwikkeling van het Beach Wizard model. Hiermee kan de subgetijdebodem ook met een hoge resolutie in de tijd bepaald worden, waardoor we meer te weten kunnen komen over het (kwantitatieve) gedrag van (vooroever)suppleties op seizoens- en stormtijdschaal. Eerste stappen in deze richting zullen gezet worden in het kader van het VOP 2007.
- Kustlans zijn nu enkel intergetijdebodems bepaald in het gebied bij de vuurtoren Jan van Speijk. Het zou erg nuttig zijn om voor de gehele studieperiode ook de intergetijdebodems uit Argus te bepalen voor het station Coast3D. Deze data zouden dan ook zeer nuttig zijn voor andere studies, zoals VOP 2007 en Ecobeach fase 2.
- Er zijn voor deze studie maar een beperkt aantal geometriën en volumes van suppleties geanalyseerd. Om tot bruikbare ontwerprichtlijnen te komen is het aan te raden een uitgebreide modelstudie uit te voeren (welke gevalideerd kunnen worden met de huidige data), waarbij verschillende ontwerpen worden doorgerekend. Pas dan zijn de conclusies uit de huidige en voorgaande studies echt door te vertalen naar ontwerprichtlijnen.
- Over de oorzaak van het optreden van de erosie hotspot ten zuiden van het dorp Egmond is nog geen duidelijkheid. Het is aan te bevelen hier verder onderzoek naar te doen, aangezien de kustlangse vorm van het strand een belangrijke rol lijkt te spelen in het gedrag van het strand en vooroever na suppleren.

Literatuur

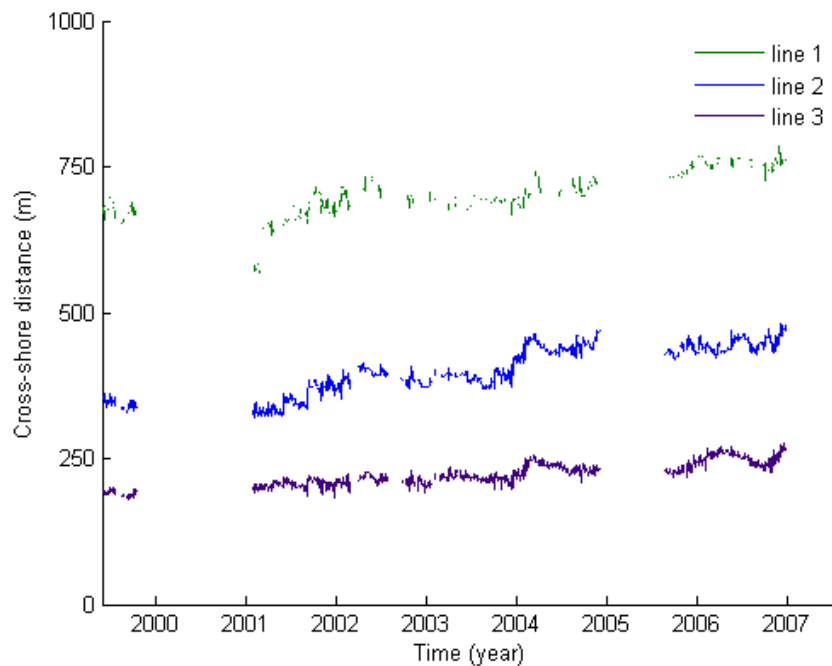
- Aarninkhof, S.G.J., 2003. Nearshore Bathymetry derived from Video Imagery. PhD-thesis, Technische Universiteit Delft, Nederland. ISBN 90-407-2439-3, november 2003.
- Boers, M., 1999. Voorspelling vooroeversuppletie met UNIBESTTC, RIKZ.
- Boers, M., 2002. Zandgolven langs de Noord-Hollandse kust, Een bijdrage aan meerjarige suppletieplanning. Werkdocument: RIKZ/OS/2002.117x, 15 november 2002.
- Dean, R.G. and R.A. Dalrymple, 2002. "Coastal Processes with Engineering Applications", Cambridge University Press, Cambridge, UK, 343-386 ISBN 0-521-49535-0
- Duin, M.J.P. van, 2002. Evaluation of the Egmond shoreface nourishment. Part III: Validation morphological modelling Delft3D-MOR. WL|Delft Hydraulics project Z3054/Z3148. June 2002.
- Duin, M.J.P. van en N.R. Wiersma, 2002. Evaluation of the Egmond shoreface nourishment. Part I: Data analysis. WL|Delft Hydraulics project Z3054/Z3148. June 2002.
- Duin, M.J.P. van, Wiersma, N.R., Walstra, D.J.R., Rijn, L.C. van, Stive, M.J.F., 2004. Nourishing the shoreface : observations and hindcasting of the Egmond case, The Netherlands. Coastal engineering. - Vol. 51 (2004), no. 8-9 (October), p. 813-837
- Elias, E.P.L., Walstra, D.J.R., Roelvink, J.A., Stive, M.J.F., Klein, M.D., 2000. Hydrodynamic validation of Delft3D with field measurements at Egmond. In: Edge, B.L. (Ed.), Proc. 27th Int. Conf. on Coastal Engineering. ASCE, New York, pp. 2714-2727.
- Grunnet, N.M., Walstra, D.J.R., Ruessink, B.G., 2004. Process-based modelling of a shoreface nourishment, Coastal engineering. - Vol. 51 (2004), no. 7 (September), p. 581-607
- Grunnet, N.M., Ruessink, B.G., Walstra, D.J. R., 2005. The influence of tides, wind and waves on the redistribution of nourished sediment at Terschelling, The Netherlands. Coastal Engineering. - Vol. 52 (2005) ; p. 617-631
- Hoefel, F., Elgar, S., 2003. Wave-Induced Sediment Transport and Sandbar Migration Science 21, March 2003: Vol. 299. no. 5614, pp. 1885 – 1887 DOI: 10.1126/science.1081448
- Keijzer, S. de, 2004. De invloed van stormcondities op het bankgedrag bij Egmond en Bergen vóór en na een vooroeversuppletie. K2005*Suppleren. Werkdocument: RIKZ/OS/2004/123W, april 2002.
- Koningsveld, M. van, 2003. Matching Specialist Knowledge with End User Needs. Bridging the gap between coastal science and coastal management. PhD-thesis, Technische Universiteit Twente, Nederland. ISBN 90-365-1897-0, april 2003.
- Koningsveld, M. van, and J. Lescinski, 2007. Decadal scale performance of coastal maintenance in the Netherlands. Shore & Beach, Vol. 75, No. 1 _ Winter 2006.
- Pwa, S.T., 2006. Evaluatie vooroeversuppleties Noord- en Zuid-Holland. Eindrapport. Witteveen+Bos rapport RW1472-2, mei 2006.
- Quartel, S. en Grasmeyer, B.T., 2007. Dynamiek van het strand bij Noordwijk aan Zee en Egmond aan Zee en het effect van suppleties. Opdracht RKZ-1667, Concept T1-Rapport, Rapport CR-2007-01, februari 2006.
- Reintjes, C.M., 2002. Muilocaties voor de kust bij Egmond aan Zee, Relatie tussen muilocaties en volumeveranderingen. IMAU Report R 02-02, November 2002.
- Rijn, L.C. van, 1995. Yearly-averaged sand transport at the -20 m and -8 m NAP depth contours of the JARKUS profiles 14, 40, 76 and 103. Delft Hydraulics report. H1887.
- Rijn, L.C. van, Walstra, D. J. R., Grasmeyer, B. T., Kleinhout, K. 2001. Hydrodynamics and morphodynamics in the surf zone of a dissipative beach. In: Proc. 4th Coastal Dynamics Conf. Lund, Sweden.
- Rijn, L.C. van, B.G. Ruessink en J.P.M. Mulder, 2002. COAST3D – EGMOND. The behaviour of a straight sandy coast on the time scale of storms and seasons. Process knowledge and guidelines for coastal management. End document March 2002. ISBN 90-800356-5-3. EC MAST Project No. MAS3-CT97-0086, March 2002.

-
- Rijn, L.C. van, Walstra, D.J.R., Grasmeijer, B., Sutherland, J., Pan, S., Sierra, J.P., 2003. The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based profile models. *Coast. Eng.* 47, 295–327.
- Roelse, P., 2002. Water en zand in balans. Evaluatie zandsuppleties na 1990; een morfologische beschouwing. Rapport RIKZ/2002.003. ISBN 90-36-369-3426-5.
- Roelvink, J.A., Meijer, T.J.G.P., Houwman, K., Bakker, R., Spanhoff, R., 1995. Field validation and application of a coastal profile model. In: Dally, W.R., Zeidler, R.B. (Eds.), *Proc. 2nd Int. Conf. on Coastal Dynamics '95*. ASCE, New York, pp. 818–828.
- Short, A.D., 1985. Rip-currents type, spacing and persistence, Narrabeen beach, Australia. *Marine Geology*, 65, pp. 47-71.
- Spanhoff, R., 2001. Voorlopige richtlijnen monitoring en ontwerp vooroeversuppleties. . K2005*Suppleren. Werkdocument: RIKZ/OS/2001.114X, juni 2001.
- Spanhoff, R., S. De Keijzer, A. M. Walburg, and E. J. Biegel, Evaluatie onderwatersuppleties Egmond en Bergen, Tech. rep., RIKZ, The Hague, The Netherlands, 2004.
- Spek, A.J.F. van der, A. de Kruif en R. Spanhoff, 2006. Richtlijnen Vooroeversuppleties. Concept definitieve versie (6.0). 15 december 2006.
- Steijn, R., 2005. Effectiviteit van vooroeversuppleties langs de Waddenkust. Aanzet tot ontwerprichtlijnen voor het ontwerp van vooroeversuppleties. Alkyon rapport A1539, november 2005.
- Sun, B., 2004. Validation of hydrodynamic and morphodynamic modelling on a shoreface nourishment at Egmond, The Netherlands. Delft Hydraulics report Z3624.
- TAW (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen), 1995. Basisrapport zandige kust, behorende bij de leidraad zandige kust.
- TAW (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen), 2003. Leidraad Zandige Kust.
- Walstra, D.J.R., van Ormondt, M., Roelvink, J.A., 2004. Shoreface Nourishment Scenarios. Delft Hydraulics report. Z3748.
- Wiersma, N.R., 2002. Evaluation of the Egmond shoreface nourishment. Part II: Validation of the morphological UNIBEST-TC model. WL/Delft Hydraulics project Z3148. June 2002.
- Wijnberg, K.M., S.G.J. Aarninkhof, M. van Koningsveld, B.G. Ruessink and M.J.F. Stive, 2004. Video monitoring in support of coastal management. Proceedings of the 29th Int Conf. of Coast. Eng. Lisbon, Portugal, 2004.
- Oppenheim, A.V. en R.W. Schafer, 1989. *Discrete-Time Signal Processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.

A Gemiddelde bankenpositie deelgebieden (1000 m) Coast3D station

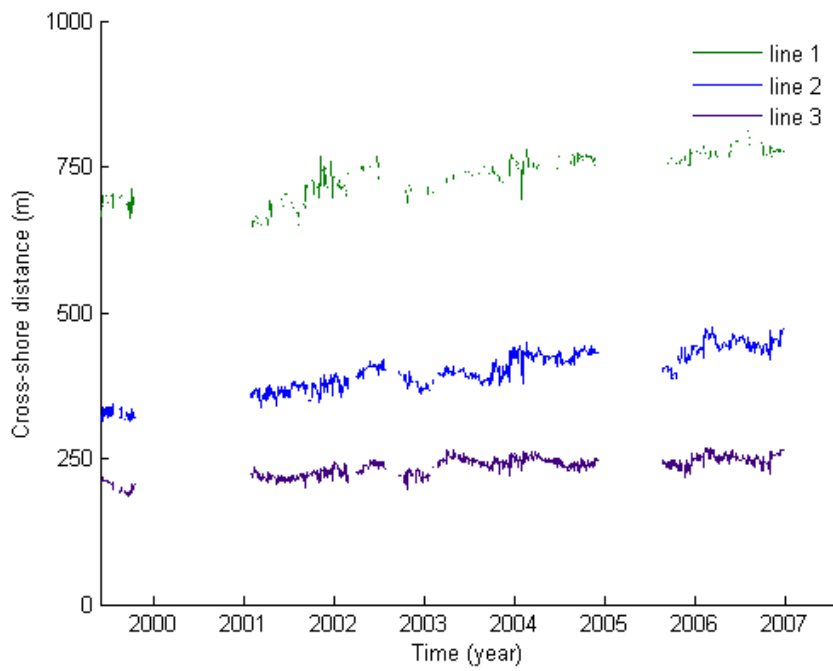
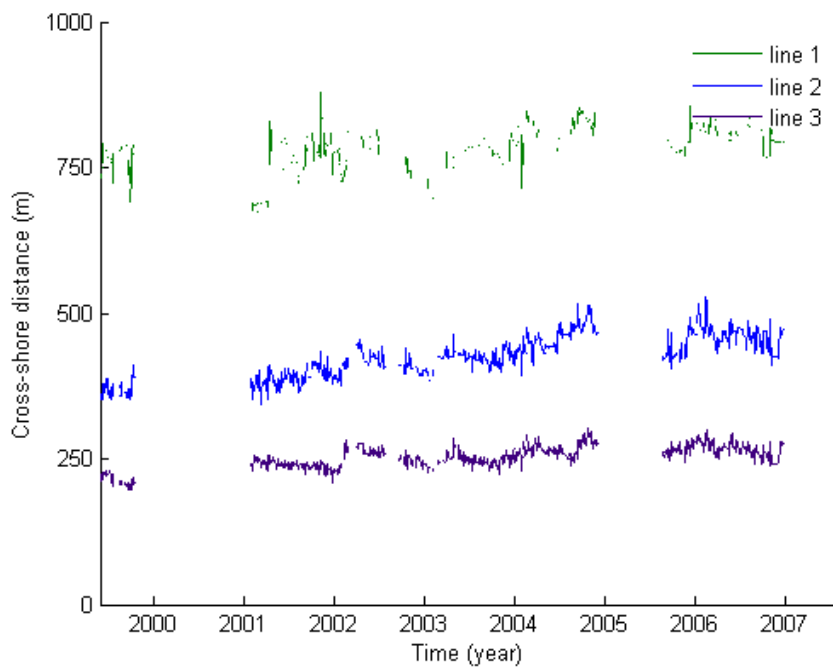


Figuur 35 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = -2000$ – -1000 m in het Coast3D assenstelsel.

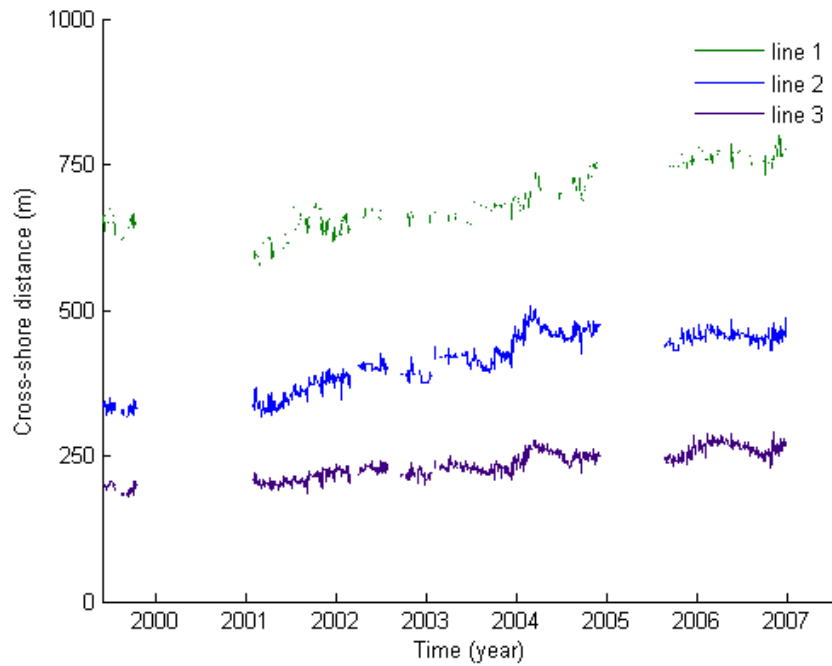


Figuur 36 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = -1000$ – 0 m in het Coast3D assenstelsel.

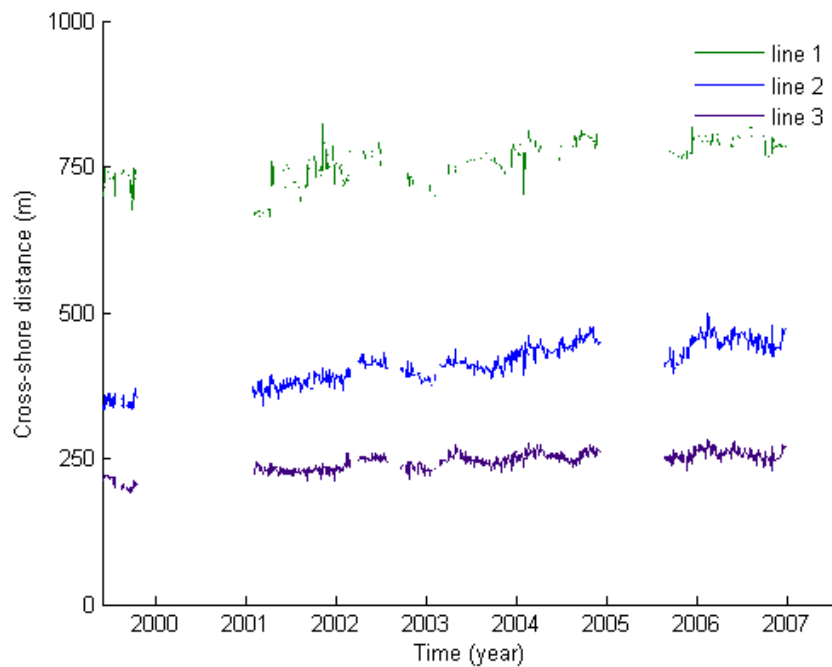
op basis van Argus video waarnemingen

Figuur 37 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = 0 - 1000$ m in het Coast3D assenstelsel.Figuur 38 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = 1000 - 2000$ m in het Coast3D assenstelsel.

B Gemiddelde bankenpositie deelgebieden (2000 m) Coast3D station

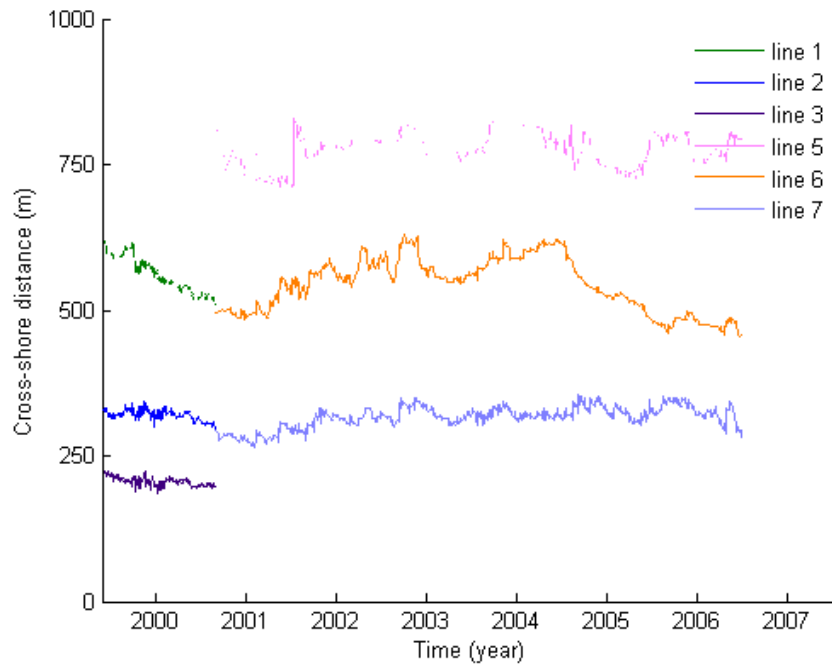


Figuur 39 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = -2000 - 0$ m in het Coast3D assenstelsel.

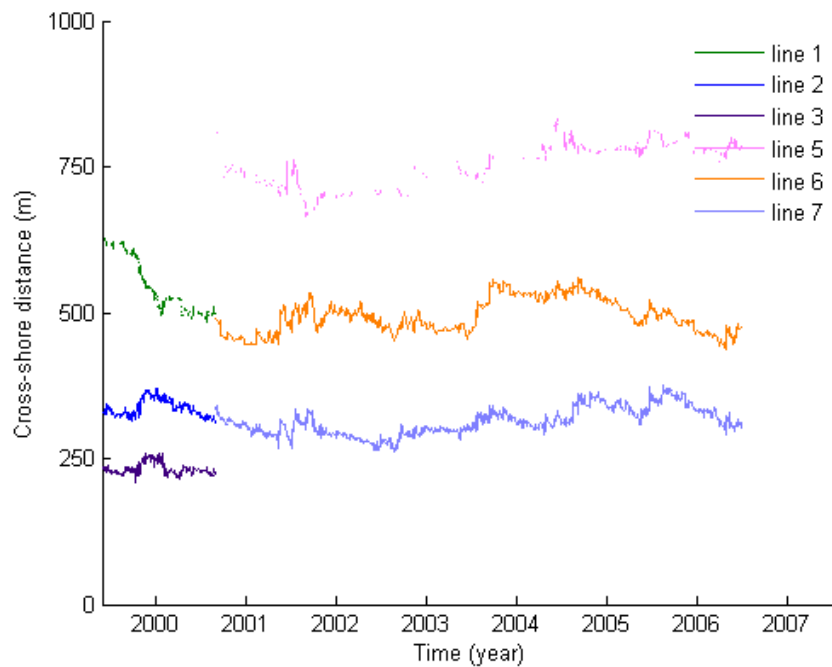


Figuur 40 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = 0 - 2000$ m in het Coast3D assenstelsel.

C Gemiddelde bankenpositie deelgebieden (1000 m) JvSpeijk station

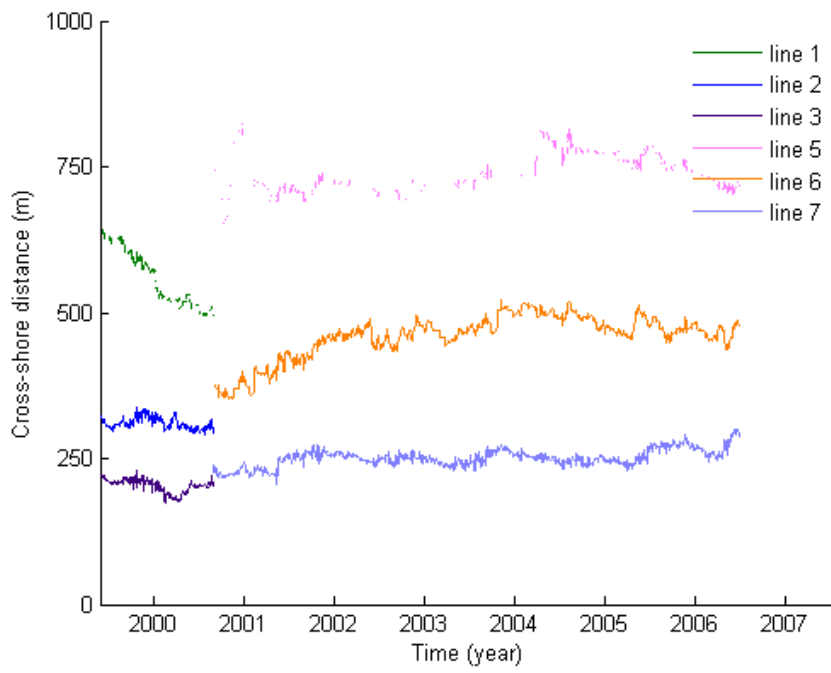


Figuur 41 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = -2000 - -1000$ m in het Jan van Speijk assenstelsel.

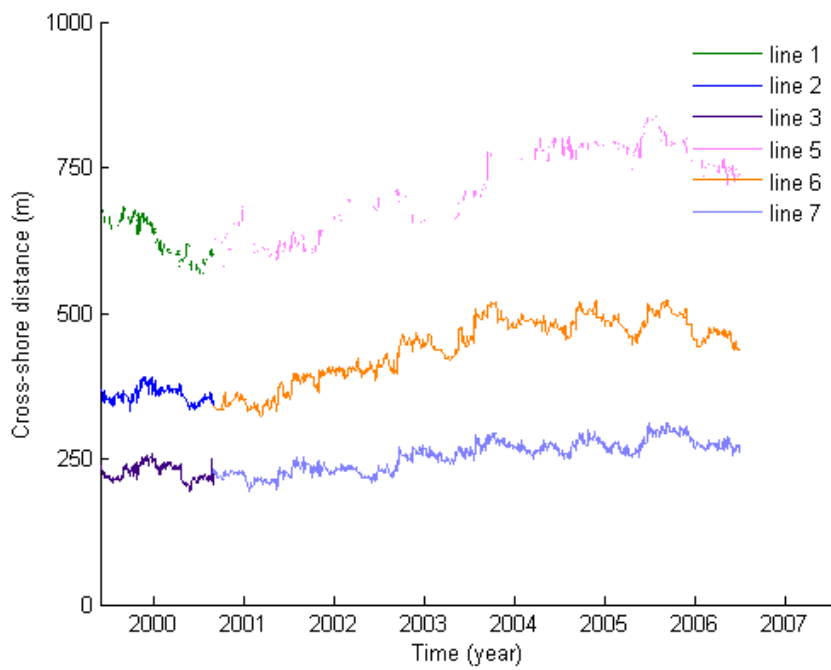


Figuur 42 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = -1000 - 0$ m in het Jan van Speijk assenstelsel.

op basis van Argus video waarnemingen

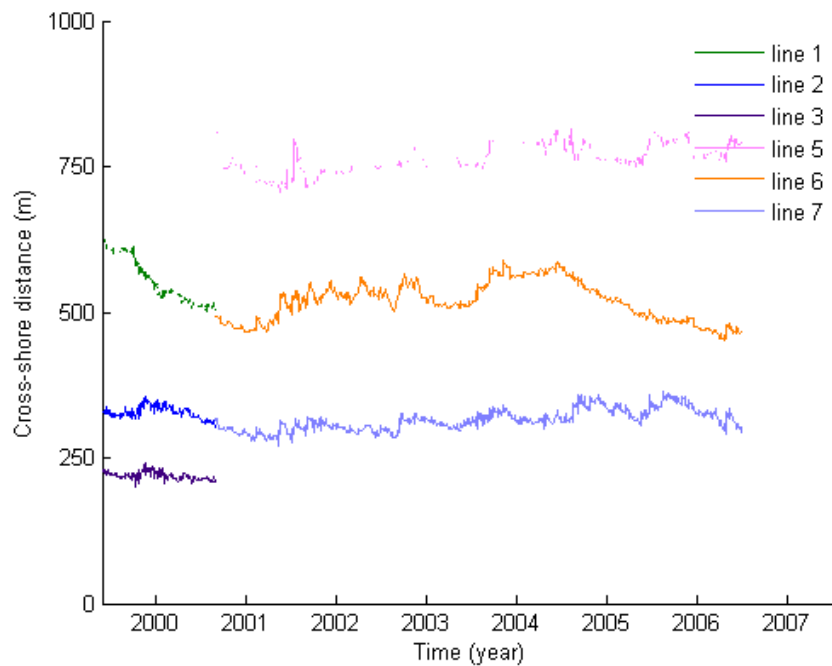


Figuur 43 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = 0 - 1000$ m in het Jan van Speijk assenstelsel.

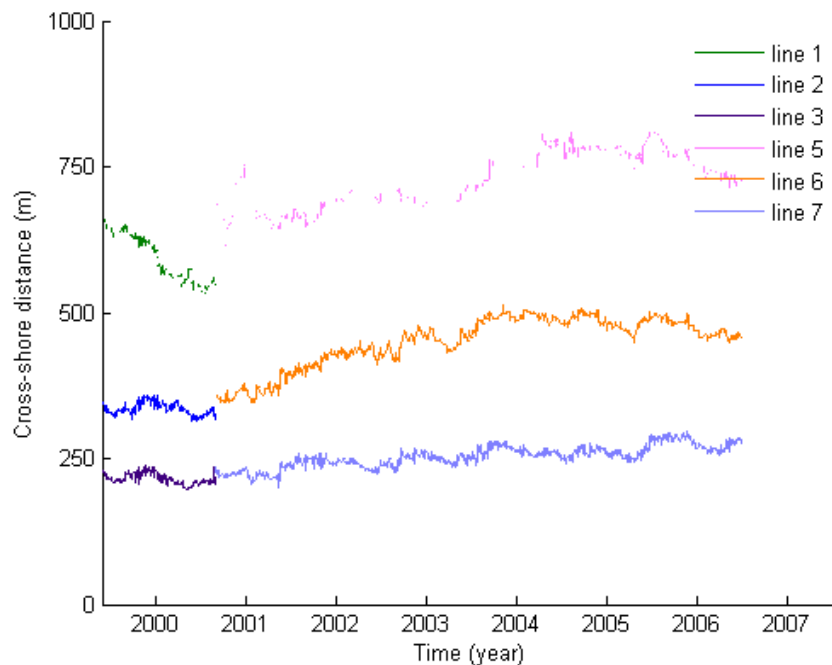


Figuur 44 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = 1000 - 2000$ m in het Jan van Speijk assenstelsel.

D Gemiddelde bankenpositie deelgebieden (2000 m) JvSpeijk station



Figuur 45 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = -2000 - 0$ m in het Jan van Speijk assenstelsel.

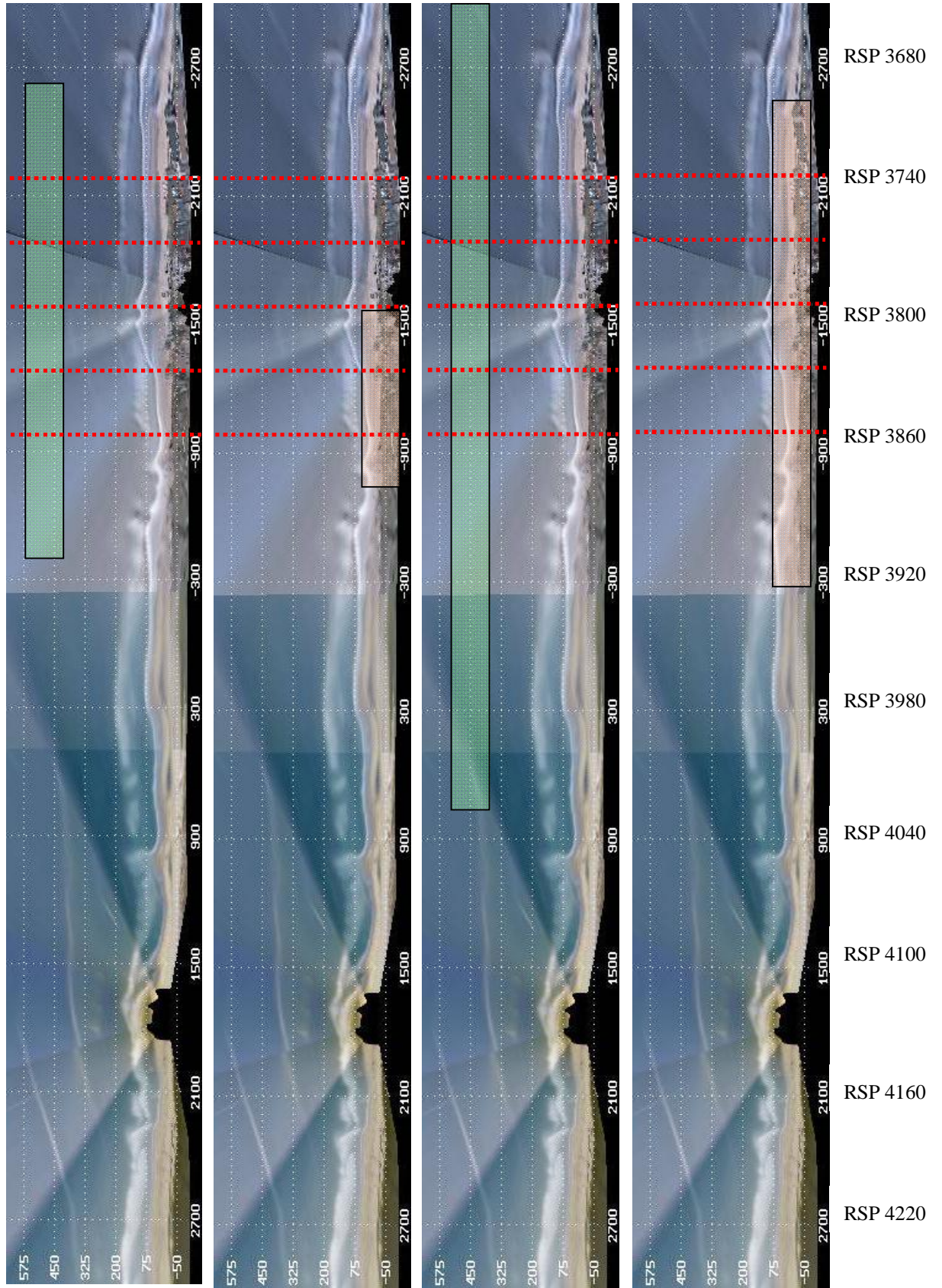


Figuur 46 Gemiddelde bankpositie in deelgebied $y = 0 - 2000$ m in het Jan van Speijk assenstelsel.

E Overzichtsfiguur suppleties en analyse raaien

In de onderstaande figuren zijn de vier suppleties getoond die tijdens de studieperiode zijn uitgevoerd. Tevens zijn in rood de raaien weergegeven die geanalyseerd zijn in § 4.1.2 en 4.1.3.

op basis van Argus video waarnemingen



Vooroever-suppletie 1999

Strandsuppletie 2000

Vooroever-suppletie 2004

Strandsuppletie 2005

op basis van Argus video waarnemingen



WL | Delft Hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

