

Evaluatie onderwatersuppleties
Egmond en Bergen
Januari 2004

Werkdocument: RIKZ/OS/2004/112W



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Evaluatie onderwatersuppleties Egmond en Bergen Januari 2004

Project: KUSTADV*NH/K2005*Suppleren
Werkdocument: RIKZ/OS/2004/112W

auteur: R. Spanhoff (RIKZ)
S. de Keijzer (UvA)
A.M. Walburg (RIKZ)
E.J. Biegel (RIKZ)

datum: Januari, 2004



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

INHOUD

LIJST MET FIGUREN	2
LIJST MET TABELLEN	2
1. INLEIDING.....	3
2. KUSTSYSTEEM BERGEN-EGMOND	5
3. KUSTSYSTEEM BERGEN-EGMOND NA ONDERWATERSUPPLETIES.....	9
4. EFFECT ONDERWATERSUPPLETIES EGMOND EN BERGEN	12
5. DISCUSSIE EN CONCLUSIES	16
6. GERAADPLEEGDE LITERATUUR.....	20

LIJST MET FIGUREN

Fig. 1-1 Suppleties (locatie en hoeveelheid) in het kustvak bij Bergen-Egmond.	4
Fig. 2-1 Morfologie Bergen-Egmond vóór de aanleg van de onderwatersuppletie(s).	5
Fig. 2-2 Strand bij Egmond (22 oktober 1999, betrekkelijk kort na de suppleties).....	6
Fig. 2-3 Bankontwikkeling in drie jaar, in het autonome systeem en na aanleg van de onderwatersuppleties.....	8
Fig. 3-1 Morfologische ontwikkeling Bergen-Egmond na de aanleg van de onderwatersuppletie(s) in 2D.....	10
Fig. 4-1 Gemeten MKL-volume per strekkende meter als functie van de tijd in het suppletievak Egmond.	13
Fig. 4-2 Gemeten volume actieve zone (tot NAP-7m) per strekkende meter als functie van de tijd in het suppletievak Egmond.	14
Fig. 4-3 Gemeten MKL-volume per strekkende meter als functie van de tijd, gemiddeld over het vak van de onderwatersuppletie Bergen	15

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1-1 Suppleties Egmond en Bergen vanaf 1999	4
--	---

1. Inleiding

Het kustvak bij Egmond wordt, evenals dat bij Bergen, frequent gesuppleerd (Fig. 1-1) om de positie van de vastgestelde basiskustlijn (BKL) te handhaven. Deze BKL is ter plekke, vanwege de specifieke situatie aldaar, verder zeewaarts gekozen dan in aangrenzende vakken. Bij Egmond moet zo bijvoorbeeld gewaarborgd worden dat de strandboulevard in tact blijft. De suppleties werden tot voor kort uitgevoerd als strandsuppletie. Hun levensduur bleek relatief kort te zijn, zodat de suppleties regelmatig werden herhaald. Deze korte levensduur wordt geweten aan de vooruitgeschoven positie van de kustlijn, die de natuur relatief snel teniet wil doen (Boers, 1999). Als alternatief voor deze strandsuppleties is bij Egmond in 1999 een combinatie gerealiseerd van een (gebruikelijke) strandsuppletie met een zeewaarts daarvan aangebrachte onderwatersuppletie, terwijl hetzelfde bij Bergen in 2000 gebeurde (Tabel 1-1). De hoop is dat een strandsuppletie door het toevoegen van een onderwatersuppletie een langer leven beschoren is dan zonder deze maatregel. Reden daarvoor zou zijn dat de onderwatersuppletie de golfaanval op de strandsuppletie reduceert. Verder wordt van een onderwatersuppletie sowieso een gunstige werking verwacht op de kustlijn, gezien eerdere ervaringen (bijv. Terschelling). Het is redelijk te verwachten dat dit effect ook op zal treden in de combinatie met een strandsuppletie. Met dergelijke combinaties is nog nauwelijks ervaring opgedaan. De onderwatersuppleties bij Terschelling, Delfland, Katwijk, Noordwijk, Ameland en Scheveningen, die redelijk gemonitord en bestudeerd worden, zijn alle uitgevoerd zonder aanvullende maatregelen als strandsuppleties. Combinatie-suppleties zullen in de toekomst vaker overwogen worden, als een strandsuppletie nodig is. Volgen of de combinatie bij Egmond en Bergen positief uitvalt is daarom gewenst. Hier worden enkele resultaten gegeven van onze bevindingen tot op heden.

De huidige evaluatie wordt grotendeels uitgevoerd op basis van lodingsgegevens, waarvoor een apart meetprogramma is opgesteld. We beschrijven de ontwikkelingen rond de onderwatersuppleties in termen van morfologische veranderingen en aan de hand van kentallen. Hoofdstuk 2 bespreekt de morfologie van het onderhavige kustvak vóór de onderwatersuppletie Egmond, en hoofdstuk 3 die van erna. Hoofdstuk 4 bespreekt het effect van de onderwatersuppleties in termen van kentallen, en hoofdstuk 5 bevat een discussie en enkele conclusies.

Bij de huidige analyses bleken het kuststelsel Bergen-Egmond en daarmee de onderwatersuppleties een complex gedrag te vertonen. In het jaar 2004 zal is een uitgebreid rapport verschijnen met een uitvoeriger beschrijving van het kustvak Egmond-Bergen, voor en na onderwatersuppleties

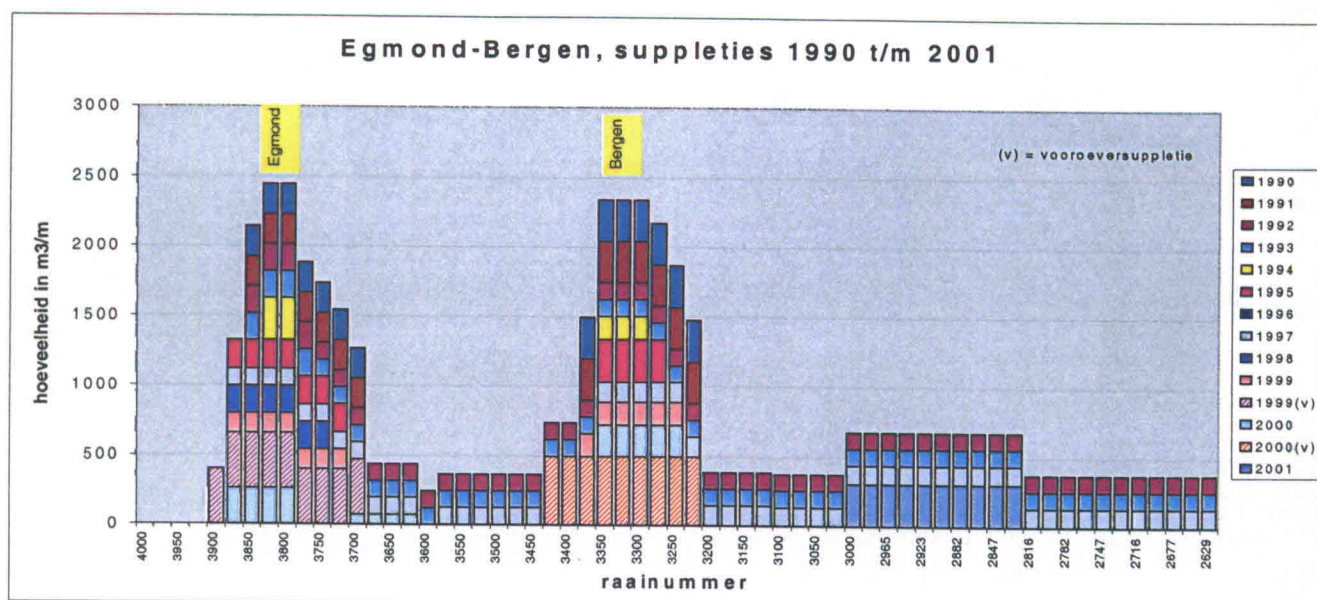


Fig. 1-1 Suppleties (locatie en hoeveelheid) in het kustvak bij Bergen-Egmond. Er is tamelijk frequent gesuppleerd. De huidige analyse betreft vooral de jongste suppleties bij Egmond, nl. de strand- en onderwatersuppleties uit 1999 alsmede de aanvullende strandsuppletie uit 2000, en Bergen (strand- en onderwatersuppletie uit 2000). Zie ook tabel 1.

Tabel 1-1 Suppleties Egmond en Bergen vanaf 1999

Plaatsnaam	Begin datum	Eind datum	Raainummers	Type suppletie	Aantal m3	m3/m
Bergen aan Zee	04-1999	05-1999	32.5 - 33.75	strandsuppletie	205793	165
Egmond	04-1999	04-1999	37.25 - 38.75	strandsuppletie	214515	143
Egmond	06-1999	09-1999	36.9 - 39.1	onderwatersuppletie	880100	400
Bergen aan Zee	06-2000	06-2000	32.75 - 33.25	strandsuppletie	225000	450
Bergen aan Zee	04-2000	08-2000	32.25 - 34.25	onderwatersuppletie	994000	497
Egmond	06-2000	07-2000	38 - 38.8	strandsuppletie	207000	259

2. Kuststelsysteem Bergen-Egmond

Nederlandse kustsystemen vertonen meestal enkele lange, min of meer rechte en kustparallele brekerbanken die met de jaren zeewaarts opschuiven om uiteindelijk op een zekere afstand uit de kust af te sterven. Inmiddels ontstaan bij de waterlijn nieuwe banken die de plaats van de vorige innemen, zodat het aantal banken ongeveer constant blijft. Dit aantal, en de levensduur/cyclustijd zijn gebiedsafhankelijk. Bij Bergen-Egmond (km 29-42) lijkt ook te gebeuren. Het kustvak bevat één tot twee brekerbanken die met de jaren geleidelijk zeewaarts verschuiven, waarbij er bij de kust een nieuwe bank ontstaat wanneer de oude buitenste bank voldoende is afgestorven. Dit laatste lijkt zo om de 15 jaar te gebeuren. Een opvallend kenmerk van dit kuststelsysteem is de neiging van de bank(en) zich op te delen in segmenten (lengte ongeveer 2 km). Op de verbindingen van deze segmenten (zie Fig. 2-1, Fig. 2-3) ligt de bank het dichtst bij de kust en het hoogst (t.o.v. NAP) terwijl de bank midden ertussen veel dieper ligt. Vooralsnog noemen we deze lokale hoogten in de bank "druppels", mede vanwege hun vorm in sommige 2D-plaatjes (Fig. 2-3). Opmerkelijk genoeg laat de huidige analyse zien dat voor iedere (nog herkenbare) druppel uit een volgend jaar is aan te wijzen met welke uit een vorig jaar hij overeenkomt, ondanks kustdwarse en kustlangse verplaatsingen van/met de bank en ondanks veranderingen in vorm en ruimtelijke oriëntatie van de bank.

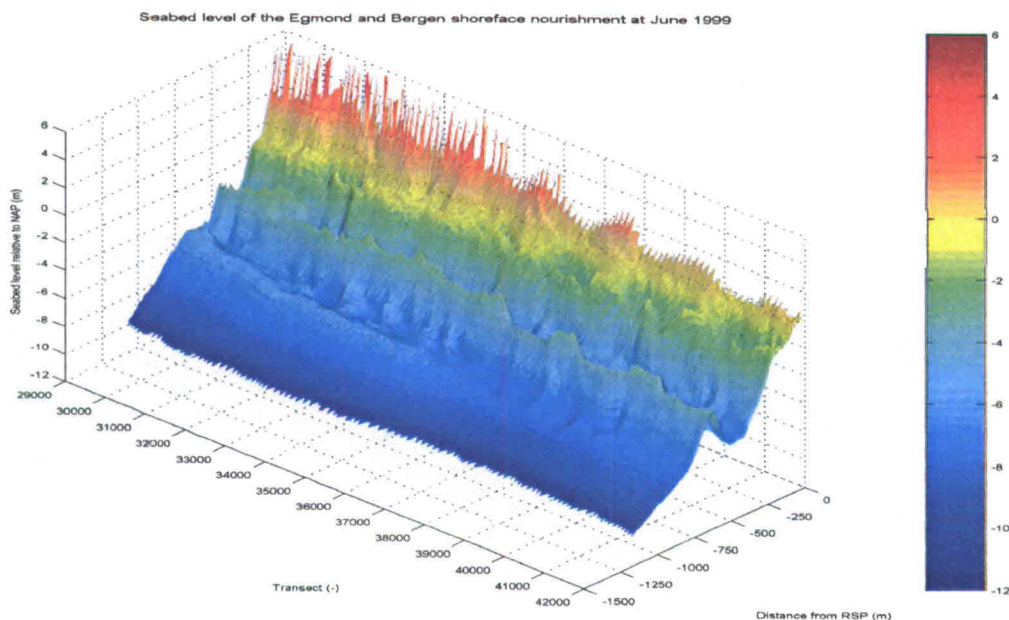


Fig. 2-1 Morfologie Bergen-Egmond vóór de aanleg van de onderwatersuppletie(s).

De bodem is in 3D weergegeven, met bovendien kleurcodes voor de dieptes (blauw is diep, rood is hoog, de laagwaterlijn ligt in het geel).

De grotendeels afgestorven voormalige buitenste brekerbank is nog zichtbaar van km 29 tot het dode eind bij ca. km 35. De huidige buitenste bank bestaat uit segmenten van zo'n 2 km met "bergtoppen" aan hun uiteinden.

De banken liggen in het zuiden van dit kustvak (km 29-42) vaak verder zeewaarts dan in het noorden. Kennelijk lopen ze in het zuiden qua ontwikkeling (fase) vóór op het noorden. De buitenste bank sterft daarmee het eerst af in het zuiden, en zijn dode uiteinde zal in de tijd (jaren) naar het noorden opschuiven. De oorspronkelijk binnenste bank wordt in het zuiden eerder de nieuwe buitenste bank (de oude buitenste bank is dan afgestorven). In het noorden blijft de ontwikkeling en zeewaartse opschuiving van de nieuwe buitenste bank dan nog gehinderd door de oorspronkelijke buitenste bank zolang die daar (rudimentair) blijft bestaan.



Fig. 2-2 Strand bij Egmond (22 oktober 1999, betrekkelijk kort na de suppleties). Let op de uitbouw (landwaarts van de druppel bij km 38 in de buitenste brekerbank)

De kustlangse patronen van het strand (zie ook Fig. 2-2) corresponderen vaak met de structuren in de buitenste bank, in die zin dat het strand zeewaarts uitbouwt ter hoogte van de (relatief ver landwaarts liggende, ondiepe) "bergtoppen/druppels" terwijl het ertussen terugschrijft. Na een strandsuppletie zal het suppletie lichaam bij de druppels het minst, en halverwege de druppelposities het meest aangetast worden. De bankstructuren verplaatsen zich in de tijd, ook kustlangs, en nemen verschillende vormen en oriëntaties aan. De uitstulpingen op het strand (en bijv. het plaatselijke MKL-volume) volgen deze verplaatsingen. Kennelijk zijn

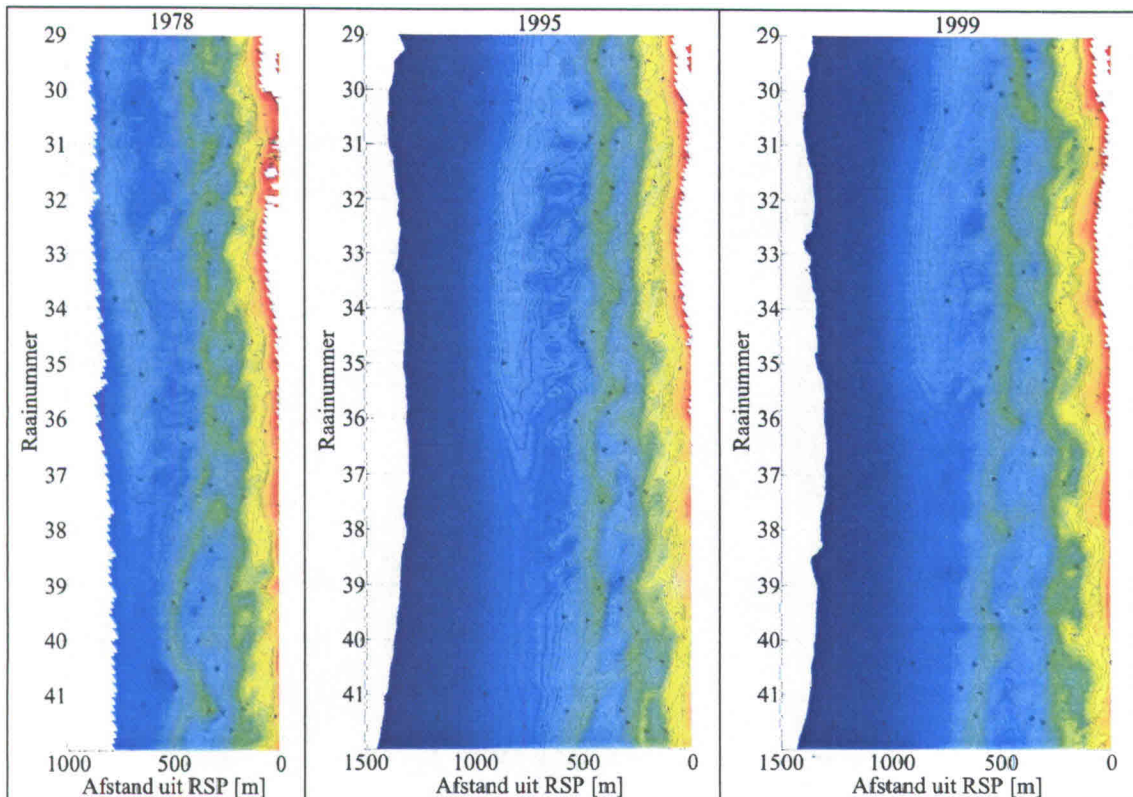
is teruggelepen

de kustlijnligging en het bankensysteem bij Egmond en Bergen sterk gekoppeld. De druppels remmen het ontstaan van een nieuwe bank bij de kust en het loslaten ervan. Tussen de druppels is de kromming van de net ontstane nieuwe bank in eerste instantie nog tegengesteld aan die van de buitenste bank; zodra de buitenste en nieuwe bank voldoende zeewaarts zijn verschoven buigen beide banken in dezelfde richting. Deze ontwikkeling is goed te zien in de bodemopname 1999 (Fig. 2-3), van noord naar zuid omdat de buitenste bank in het zuiden het meest zeewaarts ligt.

Omdat de onderwatersuppleties bij Egmond en Bergen direct tegen de buitenste bank zijn aangelegd zullen ze deze sterk beïnvloeden. Dankzij de sterke koppeling tussen kustlijnligging en bankensysteem bij Egmond en Bergen zullen de onderwatersuppleties naar verwachting ook een duidelijk effect hebben op de kust.

Fig. 2-3 illustreert enkele van de bovenbeschreven aspecten. Na drie jaar (1981-1978 resp. 1998-1995) is de voormalige buitenste bank (ca. 750 m uit de kust) duidelijk verder afgestorven. Het bankenpatroon herhaalt zich periodiek (vgl. 1995 en 1978; tussentijds lagen de banken er anders bij). Ter hoogte van de druppels (op de verbindingen van de boogsegmenten) bouwen strand en waterlijn uit. De veranderingen in bankpositie gaan geleidelijk in het "ongestoorde" systeem (1978-1981 resp. 1995-1998/1999), maar zijn relatief groot na de onderwatersuppleties (1999-2002).

Zij uitgebouwd



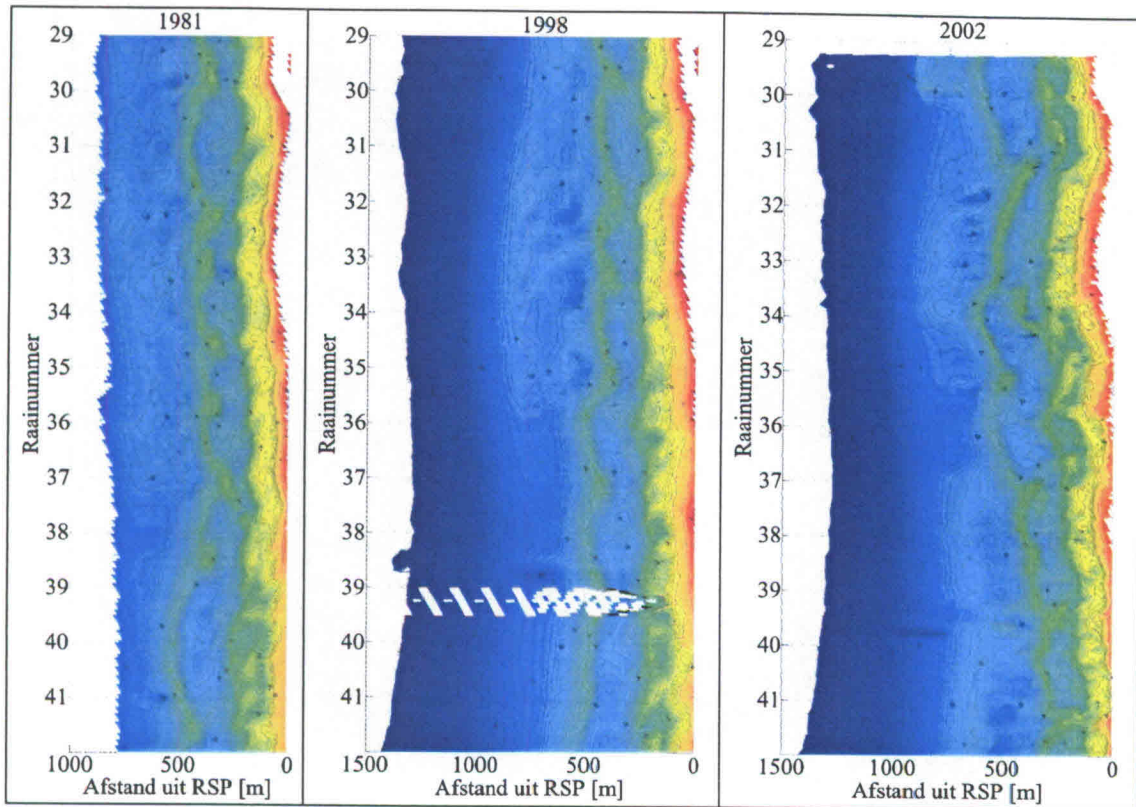


Fig. 2-3 Bankontwikkeling in drie jaar, in het autonome systeem en na aanleg van de onderwatersuppleties.

Steeds zit er een interval van 3 jaar tussen de opnames (van boven naar beneden)
 Het "autonome" systeem na 1990 is mogelijk enigszins verstoord door
 strandsuppleties.

In drie jaar verandert het bankenpatroon weinig, behalve na de
 onderwatersuppleties !!

?

3. Kuststelsysteem Bergen-Egmond na onderwatersuppleties

Vlak voor de onderwatersuppletie Egmond (1999) was de rudimentaire oorspronkelijke buitenste brekerbank (op zo'n 750 m uit de kust) ten zuiden van km 35 in feite verdwenen (m.a.w. zijn dode eind was op dat moment noordwaarts opgeschoven tot circa km 35). Er was in feite al sprake van een doorlopende nieuwe buitenste bank. Deze lag in het zuiden verder zeewaarts dan in het noorden (Fig. 3-1) waar zijn zeewaartse verplaatsing nog geremd werd door de rudimentaire bank.

De suppletie (km 37-39) is tegen de zeewaartse flank van deze buitenste bank gelegd, en kwam daarmee op de (meest zeewaartse) positie van de inmiddels afgestorven bank te liggen. Midden op het suppletielichaam vormt zich een bank, met een trog net landwaarts van de suppletie. Hierdoor schuift de buitenste bank lokaal sterk landwaarts, zoals ook bij andere onderwatersuppleties is geconstateerd. In dit geval is de verschuiving het grootst in het midden van het suppletievak. De buitenste bank ligt nu in het noorden duidelijk verder zeewaarts dan bij km 38, en diens oriëntatie t.o.v. de kust is omgeslagen (vgl. Fig. 3-1: november 2001, waar de buitenste bank in het noorden juist dicht bij de kust ligt).

Ten zuiden van km 38 blijven de buitenste en binnenste bank zeewaarts gaan, zodat de binnenste bank ten zuiden van km 38 zich verbindt (winter 2000/2001) met de buitenste bank in het noorden ("bar switching"). De onderwatersuppletie zelf raakt verbonden met de buitenste bank uit het zuiden.

Vóór de onderwatersuppletie Egmond lag er bij km 38 een druppel, met bijbehorende stranduitbouw (zie Fig. 3-1). De onderwatersuppletie is symmetrisch rond deze aangelegd, en versterkt deze mogelijk (salient of tombolo effect) terwijl ook de aangebrachte strandsuppletie ter plekke minder aangetast wordt dan elders. Bij de barswitch in de winter 2000/2001 heeft de druppel zich uitgesmeerd tot het verbindende banksegment bij km 38, dat zich plooid rond de stranduitbouw. In deze winter domineerden de golven uit het zuidwesten hetgeen boogvorming hier sterk bevordert, zoals blijkt uit bestudering van het gedrag na de suppleties van dit systeem. Ter vergelijking: in de daaropvolgende periode tot november 2001 kwamen de golven vooral uit het noordwesten, hetgeen de bank weer recht trekt.

Hierbij worden de druppels langs de bank uitgesmeerd. Bij dit afwisselen van rechte en kromme bankvormen lijkt de bank, opvallend genoeg, steeds weer terug te keren tot de vorige corresponderende vorm, d.w.z. wanneer de bank weer recht wordt, na krommingen te hebben gehad, lijkt hij sterk op zijn vorige rechte vorm, en hetzelfde geldt op de gekromde bankvormen met een tussentijdse rechte vorm. De kromme boogvormen zijn zeer uitgesproken, meer dan in het ongestoorde systeem. Dit kan in principe leiden tot extra stranderosie ter hoogte van de diepste delen van de bank, tussen de druppels.

Na de winter 2001/2002 is de onderwatersuppletie Egmond minder goed herkenbaar dan voorheen.

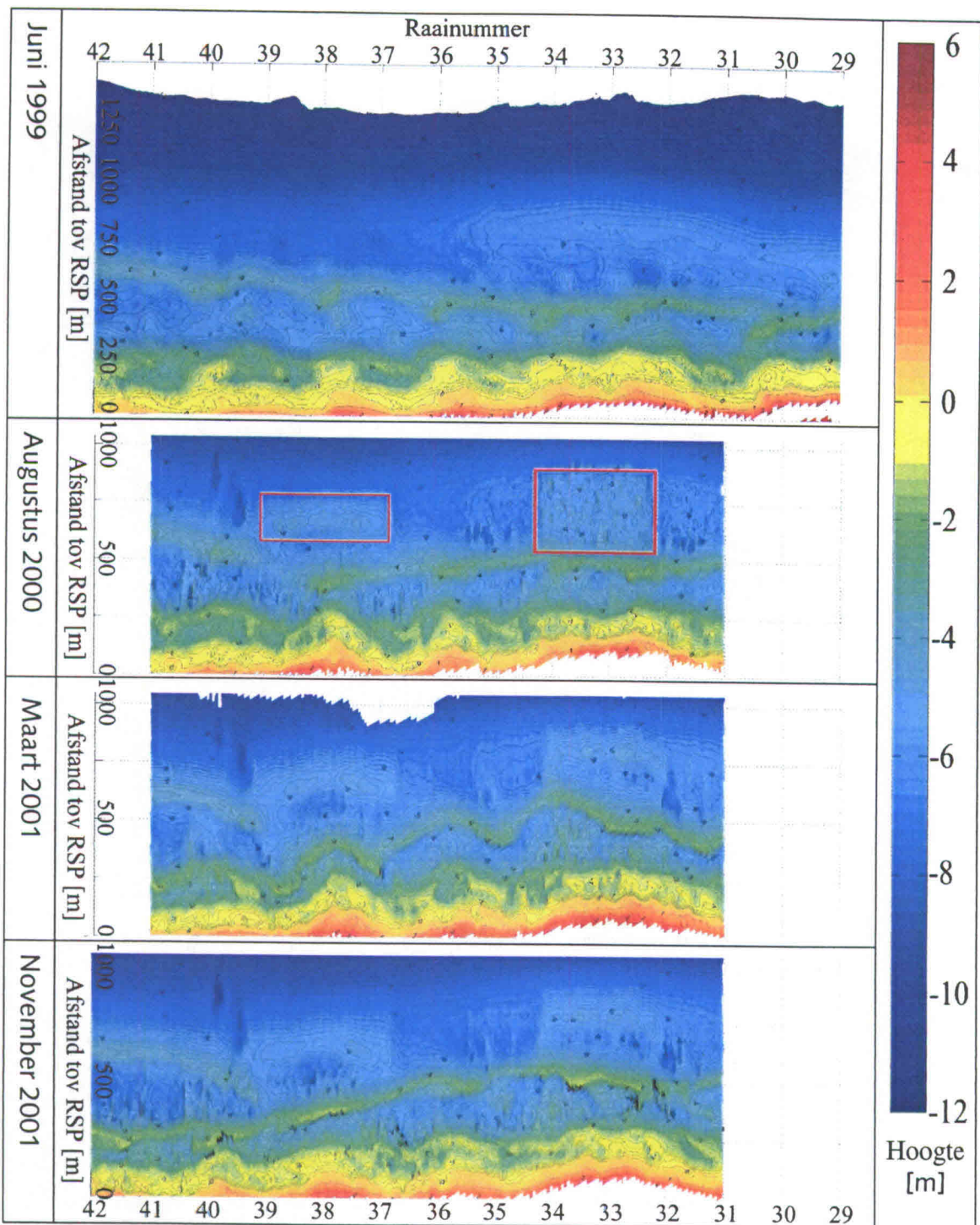


Fig. 3-1 Morfologische ontwikkeling Bergen-Egmond na de aanleg van de onderwatersuppletie(s) in 2D.
 Diepten aangegeven met kleuren en contourlijnen, de horizontale schaal (afstand RSP) is opgeblazen.
 Juni 1999: tegenover de druppels in de buitenste bank bouwt het strand uit (vgl.

NAP en NAP+1 contouren). De bank loopt scheef t.o.v. de kust (t.g.v. de bijna dode oude bank in het noorden), waardoor de nieuwe bank in wording (bij de waterlijn) in het zuiden verder ontwikkeld is dan in het noorden; althans tussen de druppels die het loslaten van de nieuwe bank plaatselijk remmen. Ten zuiden van km 38 bolt de jonge bank (al) in dezelfde richting als de buitenste bank (meer noordelijk nog tegengesteld).

Augustus 2000: de onderwatersuppletie Bergen is juist aangelegd en heeft de verdere bodemtopografie nog niet beïnvloed (de suppletievakken bij Bergen en Egmond zijn aangegeven). Na de onderwatersuppletie Egmond (zichtbaar als extra bank, km 37-39) is bij diens noordelijke helft de oorspronkelijke buitenste bank landwaarts gegaan terwijl hij zuidelijk van de suppletie zeewaarts is gegaan (samen met zijn binnenste bank). Tussen km 38 en km 39 is de bank gebroken. Men lette ook op de vorm van het strand. De buitenste bank is redelijk recht tussen Egmond en Bergen.

Maart 2001: de oorspronkelijke buitenste bank noordelijk van km 38 verbindt zich met de binnenste ten zuiden ervan. De buitenste bank vertoont nu sterk gekromde segmenten. Bij de onderwatersuppletie Bergen is de brekerbank in de zuidelijke helft zeewaarts gegaan.

November 2001: de brekerbank is weer tamelijk recht .

4. Effect onderwatersuppleties Egmond en Bergen

De onderwatersuppleties bij Egmond en Bergen hebben kennelijk een grote invloed op het bankensysteem. De kustlijnligging bij Egmond en Bergen blijkt sterk bepaald te worden door (structuren en ligging van) het bankensysteem, zodat verwacht mag worden dat de onderwatersuppleties een effect hebben op de kust. Dit effect wordt kwantitatief uitgedrukt middels enkele geschikte kentallen, waarvan er hier enkele besproken worden: MKL-volume, volume actieve zone, en de posities t.o.v. RSP van de duinvoet (NAP+3m), Gemiddeld HoogWater (GHW" of MHW = "Mean High Water") respectievelijk van Gemiddeld LaagWater (GLW of MLW). Om ons niet in details te verliezen worden de kentallen voor enkele deel-kustvakken gemiddeld over enkele onderling vergelijkbare raaien. Deze deel-kustvakken zijn het gesuppleerde kustvak, twee gedeelten (elk ongeveer de helft) daarvan, en twee aangrenzende kustvakken. Bij de koppen van onderwatersuppleties treden soms lokale bijzondere (kop-) effecten op, die minder representatief worden geacht voor de suppletie als geheel. Raaien over de koppen worden daarom uit de middeling weggelaten. Zonodig worden ze (te zijner tijd) separaat beschouwd.

Onderwatersuppletie Egmond

Vooralsinds 1990 toont (Fig. 4-1) de noordelijke helft van het huidige suppletievak (alsmede het vak ten noorden daarvan, niet getoond) een geleidelijke vooruitgang van de MKL, mogelijk ten gevolge van de diverse strandsuppleties. Na de onderwatersuppletie (die grotendeels onder de MKL-schijf is aangebracht) worden daar recordwaarden bereikt. Ondanks de sterk afnemende waarden in het laatste jaar, na het bereiken van de piek, lijkt de positieve trend van na 1990 zich voort te zetten.

Ook ten zuiden van het suppletievak is de overall trend sedert 1990 positief (niet getoond). Dit lijkt anders te liggen in de zuidelijke helft van het suppletievak: daar lijkt de trend van 1990 tot aan de onderwatersuppletie eerder negatief, net als in de periode voor 1980 overigens, en lijken de waarden die van vóór 1980 te willen benaderen. Omstreeks het moment van de strand- en onderwatersuppletie 1999 leek het dieptepunt bereikt te zijn, maar erna nam de MKL zelfs nog wat verder af. Sedert de extra strandsuppletie 2000 neemt het MKL-volume weer sterk toe, tot waarden die boven het gemiddelde van de periode 1965-1999 liggen.

Voor het suppletievak als geheel lijkt het MKL-volume sinds 1990 te groeien, sedert de onderwatersuppletie in versterkte mate.

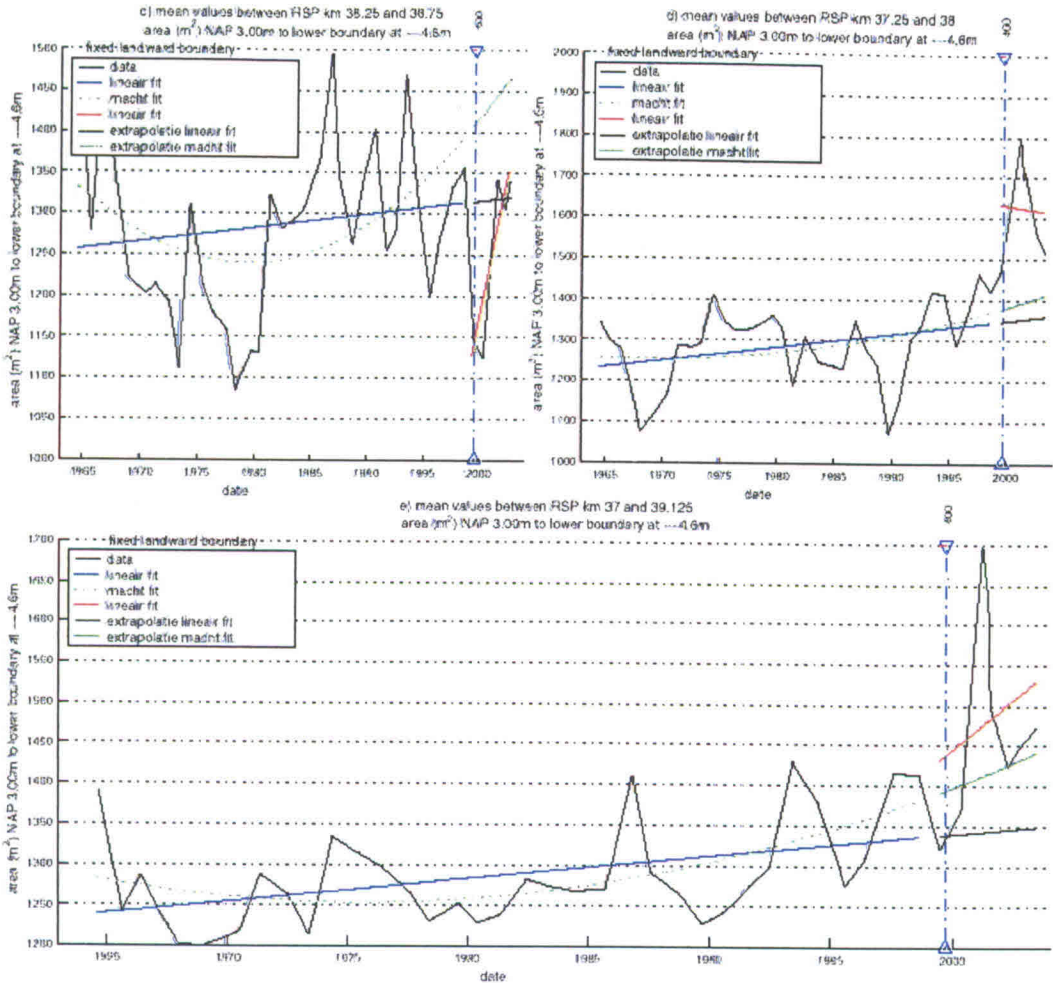


Fig. 4-1 Gemeten MKL-volume per strekkende meter als functie van de tijd in het suppletievak Egmond.

Onder: gemiddeld over (het grootste deel van) het vak van de onderwatersuppletie Egmond (1999, tijdstip aangegeven met verticale lijn)

Links- resp. rechtsboven: dito voor diens zuidelijke resp. noordelijke helft.

Enige tijd na de suppletie worden waarden bereikt zoals voorheen niet gemeten, ook niet na eerdere strandsuppleties.

N.B. De beide helften van het suppletievak gedragen zich onderling verschillend.

Voor de **actieve zone**, hier genomen als volume tussen NAP+3 m en NAP-7m, zien we ongeveer dezelfde trends als voor de MKL-zone (Fig. 4-2), zij het dat dit volume voor het *totale* vak sedert 1990 ongeveer constant lijkt te blijven. Het gecombineerde volume van onderwatersuppletie en strandsuppleties (ca. 400 m³/m resp. 200 m³/m, omgerekend naar het hele vak) is herkenbaar in het gemiddelde actieve volume voor het hele suppletievak, bijvoorbeeld. We zien dat dit volume in het jaar 2001 (inclusief de winter 2001/2002) ongeveer halveert en daarna constant lijkt te blijven.

De **duinvoetpositie** (hier niet getoond, we verwijzen naar het rapport dat in 2004 verschijnt) is na de aanleg van de strandsuppletie(s) 1999 (en 2000) redelijk vooruitgegaan, en ligt in 2003 nog steeds duidelijk zeewaarts van de gebruikelijke waarden in het verleden.

De gemiddeld hoogwater (GHW, of mean high water: MHW) en gemiddeld laagwater (GLW/MLW) lijnen liggen eveneens gunstig t.o.v. het verleden, in het hele suppletievak en vooral in de noordelijke helft. In de zuidelijke helft blijft de MLW/GLW een beetje achter.

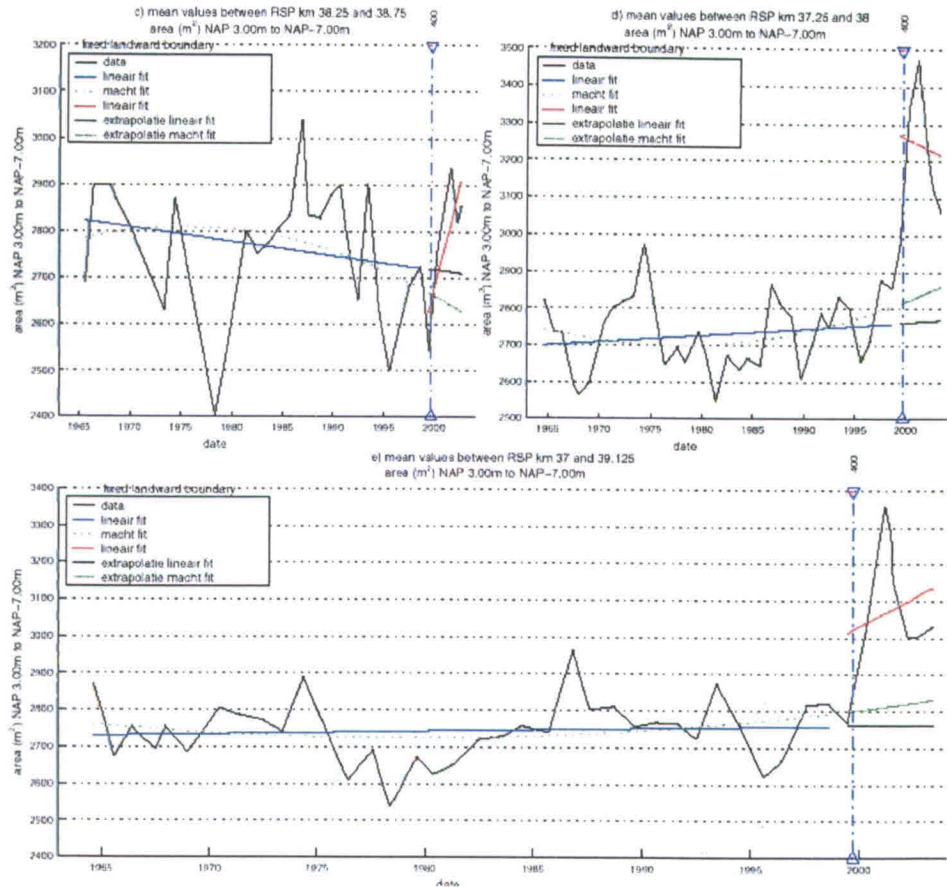


Fig. 4-2 Gemeten volume actieve zone (tot NAP-7m) per strekkende meter als functie van de tijd in het suppletievak Egmond.

Onder: gemiddeld over (het grootste deel van) het vak van de onderwatersuppletie Egmond (1999, tijdstip aangegeven met verticale lijn)
 Links- resp. rechtsboven: dito voor diens zuidelijke resp. noordelijke helft.
 Enige tijd na de suppletie, en zelfs na de relatief sterke achteruitgang sinds 2001, worden waarden bereikt zoals voorheen niet gemeten, ook niet na eerdere strandsuppleties.

N.B. De beide helften van het suppletievak gedragen zich onderling verschillend.

Onderwatersuppletie Bergen

De volumes in de MKL (Fig. 4-3) en de actieve zone (NAP+3m tot NAP-7m, niet getoond) in het suppletievak bij Bergen vertonen kwalitatief grote overeenkomst. Ze hebben sinds de onderwatersuppletie waarden bereikt die nooit eerder (sinds 1965) zijn voorgekomen. In tegenstelling tot bij Egmond, lopen de waarden bij Bergen juist in de noordelijke helft sinds het bereiken van een piek wat terug terwijl die in de zuidelijke helft nog stijgen.

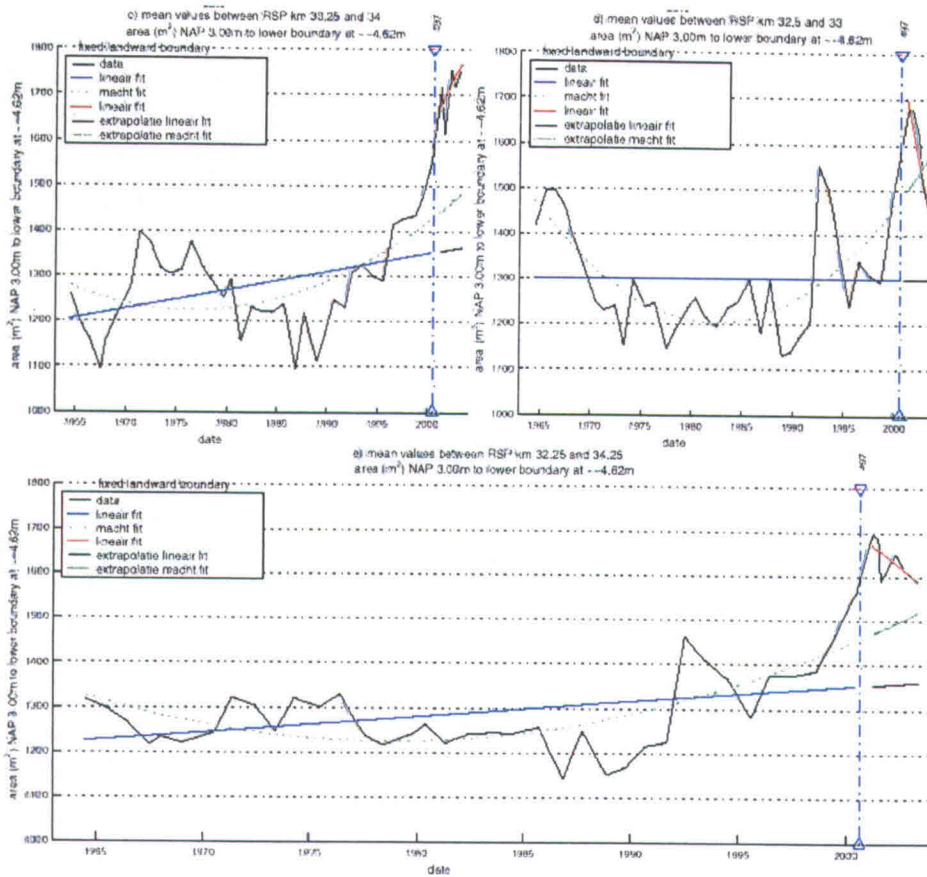


Fig. 4-3 Gemeten MKL-volume per strekkende meter als functie van de tijd, gemiddeld over het vak van de onderwatersuppletie Bergen (2000, tijdstip aangegeven met verticale lijn).
Onder: gemiddeld over het vak van de onderwatersuppletie Bergen (2000, tijdstip aangegeven met verticale lijn)
Links- resp. rechtsboven: dito voor (het grootste deel van) diens zuidelijke resp. noordelijke helft.

De **duinvoetpositie** ligt sedert 2000 eveneens verder zeewaarts dan ooit (sinds 1965) tevoren. De **GHW** en **GLW** liggen eveneens duidelijk zeewaarts van de posities die ze volgens de trend uit het verleden zouden moeten hebben.

5. Discussie en conclusies

De brekerbanken in het kustvak **Bergen-Egmond** (één tot twee banken die met de jaren geleidelijk zeewaarts verschuiven, waarbij er bij de kust een nieuwe bank ontstaat wanneer de oude buitenste bank voldoende is afgestorven) hebben de opvallende neiging zich op te delen in segmenten (lengte ongeveer 2 km). Op de verbindingen van deze segmenten, door ons vooralsnog "druppels" genoemd, ligt de bank lokaal het dichtst bij de kust en het hoogst (t.o.v. NAP). De druppels, die jaren lang in de opnamen gevolgd kunnen worden, blijken zich in de loop van de tijd (ook) *kustlangs* te kunnen verplaatsen, met snelheden tot zo'n 200 m (netto) per jaar. De richting waarin dit gebeurt (noord- of zuidwaarts langs de kust) blijkt af te hangen van de dominante richting van de opgetreden (hoge) golven. Op het stuk bank tussen twee naburige druppels ligt de banktop lager t.o.v. NAP. Deze verlagingen zou men kunnen associëren met het optreden van muien.

Het strand (positie waterlijn en duinvoet) en de bankstructuur (o.a. lokale positie en hoogte) blijken sterk gekoppeld te zijn: ter hoogte van de druppels bouwt de kust uit (zie bijv. Fig. 2-2 en Fig. 2-3). Deze lokale kustuitbouwen verplaatsen zich *kustlangs* met de druppels, waarmee de variabiliteit in de kustlijn grotendeels beschreven kan worden. In het verleden zijn deze *kustlangs* bewegende kustlijnvormen (min of meer magische) zandgolven genoemd.

Het uitbouwen van de kust ter hoogte van een druppel (en het relatief minder aangetast worden van een strandsuppletie aldaar) kan men toeschrijven aan de lokaal sterkere golfbreking door de bank, waardoor de kust ter plekke relatief beschermd wordt. Landwaarts van de druppel daalt daardoor bijvoorbeeld het *kustlangse* (grotendeels golfgedreven) zandtransport in de brandingszone enigszins, hetgeen resulteert in een wat vergrote zandinhoud [schaduwwerking, salient-effect (door sommigen *tombolo-effect* genoemd hetgeen in dit geval niet juist is), dat o.a. is waargenomen bij de onderwatersuppletie Terschelling]. Het is verleidelijk te denken in termen van oorzaak (druppels schuiven op) en gevolg (lokale kustuitbouw schuift mee). Dit is waarschijnlijk maar een deel van de werkelijkheid, en zou onvoldoende recht doen aan het wederzijds gekoppeld zijn van het natte (o.a. banken) en droge (strand, duin) deel van het profiel.

De (buitenste) brekerbank reageert heftig op het aanbrengen van de onderwatersuppletie(s), bij Egmond meer dan bij Bergen. Zo verandert zijn oriëntatie t.o.v. de kust, en ligt hij nu bij km 32 verder van de kust dan bij km 38 in plaats van omgekeerd (vóór de suppleties). Deze snelle verandering van oriëntatie is opvallend, maar de nieuwe oriëntatie zelf is wel eerder (sedert 1965: JARKUS) waargenomen in het ongestoorde systeem, en wel in de jaren 1971-1973. Dankzij hun kennelijk sterke onderlinge koppeling, in dit kustvak, reageert ook het meer kustnabije deel van het profiel op het veranderen van de brekerbank (zie onder).

De suppleties bij Egmond en Bergen liggen relatief dicht bij elkaar. Toch verschillen de reacties van het kuststelsel in beide gevallen. Dit komt o.a. door lokale verschillen in (1) de beginsituatie (bij Bergen ligt bijvoorbeeld

nog een relict van een vroegere buitenste bank en het banksysteem bij Egmond loopt in fase voor op dat bij Bergen), in (2) de suppletievorm (o.a. bij Egmond symmetrisch rond één druppel, bij Bergen van één druppel naar een volgende; bij Bergen 20% meer zand per strekkende meter; bij Egmond kustdwars ca. 260m breed, bij Bergen ca. 375m, dus smaller resp. breder dan de natuurlijke afstand van ca. 300m tussen de twee brekerbanken!!), in (3) de golfomstandigheden in de eerste winter na aanleg (1999/2000 had méér golven uit het noorden dan 2000/2001).

De druppel bij km 38 komt t.g.v. de onderwatersuppletie Egmond (km 37-39) dicht naar de kust en bereikt aldaar een recordhoogte van -2m NAP, die slechts éénmaal in het verleden (JARKUS) benaderd is

[nl. in 1974 toen bij km 38 het uiteinde van de buitenste bank afstierf doordat dat deel van de bank aanlandde tegen de nieuwe brekerbank (we denken dat afsterven van de buitenste bank gepaard gaat met het op specifieke plekken doorgeven van zand aan de binnenste bank, maar het is uitzonderlijk dit zo duidelijk waar te nemen, vlak onder de kust)].

Door deze recordhoogte, na de onderwatersuppletie, wordt het strand met de strandsuppleties (1999 en 2000), maximaal beïnvloed. D.w.z. het strand, dat bij km 38 al een zeewaartse uitstulping vertoonde vóór de strandsuppletie, kan bij km 38 lokaal zeer geprononceerd uitbouwen ter hoogte van deze druppelpositie. Dit kan ten koste gaan van het aangrenzende strand. Bij de sterke landwaartse verplaatsing van de druppel bij km 38 verlaagde de brekerbank in de zuidelijke helft van het suppletievak verder. Door deze ondiepte in de bank werd de kust tussen km 38 en 39 in de winter 1999/2000 onvoldoende beschermd en werd de strandsuppletie (km 38.0-38.8) van 2000 noodzakelijk. De brekerbank (van ten noorden van km 38) verbond zich in de volgende winter (2000/2001) met de (nieuwe, eerst nog binnenste) bank ten zuiden van km 38, een zogeheten barswitch. Oorzaak is de landwaartse migratie van bank bij de onderwatersuppletie en de voortgaande zeewaartse migratie van het zuidelijke banksysteem. De switch kwam juist in deze winter tot stand door de overheersend zuidelijke golfrichtingen, waarbij de oorspronkelijk min of meer rechte bank(en) zich plooid(en) om de golvende kustlijnvormen, met een duidelijke trogvorming tussen waterlijn en (eerste) bank. Dit is een voorbeeld van een situatie waarbij de beïnvloeding juist van het hogere naar het lagere deel van het kustprofiel lijkt te gaan. Bij de switch wordt ook de druppel uitgesmeerd in een soort boemerang om de kust. Een dergelijke vorm bij km 38 trad ook op bij de genoemde aanlanding in de winter 1973/1974. Na de huidige barswitch treedt rond km 39 géén extra erosie meer op, dankzij de beschermende werking van de nieuw gevormde brekerbank.

Een soortgelijke (gedeeltelijke) barswitch is in de natuurlijke situatie eerder waargenomen in de buurt van km 39, en wel in enkele opnamen in de periode 1993-1990, met name in de jaren 1984, 1987-1989, toen de buitenste bank bij km 38-39 afstierf. Daarna was de nieuwe buitenste bank weer ononderbroken in het beschouwde traject km 29-42. Sedert de barswitch van 2000/2001 blijft de nieuwe bank ten zuiden van km 38 verbonden met de (oorspronkelijk) buitenste bank ten noorden ervan, maar in de jongste opnamen van 2003 lijkt het erop dat hij zich zou kunnen gaan verbinden met de nieuwe bank ten noorden van km 37. Dit zou de switch grotendeels teniet doen. Afgewacht moet worden hoe lang de barswitch blijft bestaan, en of dit bijvoorbeeld even lang of juist meer wordt dan in de natuurlijke situatie (zijnde 3-5 jaar). Bij Bergen lijken dergelijke rolwisselingen en barswitches (afgezien van de tijdelijke verbinding bij km 34 in 2002) niet of nauwelijks op te treden.

De boogvorming in de winter 2000/2001 is ook bepalend geweest voor de eerste reactie van de brekerbank bij Bergen op de onderwatersuppletie aldaar. In de daaropvolgende periode worden de bank en daarmee de kustlijn bij Bergen, net als die bij Egmond overigens, in stand gehouden door de onderwatersuppletie, deels dankzij de schaduw- of salient-werking ervan.

Conclusies

Zowel bij Egmond als Bergen vervormt het zandlichaam van de onderwatersuppletie zich direct tot een bank/trogsysteem. Bij Egmond komt deze bank midden op het suppletielichaam te liggen, (en de trog landwaarts ervan, waarbij de oorspronkelijke buitenste bank landwaarts wordt gedrukt), bij Bergen vormt zich de bank daarentegen op de zeewaartse helft van het lichaam (met de trog in de landwaartse helft, en wordt de oorspronkelijke bank minder beïnvloed). Het ziet er naar uit dat

- De kustdwarse breedte van een onderwatersuppletie (bij het huidige ontwerp: suppletie met horizontaal bovenvlak tegen buitenste bank, met een volume vergelijkbaar met dat van de bank) bepaalt of en in hoeverre de brekerbank landwaarts wordt gedrukt (nl. vooral bij een breedte kleiner dan de afstand tussen natuurlijke brekerbanken).
- Na/door de onderwatersuppletie is de buitenste bank ten zuiden van km 38 verder verlaagd, hetgeen gedeeltelijk verantwoordelijk is voor de teruggang (2000) in de zuidelijke helft van het suppletievak van de MKL na de strandsuppletie 1999.
- Door de onderwatersuppleties heeft deze bank een vorm aangenomen die eerder niet of nauwelijks is voorgekomen, met een naar het noorden steeds grotere afstand tot de kust.
- De excentriciteit van de ca. 2 km lange segmenten lijkt na de onderwatersuppleties groter dan ooit.

Gezien vanuit de diverse kentallen als MKL etc. lijkt het effect van de onderwatersuppleties positief. Het ziet er naar uit dat

- de onderwatersuppleties de levensduur van de strandsuppleties verlengen,

in die zin dat de BKL langer gehandhaafd blijft (op een incidentele raai na) door de combinatie strand/onderwatersuppletie dan door enkel een strandsuppletie. Bij Bergen is er sedert de aanleg van de onderwatersuppletie + strandsuppletie geen noodzaak geweest voor verdere maatregelen, en vooralsnog lijken deze nog niet nodig.

- Het lijkt er dan ook op dat de doelstelling onderwatersuppletie Bergen (verlengen van de periode dat de BKL gehandhaafd blijft) fraai gehaald gaat worden.

Bij Egmond is in 2000, het jaar na de strand- en onderwatersuppletie, een extra strandsuppletie rond km 38.5 uitgevoerd omdat de MKL lokaal onderschreden werd. De zuidelijke helft van het suppletievak lijkt zich ook daarna qua MKL slechter te gedragen dan de noordelijke helft, maar de waarden van de diverse parameters (MKL, duinvoetpositie, GHW) zijn anno 2003 nog redelijk tot goed. In de noordelijke helft zijn de waarden nog uitstekend,

- zodat de onderwatersuppletie bij **Egmond** zich ook goed lijkt te gedragen.

Het lijkt erop dat voor zowel Egmond als Bergen het merendeel van het zand uit het suppletielichaam is verdwenen. Hierbij verdween alleen al in de winter 2001/2002 orde de helft van het resterende zand. We denken dat dit zand via de koppen van de suppleties is opgegaan in de buitenste bank ter plekke, en daarmee

- waarschijnlijk grotendeels zijwaarts uit de gesuppleerde kustvakken is verdwenen.

Onduidelijk is in hoeverre het restant van de suppleties lokaal nog een positieve invloed heeft op de kust. Bij Bergen zijn de reserves o.a. in MKL-volumes momenteel redelijk. Daarom zijn

- bij Bergen vooralsnog geen maatregelen nodig.

Bij Egmond lijken de reserves in de zuidelijke helft van het suppletievak minder. Een

- nieuwe (onderwater-) suppletie dient ontworpen (locatie, volume, etc.) te worden met gebruikmaking van de jongste inzichten. Met name dient de onderwatersuppletie zich verder zuidwaarts uit te strekken.

Het ziet er naar uit dat de BKL in dit kustvak gehandhaafd kan worden met enkel een onderwatersuppletie, door gebruik te maken van diens invloed op het bankensysteem en daarmee ook op het hogere deel van het profiel.

6. Geraadpleegde literatuur

- Biegel, E.J. and R. Spanhoff, 1996. Effectiveness of a shoreface nourishment Terschelling, The Netherlands. Rijkswaterstaat, National Institute of Coastal and Marine Management.
- Biegel, E.J., R. Spanhoff en A.M. Walburg, 1999. Evaluatie onderwatersuppletie Ameland. Interimrapportage. Rapportnummer: RIKZ/OS-99.162X. Rijksinstituut voor Kust en Zee, RWS.
- Biegel, E.J., R. Spanhoff en A.M. Walburg, 1999. Evaluatie onderwatersuppletie Delfland. Interimrapportage. Rapportnummer: RIKZ/OS-99.147X. Rijksinstituut voor Kust en Zee, RWS.
- Biegel, E.J., 2001. Overzicht tools ten behoeve van de analyse van onderwatersuppleties. Rapportnummer: RIKZ/OS/2001.115X. Rijksinstituut voor Kust en Zee, RWS.
- Boers, M., 1999. Suppleties bij Egmond en Bergen. Rapport RIKZ-99.030. Rijksinstituut voor Kust en Zee, RWS.
- Caljouw, M., K. Kleinhout, 2000, Morphodynamics of the Egmond field site: May 1998 – September 1999, WL I Delft Hydraulics, report Z2822.25, November 2000
- Guillén, J., M.J.F. Stive, M. Capobianco, 1999. Shoreline evolution of the Holland coast on a decadal scale, *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, pp. 517-536
- Hamm, L., M. Capobianco, H.H. Dette, A. Lechuga, R. Spanhoff, M.J.F. Stive, 2002. A summary of European experience with shore nourishment, *Coastal Engineering*, 47, pp. 237-264
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990. Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijnzorg (de eerste kustnota). Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Tweede Kamer, 1989-1990, 21 136
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996. Kustbalans 1995 - de tweede kustnota. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat Generaal Rijkswaterstaat.
- Nipius, L.J., 2002, Evaluation of Nourishments at Egmond with Argus Video Monitoring and Delft3D-MOR, Delft Hydraulics
- NOURTEC, 1997. Innovative nourishment techniques evaluation, Final report. Coord. Rijkswaterstaat, National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, The Hague, The Netherlands, 105 pp with figures. NOURTEC, 1997.
- RIKZ, 2000. Kustlijnkaarten 2000. Rapportnummer: RIKZ-2000.002. Rijksinstituut voor Kust en Zee, RWS.

- Roelse P., 1993. Evaluatie van zandsuppleties, een morfologische beschouwing, interimrapportage. Rapport DGW-93054; RIKZ Middelburg
- Roelse P., 1996. Evaluatie van zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975-1994, een morfologische beschouwing. Rapport RIKZ-96.028; ISBN 90-369-0455-2, RIKZ Middelburg
- Ruessink, B.G., M.C.J.L. Jeuken, 2002, Dunefoot dynamics along the Dutch coast, *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, pp. 1043-156
- Ruig, J de (red), 1995. De kust in breder perspectief, Basisrapport kustnota 1995. Rapport RIKZ-95.005. Rijksinstituut voor Kust en Zee, RWS.
- Rijn, L.C. van, B.G. Ruessink, J. Mulder, 2002, The behaviour of a straight sandy coast on the time scale of storms and seasons, COAST3D – EGMOND, EC MAST Project No. MAS3-CT97-0086, ISBN 90 – 800356-5-3, Aqua Publications, The Netherlands
- Spanhoff, R., E.J. Biegel, J. van de Graaff, P. Hoekstra, 1997, Shoreface nourishment at Terschelling, the Netherlands: Feeder berm or breaker berm?, *Coastal Dynamics '97*, pp. 863-872
- Wijnberg, K.M., 1995, Morphological behaviour of a Barred Coast over a Period of Decades, Proefschrift Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht, ISBN 90-6266-125-4, pp. 245

