

Evaluatie van zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975-1994

Rapport RIKZ -96.028





Rijksinstituut voor kust en zee/RIKZ

Evaluatie van zandsuppleties aan de Nederlandse kust 1975-1994

een morfologische beschouwing

P. Roelse

Rapport RIKZ-96.028
oktober 1996

ISBN 90-369-0455-2

Referaat

In dit rapport wordt de evaluatie beschreven met betrekking tot de effectiviteit van zandsuppleties langs de Nederlandse kust. Zandsuppleties zijn het belangrijkste middel voor het "dynamisch handhaven" van de kustlijn, waarvoor in 1990 is gekozen. Ten behoeve van een voortgangsrapportage aan de Tweede Kamer over de implementatie van het nieuwe kustbeleid werd in 1993 de doelmatigheid van twaalf zandsuppleties onderzocht. Omdat de sinds 1991 uitgevoerde "handhavingssuppleties" zich toen nog niet leenden voor een evaluatie vanwege de korte ervaringstijd, werden suppleties van voor 1990 geëvalueerd.

In 1995 is de doelmatigheid van zandsuppleties onderzocht in vijf kusttrajecten, waar al diverse malen is gesuppleerd. Hierbij zijn ook de vanaf 1991 uitgevoerde handhavingssuppleties meegenomen. Geconcludeerd wordt dat het suppleren van zand voor een dynamische kust als de Nederlandse een doelmatige methode is om de zandbalans in evenwicht te houden en om doorgaande kustachteruitgang te stoppen. Daarmee biedt zandsuppletie de mogelijkheid tot behoud van functies van strand en duin, zoals natuur, recreatie en waterkering. Tevens kan een basisvoorziening worden geschapen voor verdere ontwikkeling van deze functies.

Op de schaal van een enkele suppletie bezien is voor elke kubieke meter zand, die door structurele erosie uit het suppletiegebied verdwijnt, meer dan een kubieke meter suppletiezand nodig, gemiddeld 25 % extra. Dit percentage is echter lokatie- en tijdgebonden en varieert nogal door de diversiteit in kustvormen en fluctuaties in het erosiegedrag.

Suppletiezand wordt verspreid over een groter gebied, maar is nog in de kustzone aanwezig. Op een tijd- en ruimteschaal van tientallen jaren en vele kilometers beschouwd is er -naast de normale erosie- dan ook nauwelijks sprake van verlies van suppletiezand. Wel valt zowel toenemende (Texel) als afnemende erosie (bv. Walcheren) waar te nemen.

Trefwoorden

zandsuppletie - kustverdediging - kustbeleid - kustlijnhandhaving

Inhoud

	Figuren	4
	Tabellen	5
	Samenvatting	6
1	Inleiding	12
2	Plan van aanpak	14
2.1	Taakstelling	14
2.2	Samenvatting fase I	15
2.2.1	Doel	15
2.2.2	Methodiek	16
2.2.3	Selectie kustvakken	18
2.2.4	Resultaten	20
2.2.5	Conclusies	21
2.2.6	Nabeschouwing	22
2.3	Evaluatie fase II	23
2.3.1	Doel	23
2.3.2	Methodiek	24
2.3.3	Selectie kustvakken	25
3	Resultaten evaluatie fase II	27
3.1.	Ameland	28
3.2	Texel	35
3.3	Noord-Holland	42
3.4	Schouwen	49
3.5	Walcheren	56
4	Synthese evaluatie fase II	63
5	Conclusies	68
	Literatuur	69

Figuren

-
- 2.1 Berekening van de kengetallen.
 - 2.2 Geëvalueerde suppletieprojecten fase I en kusttrajecten fase II.
 - 2.3 Voorbeeld van het verleggen van grensvlakken bij vertikaal kuberen.

 - 3.1 Ameland; suppleties, kuberingsgrenzen.
 - 3.2 Ameland; inhoudsveranderingen en suppleties, 1965-1995.
 - 3.3 Ameland; inhoudsveranderingen segmenten, 1965-1995.
 - 3.4 Ameland; inhoudsveranderingen rekenstroken, 1965-1995.
 - 3.5 Ameland; inhoudsveranderingen gehele Noordzeekust, 1965-1995.
 - 3.6 Ameland; kustlijnverplaatsingen, 1965-1995.
 - 3.7 Ameland; lange termijn ontwikkeling laagwaterlijn, 1880-1995.
 - 3.8 Ameland; BKL-overschrijdingen 1992 t/m 1996.
 - 3.9 Texel; suppleties, kuberingsgrenzen.
 - 3.10 Texel; inhoudsveranderingen en suppleties, 1965-1995.
 - 3.11 Texel; inhoudsveranderingen segmenten, 1965-1995.
 - 3.12 Texel; inhoudsveranderingen rekenstroken, 1965-1995.
 - 3.13 Texel; inhoudsveranderingen gehele Noordzeekust, 1965-1995.
 - 3.14 Texel; kustlijnverplaatsingen, 1965-1995.
 - 3.15 Texel; BKL-overschrijdingen 1992 t/m 1996.
 - 3.16 Noord-Holland; suppleties, kuberingsgrenzen.
 - 3.17 Noord-Holland; inhoudsveranderingen en suppleties, 1965-1995.
 - 3.18 Noord-Holland; inhoudsveranderingen segmenten, 1965-1995.
 - 3.19 Noord-Holland; inhoudsveranderingen rekenstroken, 1965-1995.
 - 3.20 Noord-Holland; kustlijnverplaatsingen, 1965-1995.
 - 3.21 Noord-Holland; BKL-overschrijdingen 1992 t/m 1996.
 - 3.22 Schouwen; suppleties, kuberingsgrenzen.
 - 3.23 Schouwen; inhoudsveranderingen en suppleties, 1966-1995.
 - 3.24 Schouwen; inhoudsveranderingen segmenten, 1966-1995.
 - 3.25 Schouwen; inhoudsveranderingen rekenstroken, 1966-1995.
 - 3.26 Schouwen; inhoudsveranderingen gehele Noordzeekust 1965-1995.
 - 3.27 Schouwen; kustlijnverplaatsingen, 1975-1995.
 - 3.28 Schouwen; BKL-overschrijdingen 1992 t/m 1996.
 - 3.29 Walcheren; suppleties, kuberingsgrenzen.
 - 3.30 Walcheren; inhoudsveranderingen en suppleties, 1975-1995.
 - 3.31 Walcheren; inhoudsveranderingen segmenten, 1975-1995.
 - 3.32 Walcheren; inhoudsveranderingen rekenstroken, 1975-1995.
 - 3.33 Walcheren; kustlijnverplaatsingen, 1975-1995.
 - 3.34 Walcheren; lange termijn ontwikkeling laagwaterlijn, 1882-1992.
 - 3.35 Walcheren; BKL-overschrijdingen 1992 t/m 1996.

 - 4.1 Volumeveranderingen en kustlijnverplaatsingen voor vijf onderzochte kustvakken.
 - 4.2 Procentuele overschrijding van de basiskustlijn.

Tabellen

- 0.1 Overzicht geselecteerde suppletieprojecten t.b.v. de evaluatie op lokale aspecten.
- 0.2 Overzicht geëvalueerde kustvakken t.b.v. grootschalige effecten.

- 2.1 Geselecteerde suppletieprojecten t.b.v. evaluatie fase I.
- 2.2 Samenvatting kengetallen.
- 2.3 Geselecteerde kusttrajecten t.b.v. evaluatie fase II.
- 2.4 Specificaties bewerkingen.

- 3.1 Zandsuppleties Ameland, traject Zwanewaterduinen-Het Oerd.
- 3.2 Zandsuppleties Texel, traject De Koog-Bolwerk.
- 3.3 Kenmerkende zandverliezen Texel.
- 3.4 Zandsuppleties Noord-Holland, traject Den Helder-Pettemer Zeewering.
- 3.5 Zandsuppleties Schouwen, traject westkust.
- 3.6 Schouwen; karakteristieke erosieperioden.
- 3.7 Zandsuppleties Walcheren, traject Westkapelle-Zoutelande.
- 3.8 Traject Westkapelle-Zoutelande, gemiddelde kustverplaatsing (m/jaar) in de periode 1973 t/m 1987.

- 4.1 Overzicht geëvalueerde kusttrajecten t.b.v. grootschalige effecten.

Samenvatting

Dynamisch handhaven

In 1990 is door regering en parlement gekozen voor een nieuw landelijk beleid ten aanzien van de kustverdediging: "dynamisch handhaven" (Min. Verkeer & Waterstaat, 1990). De kern van dit nieuwe beleid is dat de kustlijn wordt gehandhaafd op de positie van 1990. Om dit te realiseren worden sinds 1991 elk jaar zandsuppleties uitgevoerd langs de Nederlandse kust om de erosie te compenseren. In de jaren 1991 tot en met 1995 werd jaarlijks gemiddeld 6 miljoen kubieke meter zand op de stranden en de vooroevers gebracht, voor een bedrag van gemiddeld 55 miljoen gulden per jaar. Met het suppleren van zand is in Nederland al gedurende twintig jaar ruime ervaring opgedaan. Deze flexibele vorm van kustverdediging blijkt een aantal voordelen te hebben ten opzichte van de in het verleden veelvuldig toegepaste harde verdedigingsconstructies.

Kustbalans 1995

Vijf jaar na de beleidskeuze voor "dynamisch handhaven" is de balans opgemaakt. Het voorliggende rapport geeft een morfologische evaluatie van de Nederlandse zandsuppleties, een van de onderbouwende studies ten behoeve van Kustbalans 1995, de Tweede Kustnota. Behalve de ervaringen met de in het kader van "dynamisch handhaven" uitgevoerde suppleties zijn hierbij ook de ervaringen met eerdere suppleties betrokken.

Vooruitlopend op de Tweede Kustnota heeft de minister de Tweede Kamer reeds in 1993 door middel van een "interimrapportage" geïnformeerd over de voortgang van de implementatie van het nieuwe kustbeleid. Ook hiervoor is door middel van een interim-rapport een onderbouwing geleverd.

Morfologische evaluatie

De morfologische aspecten van zandsuppleties zijn geëvalueerd in het project EVAZAND (EVAluatie ZANDsuppleties). Hierin is samengewerkt door het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ, voorheen Dienst Getijdewateren) en de regionale directies Noord-Nederland (voorheen Friesland), Noord-Holland, Zuid-Holland en Zeeland van de Rijkswaterstaat. Het voorliggende rapport betreft de eind-rapportage van de evaluatie. Ten behoeve van de bovengenoemde interimrapportage werd in 1993 over de eerste fase van het project gerapporteerd (rapport DGW-93.054).

Korte termijn-effecten

Voor een beoordeling van de korte termijn-effecten zijn in 1993 twaalf suppletieprojecten beschouwd, die gezamenlijk 52% omvatten van het totale suppletievolume in de periode 1973 t/m 1988 (tabel 0.1). Evaluatie van de sinds 1991 uitgevoerde "handhavingssuppleties" was in 1993 niet mogelijk omdat de meetperiode na het suppleren nog te kort was. Bij de evaluatie is de kustontwikkeling na het suppleren vergeleken met de uitgangspunten van het ontwerp. Deze uitgangspunten waren gebaseerd op de kustontwikkeling vóór het suppleren. Een nadeel van deze methode is dat veranderingen in de natuurlijke kustontwikkeling niet in rekening worden gebracht. Dit vertekent het effect van de suppletie. Bij de evaluatie zijn diverse

kenmerken van de kust onderzocht. Vanuit de rijkstaak gezien zijn de handhaving van de basiskustlijn en de erosiesnelheid (effectiviteit) van het suppletiezand onderzocht. Voor de overige belangen in de kustzone zijn het strand- en duinvolume (waterkering), de strandbreedte (recreatie) en de duinvoet (natuur) onderzocht.

Op de meeste plaatsen werd door de suppleties de kustachteruitgang goed tot staan gebracht. Op Ameland werd dit mede bewerkstelligd door een afnemende natuurlijke erosie in het suppletiegebied. Op Schouwen en bij Cadzand was het goede resultaat te danken aan een ruime suppletiedimensionering. Bij enkele suppleties in Noord-Holland, met een beoogde levensduur van 10 jaar of meer, viel de natuurlijke erosie tegen zodat de oorspronkelijke kustlijn eerder werd overschreden dan volgens het ontwerp.

Bij de evaluatie van de korte termijn-effecten is de effectiviteit van het suppletiezand bepaald door vergelijking van de kusterosie vóór en ná het suppleren. Op deze wijze werd gemiddeld een effectiviteit van ca. 80% gevonden. Het nadeel van deze methode is echter dat een veranderende natuurlijke ontwikkeling mede de effectiviteit bepaalt. Hierdoor liepen de resultaten nogal uiteen. Bij Callantsoog en bij Cadzand bleek de effectiviteit niet groter dan 30%. Bij Cadzand werden de strandhoofden ondergesuppleerd. In het ontwerp was hiermee rekening gehouden, zodat de kustlijn toch goed werd gehandhaafd. Bij Callantsoog had het weg lopen van brekerbanken en zandgolven een negatief effect op de kustontwikkeling. Op Ameland bleek de berekende effectiviteit zeer goed. Ten oosten van het suppletievak trad echter erosie op. Achteraf gezien was -rekening houdend met de migrerende zandgolf- een ontwerp met een meer oostwaarts gelegen suppletiegebied logischer geweest.

Door de suppleties werden de duinveiligheid, de natuur en de strandrecreatie overwegend goed tot zeer goed gediend. Alleen bij het Zwanenwater in Noord-Holland kon het duinfront niet op de oorspronkelijke positie worden behouden. De ervaringen met de "oude" suppleties worden in de huidige suppletiepraktijk toegepast. Dit betekent bijvoorbeeld dat bij strandhoofden de levensduur (en dus het zandvolume) wordt afgestemd op de werking van de hoofden en dat de zandverdeling langs de kust zo goed mogelijk wordt afgestemd op het veranderende erosiepatroon. Suppleren is dus maatwerk. Het gebruik van grover suppletiezand zou de effectiviteit ten goede kunnen komen. Uit de spaarzame gegevens die hiervan beschikbaar zijn kon bij de evaluatie echter geen indruk van de bijdrage aan de effectiviteit worden verkregen. Dit aspect zal in het recent gestarte onderzoeksprogramma KUST*2000 worden opgepakt.

Lang termijn-effecten

Voor een evaluatie op een grote tijd- en ruimteschaal zijn vijf kustvakken onderzocht, in lengte variërend van 4 tot 19 kilometer (tabel 0.2). Behalve de JARKUS-periode is voor enkele kustvakken tevens de lange termijn-ontwikkeling sedert 1880 beschouwd. Per vak zijn 3 à 6 suppleties uitgevoerd. Van elk kustvak is de ontwikkeling in de tijd van het volume en van de kustlijn onderzocht. De kustlijnpositie is hierbij gemiddeld over het kustvak. Het kustvak met de grootste suppletie-inspanning tot dusver is Texel. Tussen De Koog en het Eierlandsche Gat is sinds 1979 al 14,7 miljoen kubieke meter zand gesuppleerd. Dit heeft de erosie (17 mln m³) echter niet geheel kunnen compenseren. In de overige kustvakken bleek de erosie kleiner dan de totale aangebrachte hoeveelheid zand. Gedeeltelijk hoort dit ook, omdat de laatste suppletie

in een vak nog niet geheel is uitgewerkt. In de kustvakken Ameland, Schouwen en Walcheren is echter ook sprake van een afnemende natuurlijke erosie.

Fluctuaties en trendveranderingen in de ontwikkeling van het zandbudget zijn moeilijk te voorspellen als zich hiervoor geen duidelijke oorzaak aandient. Voor de jaarlijkse suppletie inspanning voor de gehele Nederlandse kust is dit doorgaans geen bezwaar. Zandsuppletie is een zeer flexibele vorm van kustverdediging. Voor mee- of tegenvallende zandverliezen kan worden gecorrigeerd door regelmatige bijstelling van het suppletieprogramma. Toch is gedegen studie van het kustgedrag aan te bevelen om onnodig dure investeringen en evenmin goedkope correctie-suppleties zo veel mogelijk te voorkomen.

Foto 1

Duinafslag is een zeldzaam verschijnsel geworden.



Conclusies

Samenvattend kunnen uit het evaluatie-onderzoek van zandsuppleties de volgende conclusies worden getrokken die van belang zijn voor de uitvoering van dynamisch handhaven:

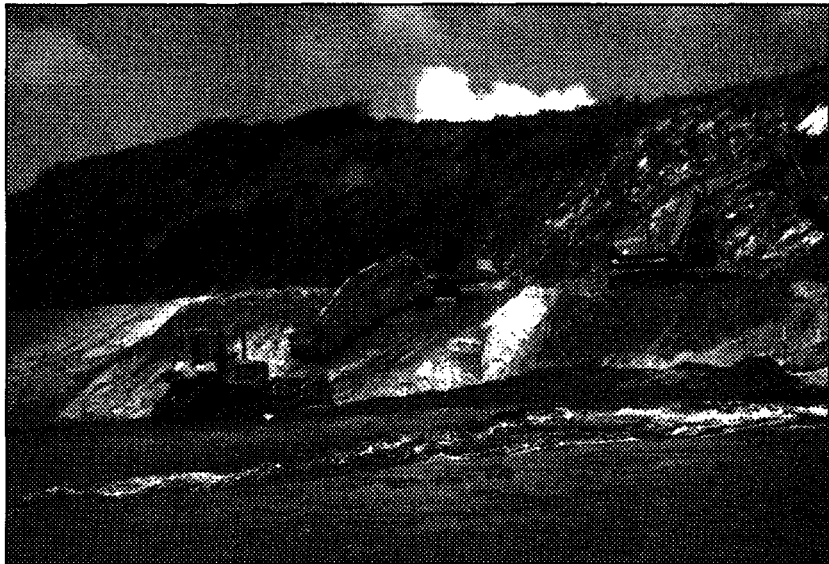
- * Zandsuppletie is voor de Nederlandse kust nu en in de toekomst een doelmatige methode om de kustlijn te handhaven. Aan de noordwestkust van Texel heeft de erosie echter een dermate grote omvang aangenomen dat een harde constructie op lange termijn voordeliger is.
Opm.: In combinatie met een suppletie is in 1995 op de noordpunt van Texel (Eierland) dwars op de kust een dam van ca. 800 m lengte aangelegd
- * Suppleren is maatwerk, waarbij zoveel mogelijk moet worden ingespeeld op de morfologische en hydraulische omstandigheden ter plaatse. Door een goede programmering van de suppleties en door uitgekiend te ontwerpen (herhalingstijd, plaats suppletie in dwarsprofiel) kan de effectiviteit worden verbeterd.
- * In de eerste jaren na het aanbrengen van een suppletie gaat de kust lokaal sneller achteruit dan tevoren. Een suppletie is feitelijk een verstoring van de kustvorm die door de langdurige inwerking van de golven en getij is ontstaan. Hoe groter deze verstoring is, hoe

lager de effectiviteit van het suppletiezand. Uit de evaluatie van 12 "oude" suppleties is gebleken dat voor elke kubieke meter zand die door structurele erosie uit het suppletiegebied verdwijnt, gemiddeld circa 1,25 m³ suppletiezand nodig is. Bij bepaalde suppletievormen kan dit echter aanzienlijk meer zijn. Gevoelig zijn kustvakken met hoofden, waarvan de werking sterk vermindert als ze geheel of gedeeltelijk worden ondergesuppleerd. Andere afwijkingen van het gemiddelde kunnen alleen verklaard worden door veranderingen in het autonome kustgedrag. Uit onderzoek naar de volumeveranderingen op middellange termijn van lange kusttrajecten waar diverse keren is gesuppleerd, kon niet worden afgeleid dat door het suppleren de erosie gemiddeld is toegenomen. Van nature optredende trendveranderingen laten een dergelijke conclusie niet toe.

- * Suppleties met een lange levensduur (10 jaar of meer) zijn uit morfologisch oogpunt ongewenst, omdat de aangebrachte verstoring dan relatief groot is en omdat dan niet optimaal kan worden ingespeeld op de natuurlijke dynamiek die zo kenmerkend is voor een duinenkust. Sinds het tijdperk van "dynamisch handhaven" worden geen suppleties met een lange levensduur meer uitgevoerd.
- * Zandbuffers tegen het duinfront ("banketten") hebben, vanuit de optiek van handhaven van de kustlijn, alleen zin als deze de verstoring van het "natte" profiel dermate verminderen dat de erosie minder snel verloopt. Dit kan het geval zijn bij de aanwezigheid van een diepe getijgeul vlak voor het strand. Langs de Waddenkust en de Hollandse kust lijkt het nut van banketten gering omdat door de sterke golfwerking het zand in korte tijd binnen het kustprofiel wordt herverdeeld. In het Deltagebied, waar de golfaanval gering is en strandhoofden een voornamelijk rol spelen, kan door het toepassen van banketten het zandverlies naar de getijgeul worden beperkt.
- * Suppleren met als doel handhaven van de kustlijn biedt goede uitgangspunten voor het instandhouden van overige functies en waarden op het strand en in de duinen. Er blijkt een duidelijke relatie tussen het handhaven van de kustlijn en de stabiliteit van de duinvoet.

Foto 2

Door erosiebuffers tegen het duin
behoeven de strandvakken minder te
worden opgevuld. De werking van
strandhoofden blijft daardoor beter.
Buffers kosten extra en nemen
recreatie ruimte in beslag.

**Tabel 0.1.**

Overzicht geselecteerde
suppletieprojecten t.b.v. de evaluatie
op lokale aspecten. Tezamen
bevatten ze 52% van het totale
suppletievolume 1973 t/m 1988.

suppletie	jaar	beoogde levensduur (j)	hoeveelheid (Mm ³) (m ³ /m1)		type	beoordeling kustlijn- handhaving	effectiviteit *)	functies kustzone
Ameland	1980	8 à 10	2,20	365	duinfront	++	++	++
Texel, Eierland	1979	5	3,05	510	strand + banket	+	-	+
Texel, Eierland	1985	5	2,85	480	strand + banket	+	+	+
Texel, De Koog	1984	10	3,02	500	strand + banket	-	-	+
Noord-H., Callantsoog	1986	13	1,30	440	strand + duin	+	--	+
Noord-H., Zwanenwater	1987	15 à 20	1,70	400	strand + banket	+	+	-
Zuid-H., Scheveningen	1975	-	0,70	230	strand + banket	?	?	?
Zuid-H., Scheveningen	1985	-	0,33	130	strand + banket	?	?	?
Goeree	1977	5	1,27	420	strand + duinfr	++	?	?
Goeree	1984/85	5	0,86	290	strand	++	?	?
Schouwen	1987	5	1,83	1080	strand + vooroever	++	+	++
Z-Vlaanderen, Cadzand	1988	5	1,02	560	strand + vooroever	++	--	++

Toelichting:
++ zeer goed
+ goed
- matig
-- slecht
? geen gegevens

*) erosie vóór t.o.v. erosie ná suppleren
(niet gecorrigeerd voor autonome trendverandering)

Tabel 0.2.

Overzicht geëvalueerde kustvakken
t.b.v. grootschalige effecten.

Lokatie	kustvak (km)	uitgevoerde suppleties t/m 1994			verandering kustvolume		
		sinds	aantal	volume (10 ⁶ m ³)	periode	hoeveelh. (10 ⁶ m ³)	zandbalans (10 ⁶ m ³)
Ameland	10-20	1980	3	4,87	'80-'95	- 3,98	0,89
Texel	18-31	1979	6	14,76	'79-'95	-15,76	-1,00
N- Holland	05-20	1976	7	5,77	'75-'95	- 4,70	1,07
Schouwen	11-17	1987	2	4,33	'85-'95	- 2,38	1,95
Walcheren	22-26	1984	6	1,61	'84-'95	- 1,25	0,36

Foto 3

Een breed suppletiestrand kan
stufoverlast geven.



1 Inleiding

In 1990 is door regering en parlement gekozen voor een nieuw landelijk beleid ten aanzien van de kustverdediging: "dynamisch handhaven" (Min. Verkeer & Waterstaat, 1990). De kern van dit nieuwe beleid is dat de kustlijn wordt gehandhaafd op de positie van 1 januari 1990. Op plaatsen waar de kust als gevolg van structurele erosie voortdurend achteruit gaat, wordt door het Rijk ingegrepen, meestal in de vorm van zandsuppleties. Structurele erosie is een direct gevolg van gebrek aan zand. Met zandsuppleties wordt dat tekort weer aangevuld.

Langs de Nederlandse kust worden sinds de zeventiger jaren kustsuppleties uitgevoerd. Vanaf 1991 wordt jaarlijks 6 tot 7 miljoen kubieke meter zand aan de kust toegevoegd. Hiermee is per jaar een bedrag van circa 60 miljoen gulden gemoeid. De keuze voor suppleties als belangrijkste middel om de kusterosie te bestrijden is ingegeven door de goede ervaringen met deze werkwijze in binnen- en buitenland. De voordelen van zandsuppletie boven "harde" methoden van kustverdediging, zoals oeverbestortingen en dammen, zijn:

- * het is een effectieve en voordelige werkwijze;
- * suppleren past het best in het kustlandschap
- * zandsuppleties kunnen in omvang en tijd flexibel worden gepland, afgestemd op de plaatsen met de hoogste urgentie;
- * bij zandsuppleties ontstaan geen negatieve effecten op naburige kustvakken;
- * zandsuppletie is goed toepasbaar in combinatie met andere (reeds bestaande) vormen van kustverdediging.

Reacties uit de samenleving en vragen in de Tweede Kamer geven aan dat zandsuppletie niet door iedereen als afdoende wordt ervaren. Mede om die reden zijn voor diverse lokaties oriënterende onderzoeken verricht naar alternatieve maatregelen. Voor een aantal kustvakken met zeer sterke erosie is een nadere studie uitgevoerd naar de mogelijkheden voor een "zeewaartse" kustverdediging. Hierbij wordt getracht de kustlijn met behulp van een harde constructie zodanig in zeewaartse richting te verschuiven dat die vervolgens met minder inspanning kan worden gehandhaafd. Voor Texel is uit de studie gebleken dat een circa 800 m lange dam dwars op de kust op een termijn van enkele decennia aanzienlijk voordeliger kan zijn dan periodieke zandsuppleties. De constructie van de dam is inmiddels gereed gekomen.

In 1995 wordt de beleidskeuze voor "dynamisch handhaven" geëvalueerd. De doelmatigheid van zandsuppleties speelt hierbij een centrale rol. Daarom is eind 1991 door de Rijkswaterstaat het project EVAZAND (evaluatie zandsuppleties) gestart. Dit project is primair gericht op de morfologische aspecten van kustsuppleties.

Het project EVAZAND is een samenwerkingsverband tussen het Rijksinstituut voor Kust en Zee/ RIKZ (t/m 1993 Dienst Getijdewateren) en de regionale directies Noord-Nederland, Noord-Holland, Zuid-Holland en Zeeland van de Rijkswaterstaat.

De taken zijn als volgt verdeeld:

RIKZ	projectcoördinatie, evaluatiemethodiek, grootschalige zandbalansen, rapportage
Regionale directies	projectgegevens, evaluatieberekeningen

De evaluatie van zandsuppleties op niet-morfologische aspecten vindt plaats in andere kaders. Zo zijn de uitvoerings- en kostprijaspecten door de Regionale Werkgroep RKB onderzocht en heeft de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen in samenwerking met het Rijksinstituut voor Kust en Zee studies naar de ecologische effecten geïnitieerd. Integratie van kennis op het gebied van uitvoering, kostprijsberekening en morfologie heeft inmiddels geleid tot een Bedrijfsmodel Zandsuppleties, waarmee in de planning- en ontwerpfase snel de financiële gevolgen van beslissingen kunnen worden overzien.

Vooruitlopend op de Kustnota 1995 heeft de minister in 1993 de Tweede Kamer geïnformeerd over de voortgang van de implementatie van het nieuwe kustbeleid door middel van een "voortgangsrapportage 3 jaar dynamisch handhaven" (Hillen, 1993). Ten behoeve van deze voortgangsrapportage is eind 1993 fase I van het project EVAZAND afgerond. Hierin zijn 12 suppleties geëvalueerd op hun morfologische doelmatigheid. Omdat nog onvoldoende ervaring was opgedaan met de na 1990 uitgevoerde "handhavingssuppleties", zijn alleen suppleties van vóór 1991 onderzocht. Dit houdt in dat deze suppleties feitelijk niet als handhavingssuppleties zijn te beschouwen. Toch kon aan deze suppleties belangrijke informatie worden ontleend voor de uitvoeringspraktijk van de generatie suppleties ná 1990, bijvoorbeeld over vormgeving, levensduur, erosiecompensatie, strandbreedte, etc.

Fase I van EVAZAND richtte zich op de tijd- en ruimteschaal van één suppletie. Dit houdt in dat de effecten op aangrenzende kustvakken niet zijn bepaald, evenmin als de onderlinge beïnvloeding van in de loop der tijd in een bepaald kusttraject uitgevoerde suppleties. In fase II van EVAZAND zijn 5 kusttrajecten onderzocht, waarin reeds enkele malen is gesuppleerd. Omdat grotere tijd- en ruimteschalen zijn beschouwd, is het wel mogelijk om bij de analyse van de ontwikkeling van de zandinhoud van deze kusttrajecten de bijdragen te betrekken van de na 1990 uitgevoerde handhavingssuppleties.

Het voorliggende rapport is de eindrapportage van EVAZAND, een van de onderbouwende studies van het basisrapport Kustnota 1995, "De kust in breder perspectief" (Ruig, 1995) en van de uiteindelijke tweede kustnota, "kustbalans 1995." De opbouw van dit rapport is als volgt: In hoofdstuk 2 wordt de aanpak van EVAZAND geschetst en wordt aan de hand van de bevindingen van fase I de invulling van fase II onderbouwd.

Hoofdstuk 3 beschrijft per kustvak de resultaten van fase II.

In hoofdstuk 4 worden op basis hiervan conclusies getrokken.

In hoofdstuk 5 zijn de conclusies samengevat, die van belang zijn voor de uitvoering van het in 1990 ingezette kustbeleid.

2 Plan van aanpak

2.1 Taakstelling

De evaluatie van een zandsuppletie of een reeks suppleties kan vanuit verschillende optieken plaatsvinden. Onderstaand zijn de voornaamste invalshoeken genoemd met vermelding van de aspecten, die hierbij van belang zijn:

- opdrachtgever	doelmatigheid, kosten-effectiviteit, neveneffecten, besluitvorming
beleid	planning, budgettering, ontwerp, bestek/aanbesteding, directie, monitoring, verrekening
beheer	ijking ontwerpmethodieken, ontwikkeling decision-support-systems
- adviseur	kosten, werkmethode, planning
- aannemer	vergroting proceskennis
- wetenschap	veiligheid, natuur, strandrecreatie, waterwinning
- andere belangen	

Ten behoeve van het "Basisrapport Kustnota 1995" wordt met name vanuit de invalshoeken van de opdrachtgever en de adviseur geëvalueerd. Daarnaast wordt aandacht geschonken aan andere belangen. Bij RIKZ (voorheen Dienst Getijdewateren) zijn hiervoor twee projecten uitgevoerd:

- BELKUST, gericht op de implementatie van het handhavingsbeleid, en
- EVAZAND, gericht op de doelmatigheid van zandsuppleties, waarbij het accent op de morfologie ligt.

Voorts zijn er raakvlakken met andere RIKZ-projecten, zoals:

- JARKUS, de jaarlijkse kustmetingen in het kader van de systeemmonitoring in het kustgebied, en
- KUSTKAART, de jaarlijkse toetsing van de actuele kustlijnligging aan de basiskustlijn.

Het beperken van de evaluatie tot de morfologie houdt in dat evaluatie van besluitvorming, kostprijs, bestek en uitvoeringswijze niet in het project EVAZAND zijn meegenomen. In de inleiding zijn reeds de kaders genoemd waarin deze aspecten zijn of worden onderzocht.

Het succes van zandsuppletie kan aan diverse criteria worden afgemeten. Bij de evaluatie op de morfologische aspecten zijn de belangrijkste vragen:

1. Worden met zandsuppleties de doelstellingen van het kustbeleid gehaald?
2. Kan RWS als verantwoordelijke organisatie zijn taak nu en in de toekomst goed uitvoeren?

De eerste vraag heeft betrekking op de drie hoofdfuncties van de kustzone:

- Veiligheid tegen overstroming van het polderland.
Neemt het volume van strand en duin niet meer af?
- Natuur
Kan de duinvoet op zijn plaats worden gehouden?

Behoud van het aanwezige natuurlijk duinareaal is hier tot doel gesteld.

- Recreatie

Is het strand na het suppleren breder of smaller?

Genoemde aspecten kunnen lokaal worden beschouwd. De tijd- en ruimteschaal betreft de omvang en levensduur van een zandsuppletie.

De tweede vraag betreft de normen die in het actieplan van de beleidsnota zijn opgenomen:

- Erosiebestrijding

Kan het zandvolume in de kustzone op peil worden gehouden en hoeveel suppletiezand is nodig om 1 m³ erosie te compenseren?

- Kustlijnhandhaving

Kan de kustlijn op de positie van 1990 worden gehandhaafd?

Bij deze aspecten zal behalve het resultaat van een enkele suppletie, ook het gecombineerde effect van diverse suppleties moeten worden beschouwd.

Omdat de evaluatie is gericht op de haalbaarheid van het kustbeleid over lange termijn, zijn beperkingen opgelegd ten aanzien van de detaillering. De kleinste ruimteschaal omvat een zandsuppletie met de bijbehorende tijdschaal van ca. 5 jaar. Dit betekent dat plaatselijke verschijnselen met een ruimteschaal van enkele meettraaien bij de beoordeling geen rol hebben gespeeld. Er is beoordeeld op het gemiddelde effect. Het betekent ook dat tussentijds uitgevoerde, doorgaans kleine "stormherstel-suppleties" niet zijn beoordeeld. Het omgaan met korte termijn-fluctuaties door stormen of door bijvoorbeeld het gedrag van brekerbanken maakt deel uit van de optimalisatie van het "suppletiebedrijf" van de Rijkswaterstaat. Hoewel deze verschijnselen vaak in het oog springende afslag van strand of duin tot gevolg hebben, maken ze onderdeel uit van de normale dynamiek van de kust. Ze zijn derhalve niet maatgevend voor de beoordeling van zandsuppleties als middel ter bestrijding van structurele erosie.

De evaluatie is gefaseerd uitgevoerd. De eerste fase leverde informatie voor de eind 1993 verschenen voortgangsrapportage "Drie jaar kustlijnzorg" (Hillen, 1993). Deze informatie heeft betrekking op de lokale effecten van een zandsuppletie en geeft voornamelijk antwoord op de vraag of met kustlijnhandhaving de doelstellingen van het kustbeleid kunnen worden gerealiseerd. In de tweede fase zijn de gecombineerde effecten van diverse suppleties in een groter gebied onderzocht. Dit geeft antwoord op de vraag of erosiebestrijding op lange termijn kan worden gerealiseerd.

2.2 Samenvatting fase I

2.2.1 Doel

Fase I had tot doel om binnen de tijdslimiet van de voortgangsrapportage de beschikbare informatie over zandsuppleties te inventariseren en te analyseren. Omdat van de sedert 1991 uitgevoerde zandsuppleties in het kader van kustlijnhandhaving nog onvoldoende gegevens beschikbaar waren, zijn suppleties van vóór 1990 onderzocht. De in het project KUSTGENESE te onderzoeken grootschalige zandbalansen zouden pas na de voortgangsrapportage beschikbaar komen. Daarom is de analyse in fase I beperkt tot individuele suppletieprojecten.

2.2.2 Methodiek

De analyse is afgestemd op de in par. 2.1 gestelde vragen betreffende de doelstellingen van het kustbeleid en de effectiviteit van een zandsuppletie. Worden functies en waarden in de kustzone gehandhaafd, als de kustlijn op zijn plaats wordt gehouden en welke inspanning vergt het laatste? Voor de Rijkswaterstaat, belast met de kustlijnhandhaving, zijn handhaving van de basiskustlijn en erosiecompensatie de belangrijkste criteria voor het resultaat van de suppletie-inspanning. De inspanning zelf kan worden afgemeten aan de effectiviteit van het suppletiezand. Daarnaast is van belang of een suppletie bij het ontwerp qua volume goed is gedimensioneerd. Voor de belangen in de kustzone zijn de volgende criteria maatgevend gesteld:

- recreatie: breedte droog strand;
- veiligheid: volume strand en duin in de afslag-/sedimentatiezone van de maatgevende stormvloed;
- natuur: de positie van de duinvoet als maat voor het behoud van het (natuurlijk) duinareaal.

Ten behoeve van een éénduidige toetsing is per criterium een kengetal (K) berekend:

K1. Handhaving basiskustlijn.

Is (wordt) de basiskustlijn lang genoeg gehandhaafd?

Berekening: verhouding werkelijke handhavingstijd ten opzichte van de beoogde levensduur.

K2. Erosiecompensatie.

Hoe lang is de erosie gecompenseerd in verhouding tot de verwachting?

Berekening: verhouding van de tijd waarin het suppletiezand uit het beschouwde gebied is (zal zijn) verdwenen ten opzichte van de beoogde levensduur.

K3. Ontwerp.

Is de erosie na het suppleren goed ingeschat?

Berekening: verhouding suppletiehoeveelheid volgens het ontwerp ten opzichte van de werkelijk benodigde hoeveelheid.

K4. Effectiviteit suppletiezand.

Hoe groot is de effectiviteit van de suppletie?

Berekening: verhouding autonome erosie ten opzichte van de werkelijke erosie.

K5. Strandbreedte.

Is na het suppleren meer strand beschikbaar dan ervoor?

Berekening: verhouding gemiddelde strandbreedte na het suppleren ten opzichte van de gemiddelde strandbreedte vóór het suppleren.

K6. Volume afslagzone.

Biedt suppleren voldoende mogelijkheden om een veilige waterkering in stand te houden?

Berekening: verhouding werkelijke tijd dat volume is gehandhaafd ten opzichte van de beoogde levensduur.

K7. Stabiliteit duinvoet.

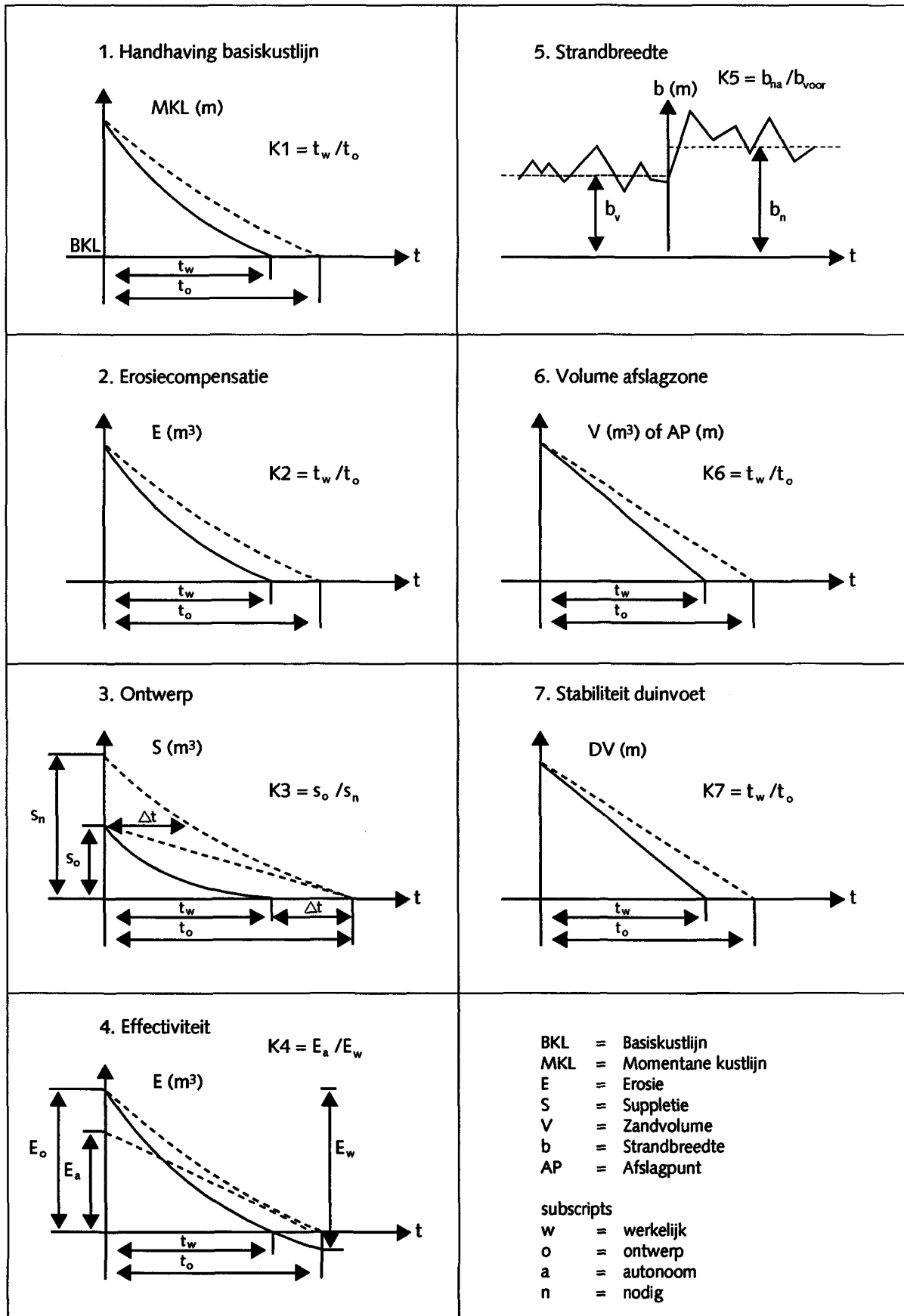
Is met suppleties structureel verlies van duinareaal te stoppen?

Berekening: verhouding werkelijke tijd dat duinvoet beschermd is ten opzichte van de beoogde tijd.

Figuur 2.1 geeft in enkele principeschetsjes de berekeningswijze van de kengetallen weer.

Figuur 2.1

Berekening van de kengetallen



2.2.3 Selectie kustvakken

Afhankelijk van de grootte, het type, de geografische ligging en de beschikbare gegevens is een aantal representatieve suppletieprojecten uit de periode 1975-1990 geselecteerd. De belangrijkste gegevens hiervan zijn in tabel 2.1 vermeld. De situering van deze suppleties is aangegeven in figuur 2.2. Voor uitgebreide informatie over de geselecteerde projecten wordt verwezen naar de interim-rapportage (Roelse en Hillen, 1993).

Tabel 2.1.

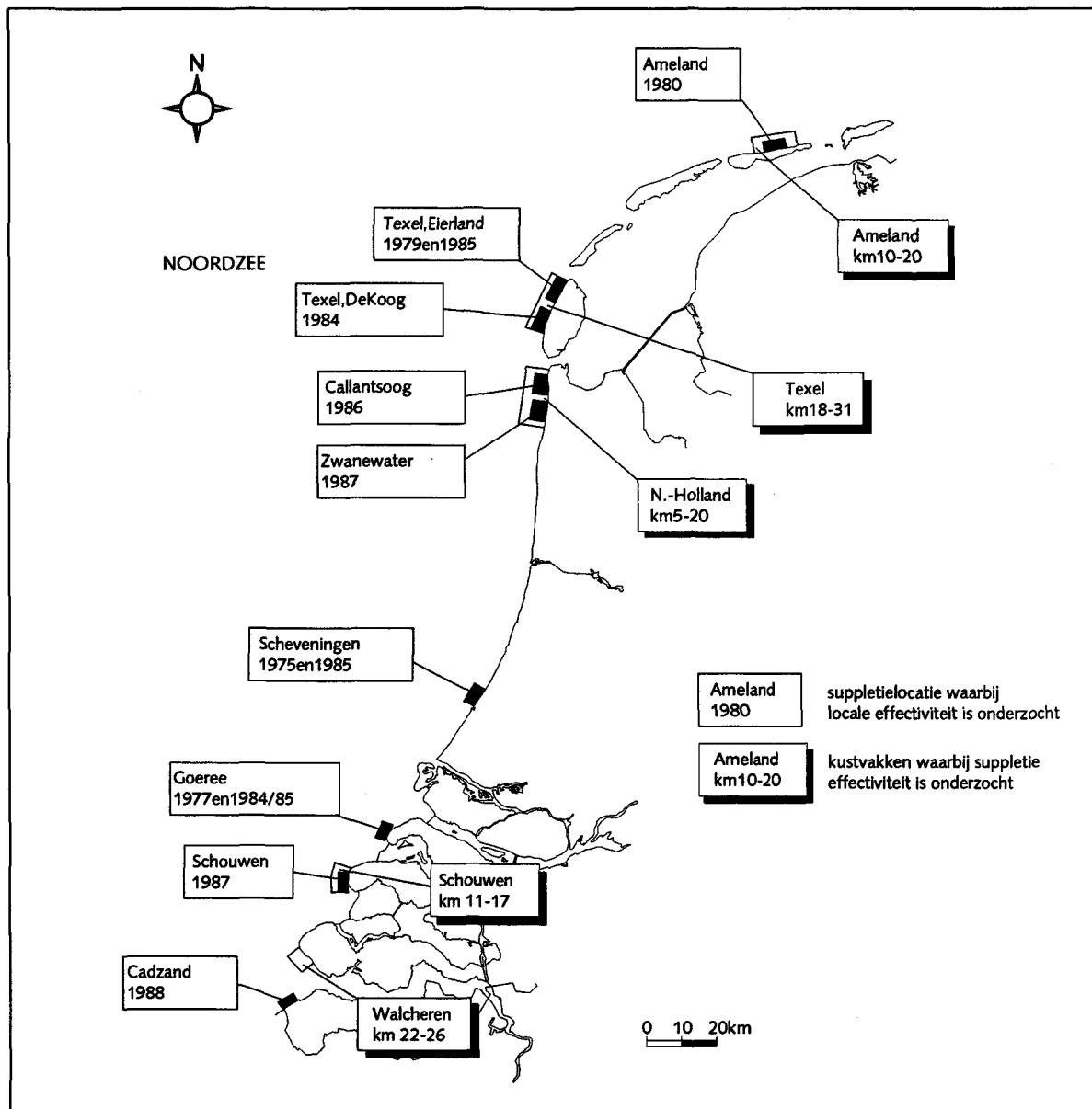
Geselecteerde suppletieprojecten
t.b.v. evaluatie fase I.

kustvak	jaar	beoogde levensduur (j)	lokatie (km)	hoeveelheid		type
				(mln m ³)	(m ³ /m ¹)	
Ameland	1980	8 à 10	10.00 - 16.00	2,20	365	duinfront
Texel, Eierland	1979	5	25.00 - 31.00	3,05	510	strand + banket
Texel, Eierland	1985	5	25.00 - 31.00	2,85	480	strand + banket
Texel, De Koog	1984	10	18.00 - 24.00	3,02	500	strand + banket
Noord-Holl., Callantsoog	1986	13	10.85 - 13.81	1,30	440	strand + duin
Noord-Holl., Zwanenwater	1987	15 à 20	13.81 - 18.08	1,70	400	strand + banket
Zuid-Holl., Scheveningen	1975	-	98.50 - 101.50	0,70	230	strand + banket
Zuid-Holl., Scheveningen	1985	-	98.75 - 101.25	0,33	130	strand + banket
Goeree	1977	5	14.50 - 17.50	1,27	420	strand + duinfr.
Goeree	1984/85	5	14.50 - 17.50	0,86	290	strand
Schouwen, kop	1987	5	13.20 - 14.90	1,83	1080	strand + oever
Zeeuwsch-Vld., Cadzand	1988	5	11.62 - 13.45	1,02	560	strand + oever

Van de 12 onderzochte suppleties kon slechts in 8 gevallen een volledige set kengetallen worden berekend. De suppleties van Scheveningen en Goeree konden voor enkele aspecten niet worden beoordeeld. Dit houdt voornamelijk verband met het ontbreken van een duidelijke doelstelling en met sterke beïnvloeding van de natuurlijke ontwikkeling. Op het strand van Scheveningen wordt een terras voor recreatieve voorzieningen in stand gehouden. Hiertoe wordt regelmatig zand van het natte strand omhoog geschoven. De suppleties op de kop van Goeree zijn uitgevoerd na de afsluiting van de Grevelingen en het Haringvliet. Door het (uitdempende) effect van deze ingrepen bleek het niet mogelijk om door middel van trendextrapolatie een schatting te maken van de kustontwikkeling, indien geen suppleties waren uitgevoerd.

Figuur 2.2

Geëvalueerde suppletieprojecten fase I en kusttrajecten fase II.



2.2.4 Resultaten

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de berekende kengetallen. De niet te evalueren suppleties te Scheveningen zijn in deze tabel weggelaten.

Tabel 2.2

Samenvatting kengetallen.

Suppletieproject	Kustlijn	Erosiecompensatie	Ontwerp methode	Effectiviteit	Strand breedte (droog)	Volume afslagzone	Positie duin - voet	score		
								RWS-taak resultaat	inspanning	functies
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7			
Ameland 1980	1,6	>2	>2	>2	0,9	1,5	1,4	++	++	++
Eierland 1979	0,9	1,0	1,0	0,7	0,9	0,9	0,8	+	-	+
Eierland 1985	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	+	+	+
De Koog 1984	0,7	0,7	0,7	0,6	1,1	1,0	0,8	-	-	+
Callantsoog 1986	0,5	1,3	1,3	0,3	1,1	n	0,7	+	—	+
Zwanenw. 1987	0,7	0,9	0,9	0,8	1,0	0,4*	0,7	+	+	-
Goeree 1977	1,4	1,4	1,9	n	n	n	n	++	n	n
Goeree 1985	2,4	n	n	n	n	n	n	++	n	n
Schouwen 1987	1,9	2,5	2,5	0,8	1,3	1,9	1,0	++	+	++
Cadzand 1988	2,1	1,8	1,8	0,3	2,4	4,2	>1	++	—	++

n = niet te bepalen

* = berekend over ongunstig zuidelijk deel (ca. 1/3 van totaal); overigens ≥ 1

toelichting scores:	> 1,2	= zeer goed	++	resultaat:	K1, K2
	0,8 à 1,2	= goed	+	inspanning:	K4
	0,5 à 0,8	= matig	-	functies:	K5, K6 (2x), 7
	< 0,5	= slecht	—		

Voor een beoordeling van de kengetallen zijn twee invalshoeken gekozen:

1. de Rijkswaterstaat als taakhouders met betrekking tot de kustlijninzorg en
2. de diverse functies in de kuststrook.

Hierbij zijn onderscheiden:

a) Resultaat

Hiermee wordt aangegeven of de kustlijn gedurende de beoogde levensduur van de suppletie is gehandhaafd en of de autonome erosie in het suppletievak in voldoende mate is gecompenseerd. Maatgevend hiervoor zijn de kengetallen K1 en K2, die even zwaar zijn gewogen. De ontwerpmethodiek (K3) is hierbij van ondergeschikt belang geacht en niet meegerekend.

b) Inspanning

Hieronder wordt verstaan de verhouding tussen de hoeveelheid zand die uit het kustvak is verdwenen in geval van suppletie en de hoeveelheid zand die in dezelfde periode verdwenen zou zijn als niet was gesuppleerd. Maatgevend hiervoor is de effectiviteit van het suppletiezand (kengetal K4). N.B.: een lage (slechte) score voor de effectiviteit betekent een grote te leveren inspanning!

c) Functies

Hiermee wordt aangegeven welk effect de suppletie heeft gehad op andere functies in de kustzone. Dit betreft de functies recreatie (K5), veiligheid (K6) en natuur (K7); vanwege het grote belang van de functie veiligheid is deze dubbel geteld.

In tabel 2.2 zijn behalve de kengetallen van 10 suppleties tevens de daarvan afgeleide scores vermeld voor bovenvermelde invalshoeken.

2.2.5 Conclusies

Op grond van het in fase I uitgevoerde onderzoek is het volgende geconcludeerd:

* Suppletieresultaat.

Het merendeel van de suppleties gaf ten aanzien van kustlijnhandhaving en erosiebestrijding een goed tot zeer goed resultaat te zien. De zeer goede scores bij Ameland en Goeree zijn echter het gevolg van een meevallende kustontwikkeling. Bij Schouwen en Cadzand is gerekend met extra erosie na het suppleren. Blijkens de hoge score is deze te hoog ingeschat. Opvallend is de goede score voor erosiecompensatie bij Callantsoog in vergelijking met de slechte score voor kustlijnhandhaving en effectiviteit. Hier is in het ontwerp niet met extra erosie na het suppleren gerekend. Verklaringen voor deze tegenstrijdige uitkomsten kunnen zijn:

- De grote gevoeligheid van de kengetallen voor de begrenzingen van het rekengebied in verband met verplaatsende brandingsruggen. Zowel bij het volume van strand en vooroever (hiermee wordt de positie van de kustlijn berekend), als het volume van het gehele kustprofiel speelt deze een rol.
- Het voorkomen van zandgolven. De hierdoor steeds veranderende trend van de kustontwikkeling is niet in het ontwerp meegenomen. Dit geeft een niet juiste autonome erosie.
- De geringe autonome erosie. Deze wordt al snel overschaduwd door bovengenoemde verschijnselen.

Bij de suppletie De Koog was sprake van een matig resultaat. Gezien de lage effectiviteit had hier een grotere suppletie-inspanning op zijn plaats geweest. Bij het ontwerp is echter geen rekening gehouden met extra erosie na het suppleren.

* Suppletie-inspanning.

Bij vier van de tien onderzochte suppleties was de effectiviteit van het suppletiezand goed tot zeer goed. De zeer goede score van Ameland is het gevolg van de autonome ontwikkeling. Het erosiegebied verplaatste zich gedeeltelijk tot buiten het suppletiegebied.

Vier van de tien onderzochte suppleties gaven een matige tot slechte effectiviteit te zien. De effectiviteit van de suppletie Eierland (1979) ligt met 70% iets beneden het gemiddelde van de onderzochte suppleties (circa 80%). Bij De Koog en Callantsoog blijkt een (zeer) lange ontwerplevensduur in een kustgebied met brekerbanken en een betrekkelijk geringe autonome erosie tot een lage effectiviteit te leiden. Bij Cadzand is door het suppletiezand de werking van de strandhoofden aanvankelijk teniet gedaan, hetgeen tot een grote initiële erosie leidde. Bij de overige suppleties kon geen effectiviteit worden vastgesteld. Bij Scheveningen en Goeree is de autonome kustontwikkeling door onderhoudsmaatregelen en grote waterbouwkundige werken dermate beïnvloed dat het afzonderlijke effect van de suppleties niet is vast te stellen.

Achteraf bezien was voor enkele suppleties (m.n. Callantsoog, De Koog en Cadzand) een grotere effectiviteit te behalen geweest indien uitgekiender zou zijn ontworpen. Dit geldt vooral ten aanzien van de levensduur en de plaats van het suppletiezand in het kustprofiel. Bij Callantsoog en De Koog is zand naar aangrenzende kustvakken getransporteerd. Op grotere tijd- en ruimteschalen bezien is dit zand op voorhand niet als "verlies" aan te merken. Het zand helpt ook in deze naburige kustvakken de erosie te compenseren.

* Functies

Het merendeel van de onderzochte suppleties gaf voor de beschouwde functies een goed tot zeer goed resultaat te zien. Slechts bij het Zwanenwater was (gedeeltelijk) sprake van een matig resultaat. Door verplaatsende zandgolven nam in het grootste deel van het suppletiegebied het duinvolume toe. In het zuidelijke gedeelte was echter sprake van een afnemend duinvolume, met als gevolg een landwaartse verplaatsing van het maatgevende (theoretische) afslagpunt. Zoals kan worden verwacht lopen de scores voor de functies (veiligheid, recreatie, natuur) in vele gevallen gelijk op met die voor het suppletieresultaat. Veranderingen in de kustlijnligging "vertalen" zich, weliswaar gedempt en vertraagd, in de ligging van de duinvoet. De strandbreedte na het suppleren hangt sterk samen met het suppletietype. Een banket tegen het duinfront, zoals toegepast op Ameland en bij de suppleties in Noord-Holland, neemt een deel van het verbrede droge strand in beslag. De suppleties zonder banket op Schouwen en bij Cadzand scoren dan ook aanzienlijk beter op strandbreedte.

Voor Scheveningen en Goeree konden geen kengetallen voor de diverse functies worden berekend. Wel kan worden vastgesteld dat met behulp van periodiek suppleren en eventuele aanvullende onderhoudsmaatregelen (zandschuiven bij Scheveningen) de functies voldoende zijn gewaarborgd.

* Invloed korreldiameter

De verschillen in effectiviteit kunnen niet verklaard worden uit de verschillen in korreldiameter van het suppletiezand. Andere factoren, zoals de invloed van geulen en middellange termijn fluctuaties, lijken in veel sterkere mate de effectiviteitsfactor te bepalen. Bovendien vergt een goede vergelijking van de korrelverdeling een éénduidige bemonstering en analyse. De soms summiere en globale vermelding van korrelgegevens doen vermoeden dat dit niet altijd het geval was.

2.2.6 Nabeschouwing fase I

De evaluatie van zandsuppleties op projectniveau levert belangrijke informatie op voor het ontwerp van suppleties en over de haalbaarheid van de doelstellingen van het kustbeleid. Het éénduidig uitdrukken van de effecten in kengetallen is over het algemeen goed toepasbaar. Toch zijn er bezwaren.

Levensduur

In enkele kengetallen is de levensduur verwerkt. Deze moet in het ontwerp wel duidelijk als uitgangspunt zijn toegepast. Bij enkele van de geselecteerde projecten van vóór 1990 was deze onduidelijk, of geheel onbekend. Enkele van de onderzochte suppleties waren ten tijde van de laatste meting nog niet geheel uitgewerkt of door een volgende suppletie "overruled" voordat de levensduur was verstreken. Bij een toekomstige evaluatie van de sedert 1991 uitgevoerde handhavingssuppleties mag dit geen probleem zijn. Hierbij is steeds uitgegaan van een bepaalde levensduur.

Autonome erosie

Bij de effectiviteitsbepaling van het suppletiezand wordt de erosie na het suppleren afgezet tegen de autonome erosie. Deze is bepaald aan de hand van de lineair veronderstelde erosie vóór het suppleren. Niet lineair gedrag van de autonome erosie en menselijke beïnvloeding ervan kunnen sterk afbreuk doen aan de waarde van de berekende effectiviteit. In sommige delen van de onderzochte kustvakken was

sprake van sedimentatie na het suppleren. In die gevallen is het kengetal nietszeggend.

Fluctuaties

Ondanks dat "oude" suppleties zijn geëvalueerd, speelt de beperkte ervaringstijd een rol. Met name aan de Hollandse kust en de Waddenkust treden op lokale schaal van nature soms vrij grote jaarlijkse fluctuaties op. Dit bemoeilijkt het schatten van trendmatige ontwikkelingen.

Profielvorm

De kengetallen voor de kustlijn en de functies hebben betrekking op een deel van het kustprofiel. Omdat bij bepaalde suppletietypen het profiel een andere vorm krijgt, duurt het enige tijd voordat weer sprake is van een evenwichtige erosie. Hiermee moet bij de beoordeling rekening worden gehouden. Zo zal bijvoorbeeld de kustlijn relatief snel achteruit gaan als veel zand op het strand is aangebracht. Is echter een erosiebuffer boven die zone aangebracht, dan kan door voeding van bovenaf de relatief geringe kustlijnachteruitgang aanvankelijk een te positief beeld geven.

Lokatiegebonden

De berekende effecten zijn sterk afhankelijk van de lokale situatie en de wijze van suppleren. Omdat deze in de beschouwde gevallen sterk variëren, lopen met name de kengetallen voor de effectiviteit van het suppletiezand sterk uiteen. Het berekende gemiddelde van 80% heeft wel waarde voor de algemene beoordeling van zandsuppleties als kustverdedigingsmiddel, doch is slechts van geringe waarde voor het ontwerpen van nieuwe suppleties.

Lang termijn-effect

Omdat zand vanaf de suppletielokatie in de omgeving wordt verspreid, is voor de erosiebestrijding op lange termijn de bijdrage aan het gehele erosiegebied belangrijker dan de bijdrage aan het gesuppleerde kusttraject (de in fase I bepaalde effectiviteit). In fase II wordt derhalve het effect van suppleties op een grotere tijd- en ruimteschaal beschouwd.

Het berekenen van een gemiddeld kengetal voor een heel suppletievak gaat voorbij aan de problemen met objecten in de zeereep of met de duinsterkte, die zich regelmatig in één of enkele meetraaien voordoen. Een dergelijke mate van detaillering valt echter buiten de doelstelling van het project capitals.

2.3 Evaluatie fase II

2.3.1 Doel

Het doel van de tweede fase van het project evazand is het onderzoeken van de effecten van een reeks suppleties op de zandbalansen van grote kusttrajecten. De sinds 1991 uitgevoerde handhavingssuppleties worden hierbij zo veel mogelijk betrokken.

2.3.2 Methodiek

Omdat kustdelen met een grote lengte zijn beschouwd zijn deze onderverdeeld. In dit rapport zijn voor de verdeling in lengterichting van de kust de volgende begrippen aangehouden:

- * kustvak deel van de Nederlands kust met een aardrijkskundige naam van een eiland of een provincie, bijvoorbeeld "kustvak Ameland" of "kustvak Noord-Holland";
- * traject deel van een kustvak, aangegeven door twee lokale plaatsaanduidingen, bijvoorbeeld "traject Den Helder-Pettemer Zeewering";
- * segment deel van een traject, aangegeven door de kilometrering van de Jaarlijkse Kustmetingen.
- * suppletievak gedeelte van een kustvak dat is gesuppleerd.

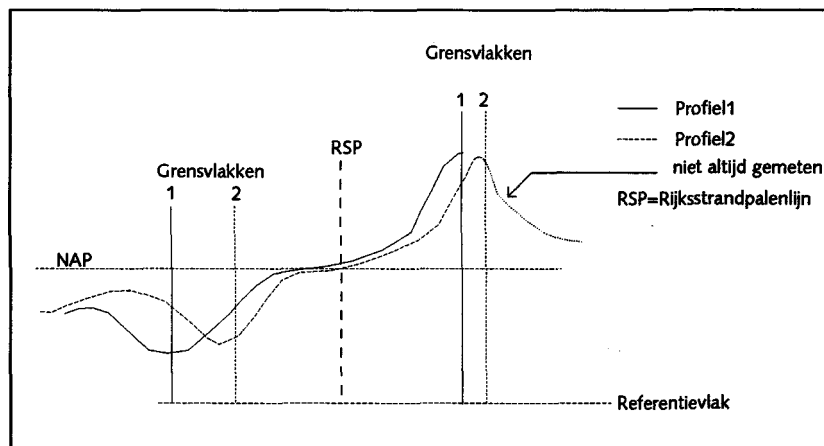
Ook dwars op de kust is een onderverdeling gemaakt. Hier wordt gesproken van rekenstroken of rekenzones.

De evaluatiemethode is afgestemd op de lange termijn. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen twee voor de bijdrage van de rijksoverheid aan de kustlijn zorg essentiële criteria:

1. het zandvolume van een eroderend kusttraject;
2. de ligging van de kustlijn.

Figuur 2.3

Voorbeeld van het verleggen van grensvlakken bij vertikaal kubereren.



ad 1:

Op basis van de jaarlijkse kustmetingen (JARKUS) zijn de zandinhouden berekend. Hiervoor zijn twee kuberingsmethoden toegepast:

- a. Vertikaal kubereren.
In een kuberingsvak, bepaald door 4 verticale grensvlakken wordt de inhoud ten opzichte van een horizontaal referentievlak berekend. Deze methode wordt bij voorkeur toegepast in vrij vlakke gebieden.
- b. Horizontaal kubereren.
In een kuberingsschijf, bepaald door 2 horizontale en 2 verticale grensvlakken wordt de inhoud bepaald ten opzichte van een vertikaal referentievlak. Deze methode geeft de beste resultaten bij steile kustprofielen.

De keuze van het referentievlak bepaalt mede de inhoud. De vlakken moeten dus voor een gehele tijdreeks gelijk zijn. Bij sterke profielveranderingen zijn de meetgrenzen in de zeereep nogal eens aangepast. Om de gegevens optimaal te benutten en om te voorkomen dat bijvoorbeeld een verplaatsende bank de berekende erosie van een

vooroever vermindert, moeten in een bepaald tijdvak soms verschillende referentievlakken worden gekozen. Figuur 2.3 geeft een voorbeeld van het verplaatsen van de kuberingsvlakken bij toepassing van vertikaal kubereren, met als doel alleen de inhoudsverandering tussen de voet van de vooroever (veelal het diepste punt van een aanwezige geul) en de top van de zeereep te berekenen. Het zeewaartse grensvlak moet op een zeker moment verlegd worden om te voorkomen dat een deel van de plaatrand wordt meegerekend. Aan de landzijde zijn de metingen steeds verder uitgevoerd om de duintop te volgen. Tussen de grensvlakken 1 en 2 is de meetreeks dus onvolledig. Om de invloed van de verschillende grensvlakken te elimineren kan "verschilkubereren" worden toegepast. Hierbij worden de inhoudsverschillen tussen metingen onderling berekend met gelijke grensvlakken. Van de jaren waarin één of beide grensvlakken zijn verschoven, wordt de inhoud met de oude en de nieuwe grensvlakken berekend. Zo kunnen uiteindelijk alle verschillen ten opzichte van één referentiejaar worden berekend.

Over de JARKUS-periode zijn tijdreeksen van het zandvolume berekend. Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de basisgegevens van het studie-project KUSTGENESE. Om voldoende inzicht in het kustgedrag te verkrijgen is zowel in lengte- als in dwarsrichting een onderverdeling gemaakt. Deze onderverdeling gaat in de meeste gevallen verder dan de onderverdeling van de KUSTGENESE-studie. Afhankelijk van het kusttype is horizontaal of vertikaal gekubeerd. Hierbij is in de hoogte of in dwarsrichting een onderverdeling gemaakt, uitgaande van relevante profieldelen, zoals duinfront, strand, vooroever en het profieldeel waarmee de kustlijnpositie wordt berekend.

De tijdreeksen van de zandinhouden geven over de periode vóór de eerste suppletie een beeld van de autonome erosie. Na de eerste suppletie is de verandering in de kustinhoud het netto resultaat van autonome erosie en suppleties. Door in de suppletieperiode de gemeten inhouden te verminderen met de suppletiehoeveelheden, blijkt of de "autonome" erosie is toegenomen nadat met suppleren is begonnen. Een toegenomen erosie betekent niet automatisch dat de effectiviteit van het suppletiezand kleiner is dan 100%. De erosie vertoont van nature enige variatie.

ad 2. De kustlijn wordt gedefinieerd als de gemiddelde ligging van het profieldeel tussen de duinvoet en een niveau dat even ver onder laagwater ligt als de duinvoet erboven (Min. van V&W, 1990). Omdat deze rekenschijf niet wordt gewijzigd, geeft de reeks berekende kustlijnen (MKL-punten) een beeld van de volumeveranderingen in de MKL-zone. De per meetraai beschikbare kustlijnliggingen zijn in deze studie over segmenten en trajecten gemiddeld.

2.3.3 Selectie kustvakken

Er zijn kustvakken gekozen, waarvan een groot traject reeds lang als suppletiegebied kan worden beschouwd. Bij de selectie zijn de volgende criteria van belang geacht:

- Het traject moet een morfologische eenheid vormen, d.w.z. geografisch afgebakend, en/of over de gehele lengte gedomineerd door hetzelfde morfologische proces.
- In het traject moet verscheidene malen zijn gesuppleerd.
- Enige variatie tussen de gekozen trajecten in kusttype (bv. getij-, dan wel golfgedomineerd), geografische spreiding en variatie in bodemgesteldheid en kustverdediging is gewenst. In figuur 2.2 zijn de geselecteerde gedeelten van de Nederlandse kust aangegeven. Een nadere gebiedsaanduiding en de belangrijkste kenmerken zijn vermeld in

tabel 2.3. Afhankelijk van het type kust, de toegepaste kuberingswijze en de beschikbare gegevens zijn de kusttrajecten verdeeld in segmenten en rekenlagen of -stroken. Tabel 2.4 geeft hiervan een overzicht. Naast de kuberings en de momentane kustlijn gedurende de JARKUS-periode is voor Ameland en Walcheren de lange termijn ontwikkeling in beeld gebracht aan de hand van de verplaatsingen van de laagwaterlijn.

Tabel 2.3

Geselecteerde kusttrajecten t.b.v. evaluatie fase II.

kustvak	aanduiding	traject	kilometers	kenmerken
Ameland	Zwanewaterduinen-Het Oerd	10 - 20		golfgedomineerd, brekerbanken, onverdedigd
Texel	De Koog-Bolwerk	18 - 31		golfgedomineerd, invloed zeegat, brekerbanken, onverdedigd.
Noord-Holland	Den Helder-Pettemer Zeewering	5 - 20		golfgedomineerd, begrensd door zeegat en dijk, brekerbanken, strandhoofden
Schouwen	Vuurtoren-Westenschouwen	11 - 17		getijgeul, paalschermen
Walcheren	Westkapelle-Zoutelande	22 - 26		getijgeul, paalhoofden, kleilagen

Tabel 2.4

Specificatie bewerkingen

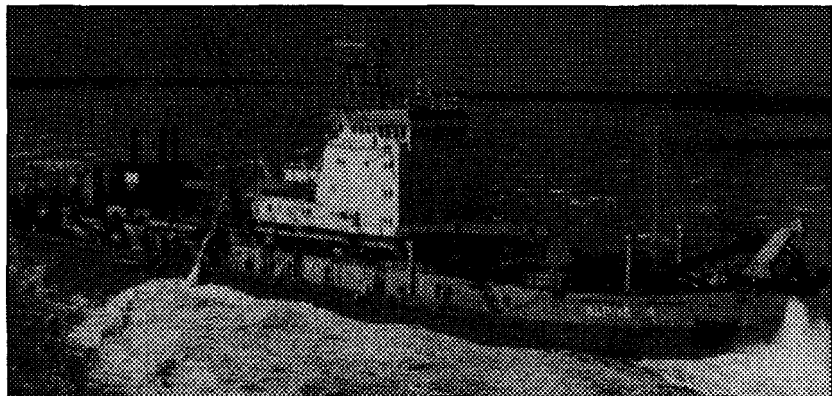
kustvak	aantal segmenten	MKL tijdvak	kubering horizontaal; aantal lagen	vertikaal; aantal stroken	tijdvak	Laagwaterlijn tijdvak
Ameland	3	'65-'95	-	3	'66-'95	1880-1993
Texel	2	'63-'95	-	2	'63-'95	-
N-Holland	3	'64-'95	-	2	'64-'95	-
Schouwen	3	'75-'95	-	3	'65-'95	-
Walcheren	5	'75-'95	3	-	'73-'95	1880-1993

3 Resultaten evaluatie fase II

In de volgende paragrafen is van elk van de beschouwde kustvakken een korte beschrijving gegeven van de belangrijkste morfologische processen en de uitgevoerde suppleties. Aan de hand hiervan is de keuze van het traject toegelicht. Vervolgens zijn de uitgevoerde analyses en de daaruit volgende bevindingen beschreven. Hierbij is eerst de zandbalans behandeld en vervolgens de verplaatsingen van de kustlijn. Elke paragraaf wordt afgesloten met een korte samenvatting.

Foto 4

Voor kustsuppleties worden
overwegend sleeplopperzuigers
ingezet



3.1 Ameland

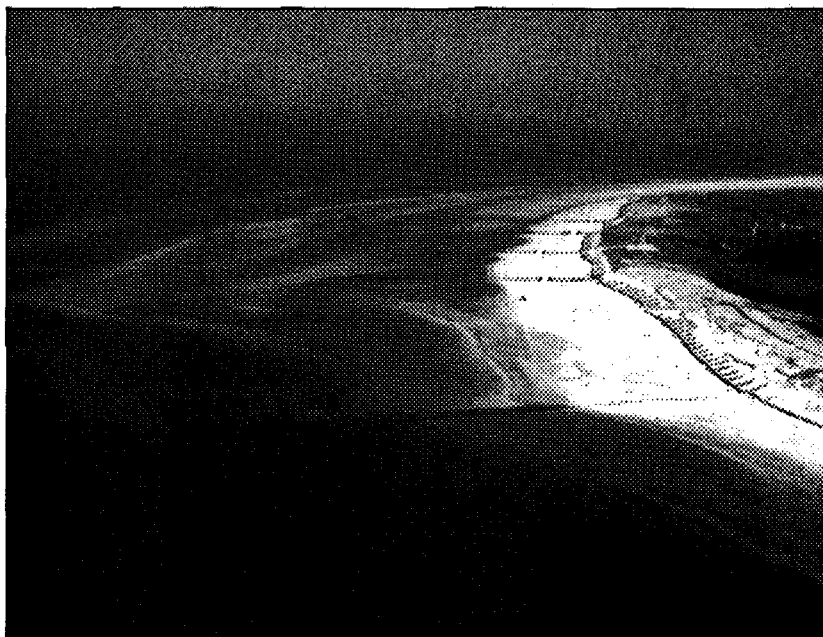
Morfologie en suppleties

De Noordzeekusten van de meeste Waddeneilanden kunnen worden onderscheiden in een niet of nauwelijks door de zeegaten beïnvloed middengedeelte, met relatief geringe veranderingen, en de beide uiteinden met een hoge dynamiek als gevolg van geul- en bankmigraties in de zeegaten. Op Ameland zijn van west naar oost te onderscheiden:

- de westkust met de dichtbijgelegen getijgeul Borndiep;
- het kustvak Bornrif met een uitgestrekt ondiepwatergebied;
- het middengedeelte met een nauwelijks door de zeegaten beïnvloed kustprofiel met brekerbanken;
- de strandvlakte aan de oostzijde van de Noordzeekust. Behalve een gedeelte van de westkust bij Hollum is de kust van Ameland onverdedigd.

Foto 5

Het Bornrif aan de westkop van Ameland neemt sterk in omvang af.



De grootste veranderingen spelen zich af in de omgeving van het Bornrif. Vanaf midden tachtiger jaren neemt dit ondiepwatergebied sterk in omvang af en schuift op in oostelijke richting (De Ruig en Noordstra, 1996). Dit gaat gepaard met kustuitbouw van 50 à 100 m per jaar aan de oostzijde van het Bornrif (omg. km 5) en kustachteruitgang van dezelfde grootte aan de zuidwestzijde ervan (km 2-4). De aanzanding aan de oostzijde van het Bornrif gebeurt deels door een uitloper van het rif (km 5-7). De trog tussen het rif en het strand zorgt lokaal voor stranderosie. In vergelijking met het kustvak Bornrif kent het middengedeelte slechts een matige erosie. De dynamiek in het oostelijke deel van Ameland is veel geringer dan in het westen en speelt zich hoofdzakelijk op het strand en in de zeereep af.

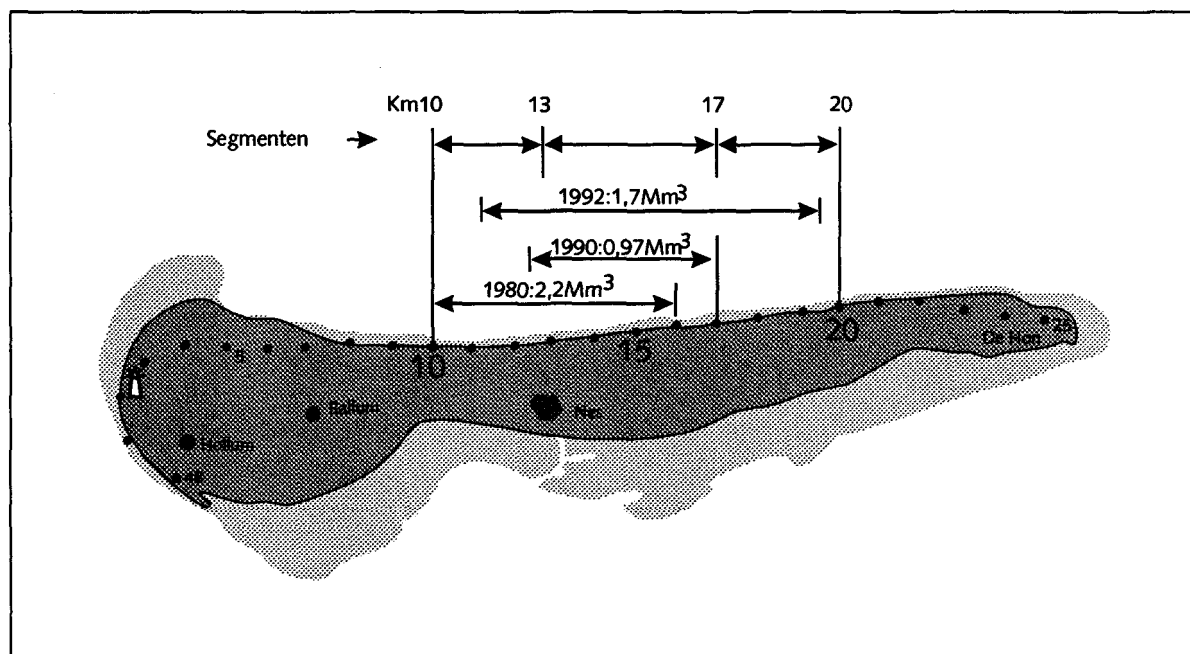
Voor de analyse van het zandbudget is het traject van het erosieve middengedeelte gekozen, waar in 1980, 1990 en 1992 is gesuppleerd (tabel 3.1). Behalve de in tabel 3.1 genoemde zandsuppleties is in 1994 0,2 mln m³ zand gesuppleerd aan de westkust van Ameland, in combinatie met het optrekken tot ongeveer NAP van de bestaande oeverbestorting. In 1980 was in deze omgeving reeds 0,3 mln m³ gesuppleerd achter een in 1979 aangelegde stenen dam. In 1996 wordt op de Noordzeekust van Ameland tussen km 7 en 11 gesuppleerd.

Tabel 3.1

Zandsuppleties Ameland, traject
Zwanewaterduinen-Het Oerd.

Nr. 1)	traject (km)	jaar	hoeveelheid (mln m ³)	type	kader
1	10.2-15.8	1980	2,20	duinfront	erosiebestrijding
90-1	12.4-17.0	1990	0,97	duinfront + duin (13.8-14.2)	stormschadeherstel
92-1	11.5-19.6	1992	1,70	strand + duin (11.5-12.8)	kustlijnhandhaving

1) nummering volgens Roelse en Hillen (1993) gegevens geactualiseerd m.b.v. Noordstra (1994)



Figuur 3.1
Ameland; suppleties,
kuberingsgrenzen.

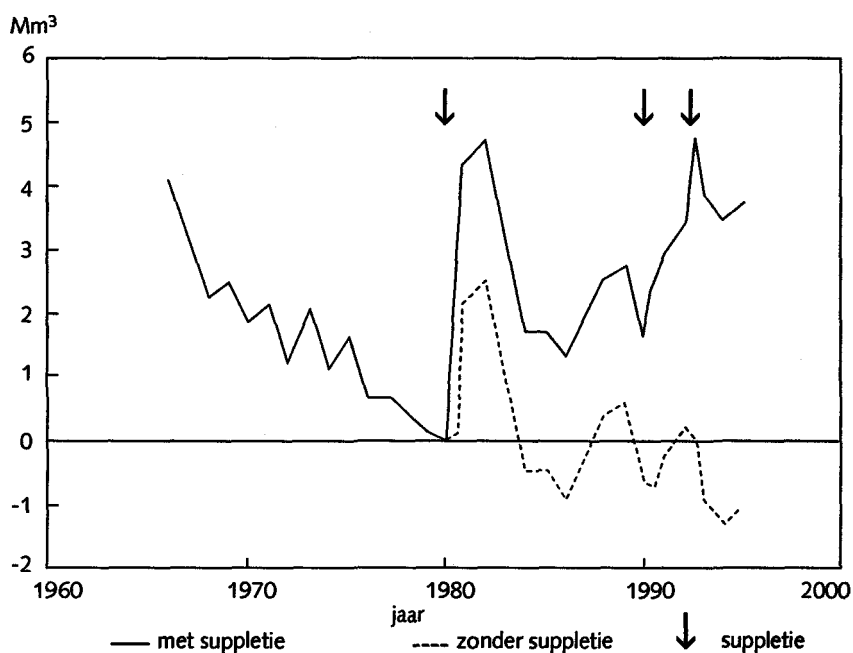
Aan de hand van de ontwikkeling in de tijd is het kustvak in lengterichting onderverdeeld in 3 segmenten (fig. 3.1). In dwarsrichting zijn 3 stroken onderscheiden:

- duin -400 tot -200 m t.o.v. RSP (zeereep boven de duinvoet op ca. NAP +2,5 m)
- strand 200 tot 0 m t.o.v. RSP (van duinvoet tot ca. laagwater op NAP -1,1 m) -
- onderwateroever 0 tot -600 m t.o.v. RSP (laagwater tot ca. NAP -6 m)

De kuberingsen zijn uitgevoerd met behulp van de JARKUS-metingen, die zijn gevalideerd en waaraan de uitmetingen van de suppleties zijn toegevoegd. De lengte van de JARKUS-lodingraaien beslaat niet de gehele actieve zone. De buitenste brekerbank valt grotendeels buiten het opnemingsgebied. Daarom wordt vanaf 1992 een strook tot 1500 m zeewaarts van de RSP-lijn gelood. De raaiafstand bedraagt 200 meter. De lodingen van 1991 tussen km 18.6 en 21.0 hebben een niet te verklaren systematische afwijking ten opzichte van de overige JARKUS-metingen van hetzelfde jaar.

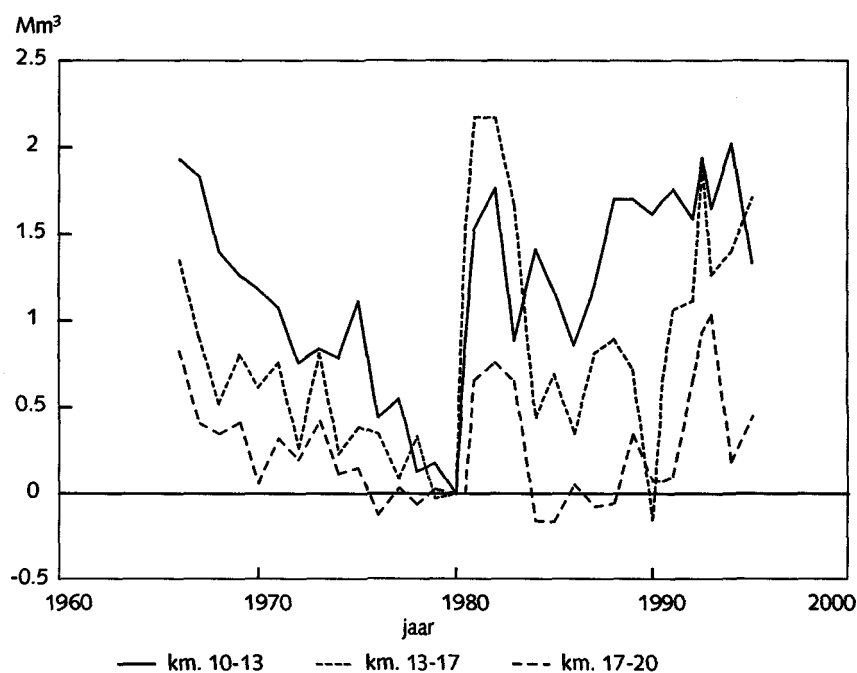
Figuur 3.2

Ameland; inhoudsveranderingen en suppleties, 1965-1995; km 10-20



Figuur 3.3

Ameland; inhoudsveranderingen segmenten, 1965-1995.



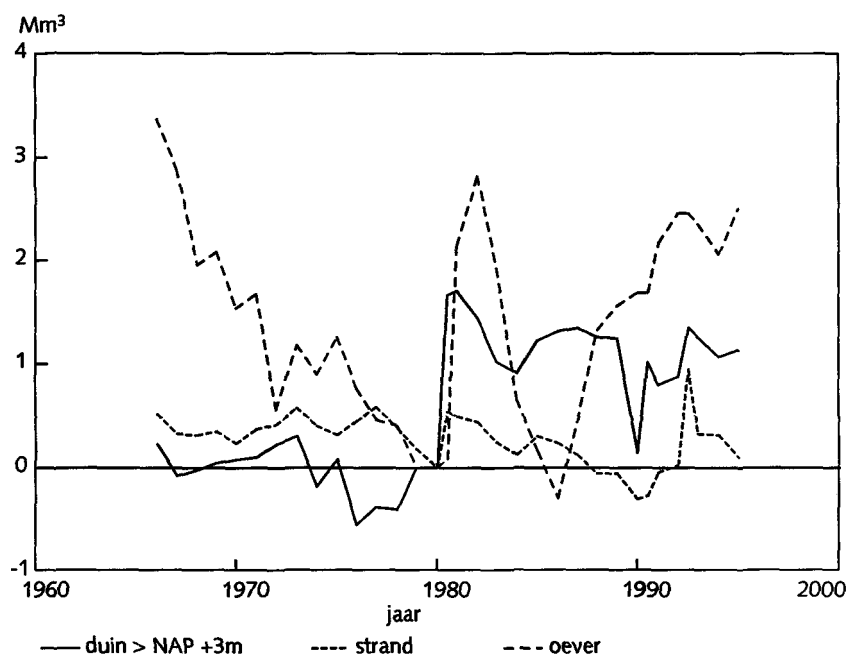
zandbalans

De figuren 3.2, 3.3 en 3.4 geven de inhoudsveranderingen van resp. het totale traject, de segmenten en de rekenstroken. Als referentiejaar is 1980 gekozen. Hiervan is het volgende af te leiden:

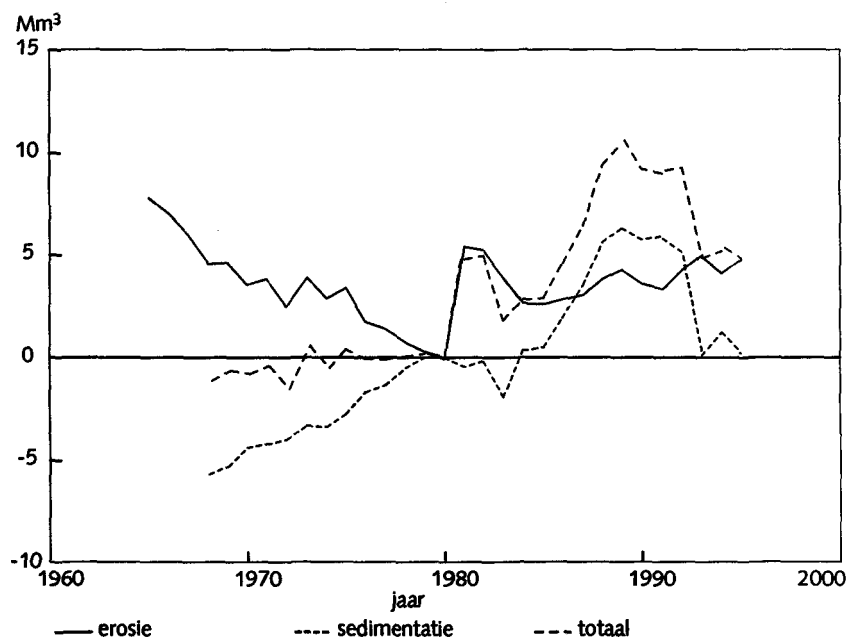
- In de periode 1965-1980, voorafgaand aan de eerste suppletie, bedroeg de trendmatige erosie in het beschouwde traject 0,22 mln m^3 per jaar (fig. 3.2). Dit is een gemiddeld verlies van $22 m^3/m^1$, de kleinste hoeveelheid van de 5 beschouwde kustvakken. Het verlies trad hoofdzakelijk op beneden laagwater.
- Ondanks diverse jaarlijkse fluctuaties van 0,5 à 1 mln m^3 verliep de erosie vóór 1980 vrij lineair. Na 1980 ontstond echter een grillig verloop, met name op de vooroever. Behalve door de suppletie van 2,2 mln m^3 nam de totale inhoud sterk toe door een plotselinge zandtoevoer vanuit dieper water. Deze toename was in het oostelijke segment het kleinst (fig. 3.3). In 1982 bleek de inhoudstoename tot

Figuur 3.4

Ameland; inhoudsveranderingen rekenstroken, 1965-1995.


Figuur 3.5

Ameland; inhoudsveranderingen gehele Noordzeekust, 1965-1995; km 48-25.



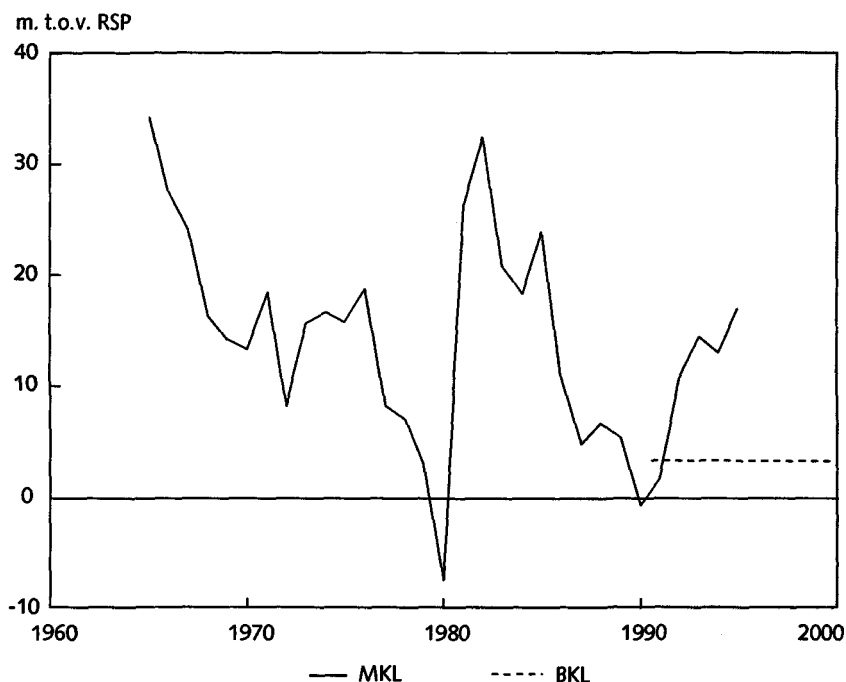
ca. 2 mln m^3 te zijn opgelopen. Deze winst was in 1984 al weer verdwenen, vermoedelijk door transport naar dieper water. Vanaf dat moment trad resulterend sedimentatie op, vooral in het westelijke segment (km 10-13). De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor is een in oostelijke richting migrerende zandgolf. Na 1990 is de zandtoevoer gestopt. In 1992 blijkt in genoemd segment zelfs enig verlies.

- Het effect van de Krokusstorm in 1990 blijkt duidelijk uit een inhoudsvermindering van 1,2 mln m^3 , voornamelijk uit het duin (fig. 3.4). Door de herstelsuppletie en natuurlijk herstel kwam het kustvolume in 1991 weer op het niveau van 1989.
- De suppletie van 1992 resulteerde in een volumetoename van ca. 1,5 mln m^3 . In het volgende jaar was de helft hiervan reeds uit het beschouwde traject verdwenen.
- Indien het verloop van de kustinhouden wordt gecorrigeerd voor de suppleties (fig. 3.2) en de "piek" van 1981/82 wordt genegeerd, dan

blijkt de "autonome" erosiesnelheid na 1980 ca. 0,1 mln m³/jaar te bedragen. Dit is aanzienlijk minder dan voor 1980, toen jaarlijks gemiddeld iets meer dan 0,2 mln m³ verloren ging.

Figuur 3.5 geeft de zandbalans voor de gehele kust van Ameland (km 48-25). Weergegeven zijn de grafieken voor de som van de erosievakken, de som van de sedimentatievakken en de netto sedimentatie/erosie. Een verklaring voor de afnemende erosie van het centrale deel van Ameland is wellicht de toename van de zandinhoud van de totale kust van Ameland. Uit figuur 3.5 blijkt dat tussen 1980 en 1989 de zandwinst aanzienlijk groter was dan vóór 1980. Ook komt in deze figuur duidelijk de tijdelijke aangroei van 1981 naar voren. Opvallend is voorts de trendbreuk na 1989. Deze wordt veroorzaakt door de reeds genoemde sterke erosie van de westkust van Ameland tussen km 2 en 4. De netto zandwinst tussen 1980 en 1989 van 0,9 mln m³/jaar is hierdoor omgeslagen naar een netto verlies van ruim 1,0 mln m³/jaar. Welke consequenties deze ontwikkeling op termijn heeft voor het centrale deel van Ameland is moeilijk te voorspellen.

Figuur 3.6 a
Ameland; kustlijnverplaatsingen,
1965-1995.
a. traject km 10-20



Kustlijn

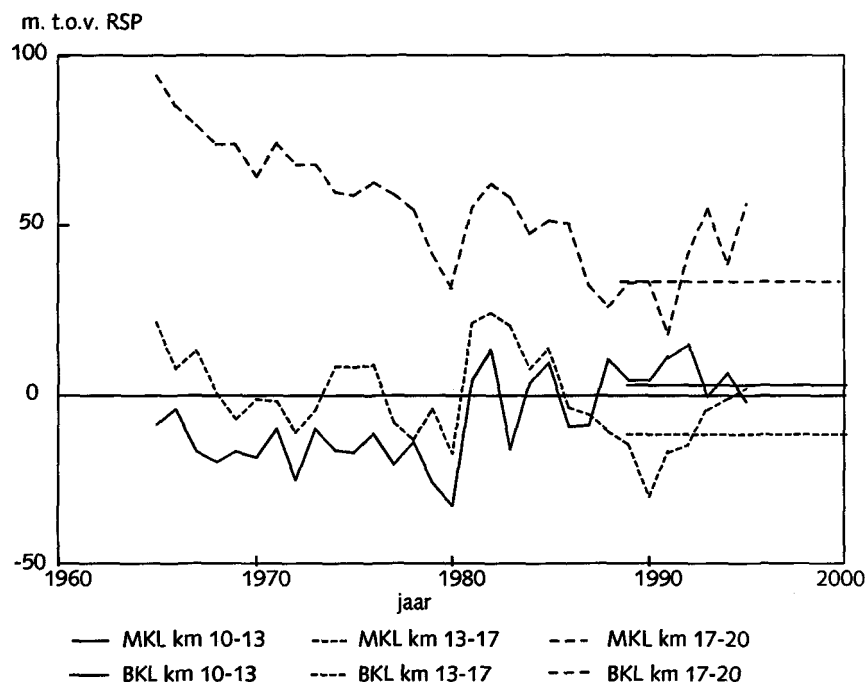
Figuur 3.6 geeft voor het beschouwde traject en voor de drie kustsegmenten de verplaatsing sedert 1965 weer van de momentane kustlijn (MKL). In figuur 3.7 wordt dit beeld vergeleken met de lange termijn ontwikkeling van de laagwaterlijn sedert 1880.

Gemiddeld over het gehele traject tussen km 10 en 20 trad na de suppletie van 1980 een achteruitgang van de kustlijn op van 3,7 m/j (fig. 3.6a). Door de suppleties van 1990 en 1992 werd de gemiddelde kustlijn ca. 15 m zeewaarts verlegd. In 1993 bedroeg de gemiddelde reserve ten opzichte van de basiskustlijn (BKL) ruim 10 m. In 1995 blijkt deze nog iets te zijn toegenomen. Tussen km 10 en 13 werd de MKL door de suppletie van 1980 ca. 40 m zeewaarts verplaatst (fig. 3.6b). Daarna was er nauwelijks sprake van trendmatige kustachteruitgang. De MKL bleef op peil, zij het met enkele jaarlijkse fluctuaties van ca. 20 m. In 1993 en 1995 voldeed dit segment gemiddeld net niet aan de BKL-norm.

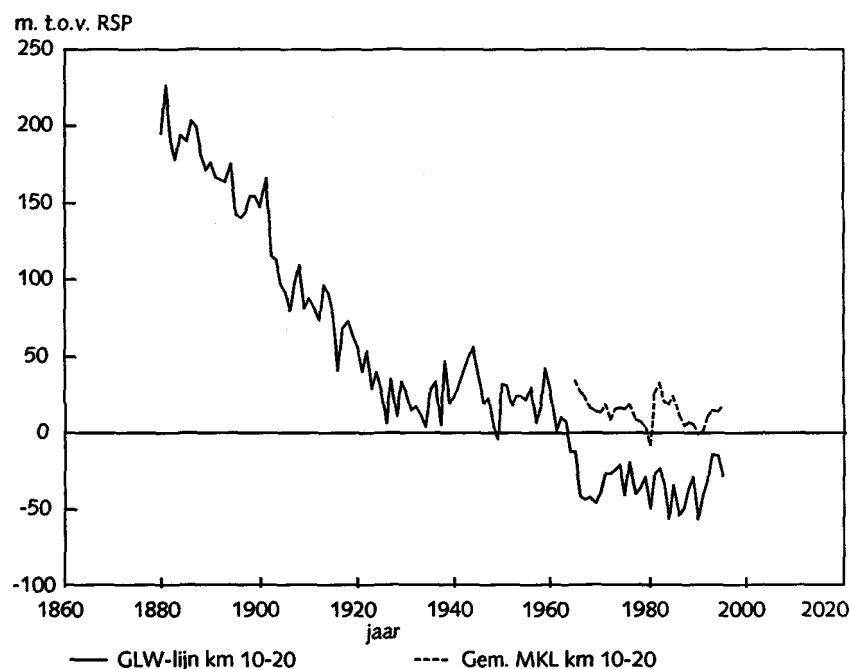
Figuur 3.6 b

Ameland; kustlijnverplaatsingen,
1965-1995.

b. segmenten



Figuur 3.7

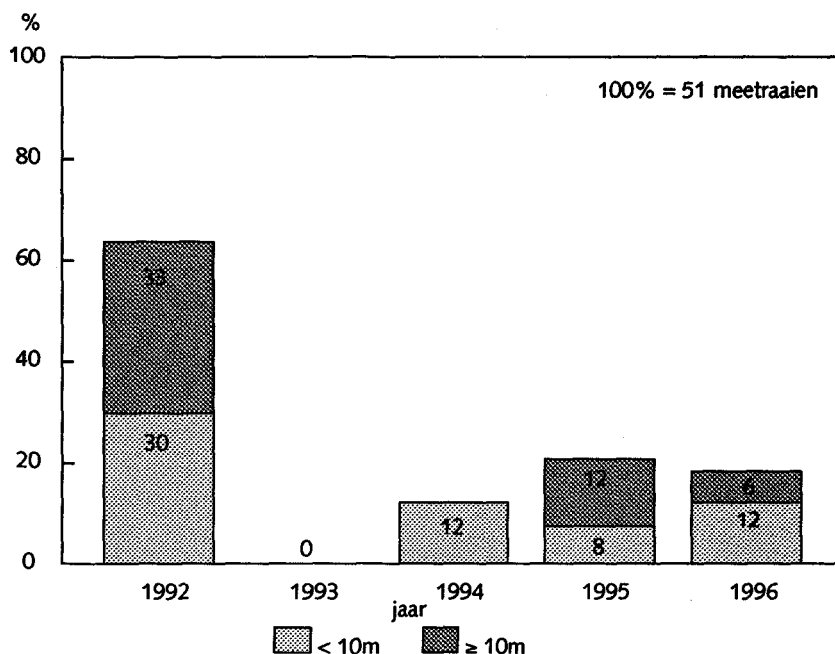
Ameland; lange termijn ontwikkeling
laagwaterlijn, 1880-1995.

Tussen km 13 en 17 geeft de MKL tussen 1980 en 1981 eveneens een vooruitgang van ca. 40 m te zien. Tussen 1982 en 1990 volgde echter een vrij grote achteruitgang: ca. 5 m/j. De naderhand uitgevoerde suppleties hebben voor enige reserve gezorgd.

Tussen km 17 en 20 trad zowel voor als na de suppletie van 1980 een achteruitgang van de MKL op van ca. 5 m/j. Ook hier is sinds de suppleties van 1990 en 1992 weer enige reserve. De laagwaterlijn, gemiddeld over het traject tussen km 10 en 20, geeft van 1880 tot 1930 een achteruitgang van 3,9 m/j te zien, gevolgd door een stabiele periode tot omstreeks 1960 (fig. 3.7). Na een snelle teruggang (8 m/j) tot ca. 1968 bleef de gemiddelde laagwaterlijnpositie in de jaren daarna vrij stabiel, mede dankzij de uitgevoerde zandsuppleties. Worden de zeewaartse verplaatsingen door de suppleties in mindering gebracht,

Figuur 3.8

Ameland; BKL- overschrijdingen 1992
t/m 1996, km 10-20.



dan blijkt dat de MKL na 1965 met ca. 2,5 m/j achteruit is gegaan. In figuur 3.8 zijn de in de afgelopen jaren geconstateerde overschrijdingen van de BKL weergegeven. Deze worden elk jaar bepaald met behulp van de te toetsen kustlijn (TKL) en de BKL (Rijkswaterstaat, 1992 t/m 1996). De TKL is de geëxtrapoleerde kustlijn op 1 januari van het jaar na de laatste meting. Hoewel in dit rapport de metingen t/m 1995 zijn verwerkt, zijn de overschrijdingen van 1996 dus al bekend. In 1992, vóór de suppletie van dat jaar, werd de BKL in 33 meetraaien overschreden. In 1996 werden 9 overschrijdingen genoteerd.

Resumerend

De afgelopen periode van ruim 100 jaar geeft voor de laagwaterlijnverplaatsing in het centrale deel van Ameland een wisselend beeld te zien. De aanvankelijk grote kustachteruitgang stopte omstreeks 1930. Tot 1960 bleef de laagwaterlijn -zij het met grote fluctuaties- op zijn plaats. Tussen 1960 en 1980 was weer sprake van een aanzienlijke erosie. De gematigde erosie sinds in 1980 met suppleren is begonnen, geeft vertrouwen voor de komende jaren. Het handhaven van de kustlijn in het centrale deel van Ameland door middel van zandsuppleties zal naar verwachting geen grote problemen opleveren.

De ontwikkelingen van het Bornrif en de aangrenzende kustdelen zijn echter zorgelijk. Mogelijk hebben deze op termijn ook gevolgen voor het centrale deel. In 1996 wordt aan de oostzijde van het Bornrif gesuppleerd (km 7-11). Verwacht mag worden dat suppleties in dit gebied voeding zullen geven aan het centrale deel van de Noordzeekust van Ameland.

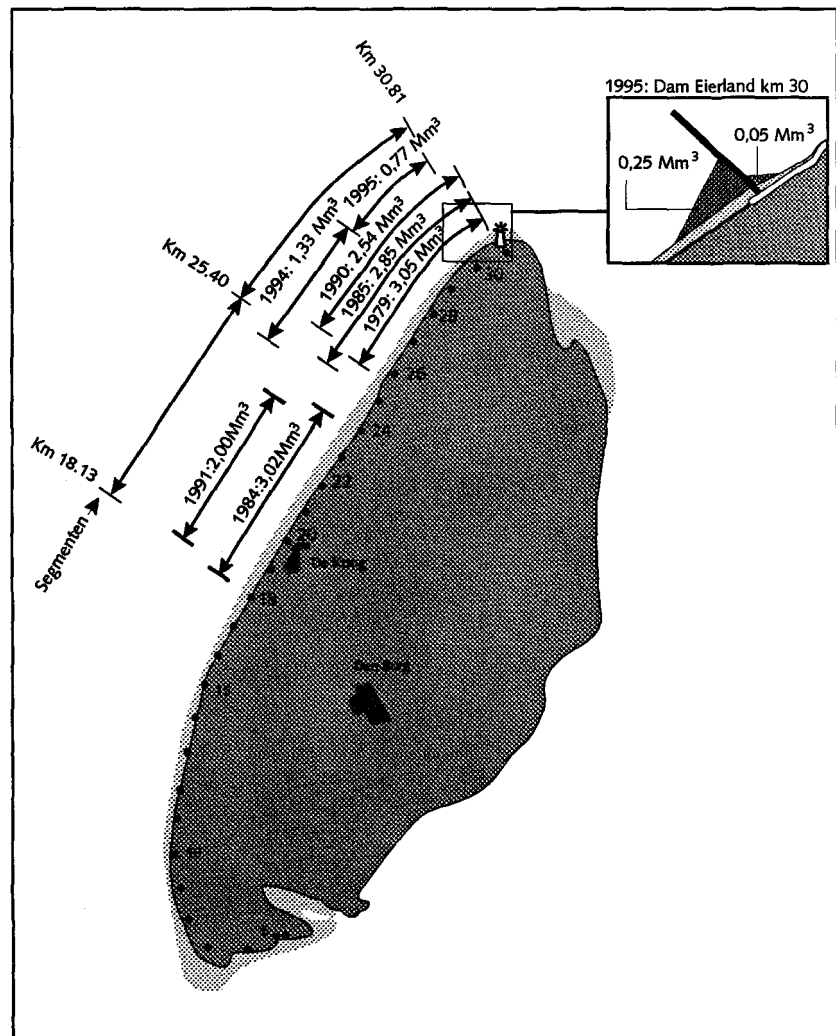
3.2 Texel

Morfologie en suppleties

Reeds tientallen jaren is de Noordzeekust van Texel vrijwel geheel erosief. Met name het onder invloed van het Eierlandsche Gat staande noordelijke deel verliest de laatste jaren veel zand. Over vrijwel de gehele kustlengte komen brandingsruggen voor. Tussen km 10 en 18 is de kust verdedigd met strandhoofden; de noordelijke helft van de kust is onverdedigd. Voor de analyse van het zandbudget is gekozen voor het onverdedigde traject tussen km 18 en 31 (figuur 3.9). Sinds 1979 is hier enkele malen een forse suppletie uitgevoerd (tabel 3.2). Behalve de in tabel 3.2 vermelde suppleties is in 1994 en 1995 buiten het onderzochte segment, ten zuiden van de Koog, een totale hoeveelheid zand van 3,0 mln m^3 gesuppleerd.

Figuur 3.9

Texel; suppleties, kuberingsgrenzen



Voor het noordelijke uiteinde van Texel (km 25-31) blijkt zandsuppletie niet de meest efficiënte wijze van kustverdediging (Rijkswaterstaat, directie Noord-Holland, 1993). Daarom is in 1995 een ca. 800 m lange dam aangelegd, dwars op de kust, die de zandverliezen naar het zeegat moet voorkomen. Bij de aanleg is aan de zuidwestzijde tegen de dam een zandaanvulling van 0,25 mln m^3 aangebracht. Aan de noord-oostzijde is 50.000 m^3 gesuppleerd.

Tabel 3.2

Zandsuppleties Texel, traject De
Koog-Bolwerk.

Nr. 1)	traject (km)	jaar	hoeveelheid (mln m ³)	type	kader
3	25.4-31.2	1979	3,05	strand en banket	erosiebestrijding
4	25.0-31.0	1985	2,85	strand en banket	erosiebestrijding
5	18.0-24.0	1984	3,02	strand en banket	erosiebestrijding
90-2	25.6-31.0	1990	2,54	strand en banket	stormherstel
91-1	18.3-23.4	1991	2,00	strand en banket	kustlijnhandhaving
	25.0-28.0	1994	1,33	strand en banket	kustlijnhandhaving
	28.2-30.0	1995	0,77	strand en banket	kustlijnhandhaving
	29.9-30.5	1995	0,25	strand en vooroever	kustlijn handhaving/
	30.5-30.7	1995	0,05	strand	aanleg dam

1) nummering volgens Roelse en Hillen (1993) Figuur 3.9

De Slufter deelt het beschouwde traject in twee ongeveer even lange segmenten (figuur 3.9). Ook bij de uitgevoerde suppleties is de Slufter als een natuurlijke begrenzing aangehouden. De twee beschouwde trajecten zijn derhalve: km 18.13-25.40 en km 25.40-30.81. In dwarsrichting zijn twee stroken onderscheiden: vooroever en strand: de gehele JARKUS-strook onder NAP +3 m en duin: de JARKUS-strook boven NAP +3 m.

Foto 6

Aan de noordwestkust van Texel is een zeewaartse kustverdediging uitgevoerd in de vorm van een lange dwarsdam.

De foto toont de mogelijk situatie in het jaar 2045.



Zandbalans

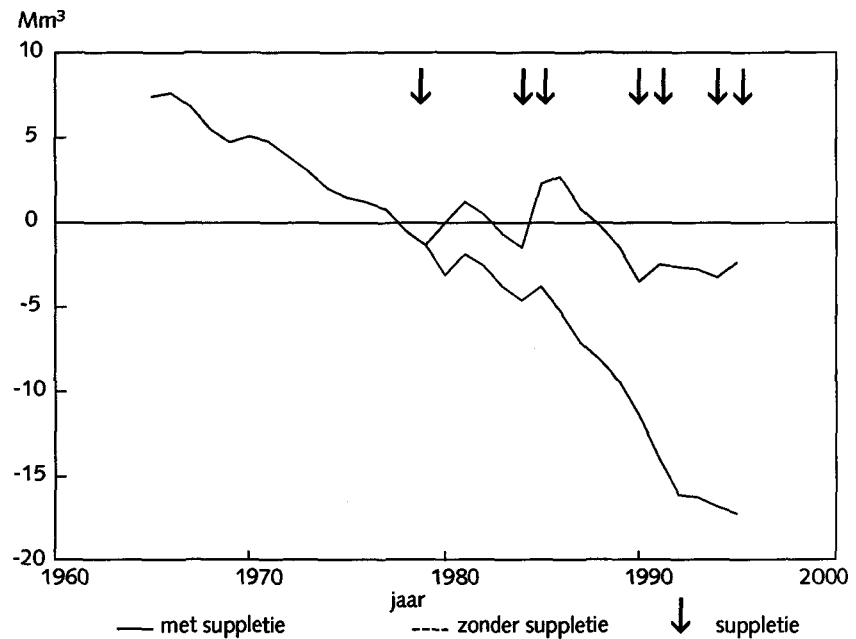
De figuren 3.10, 3.11 en 3.12 geven van resp. het traject, de segmenten en de rekenstroken tussen km 18.13 en km 30.18 de inhoudsveranderingen ten opzichte van 1980. Voor een indruk van de "natuurlijke" verliezen zijn in figuur 3.10a de gemeten inhoud van het erosiegebied verminderd met de suppletiehoeveelheden. Van de figuren kan het volgende worden afgeleid:

- In de periode 1965-1979, voorafgaande aan de eerste zandsuppletie, bedroeg de autonome erosie 0,63 mln m³/jaar (fig. 3.10a). Dit is per strekkende meter ca. 50 m³/j, in deze periode samen met de westkust van Schouwen de grootste erosie van de 5 onderzochte kustvakken.

Figuur 3.10 a

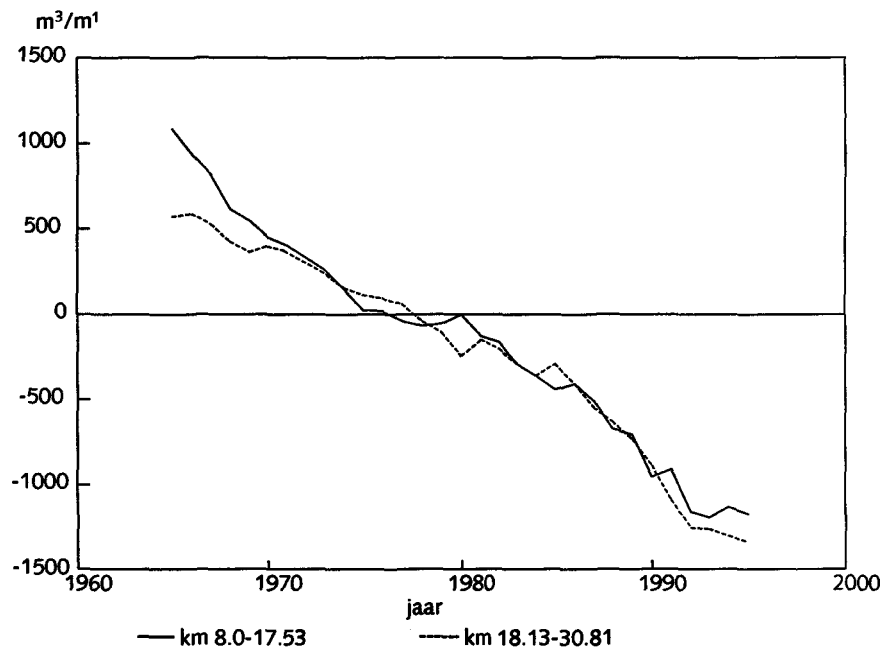
Texel; inhoudsveranderingen en
suppleties, 1965-1995.

a. km 18.13-30.81


Figuur 3.10 b

Texel; gem. inhoudsveranderingen
(excl. suppleties) 1965-1995.

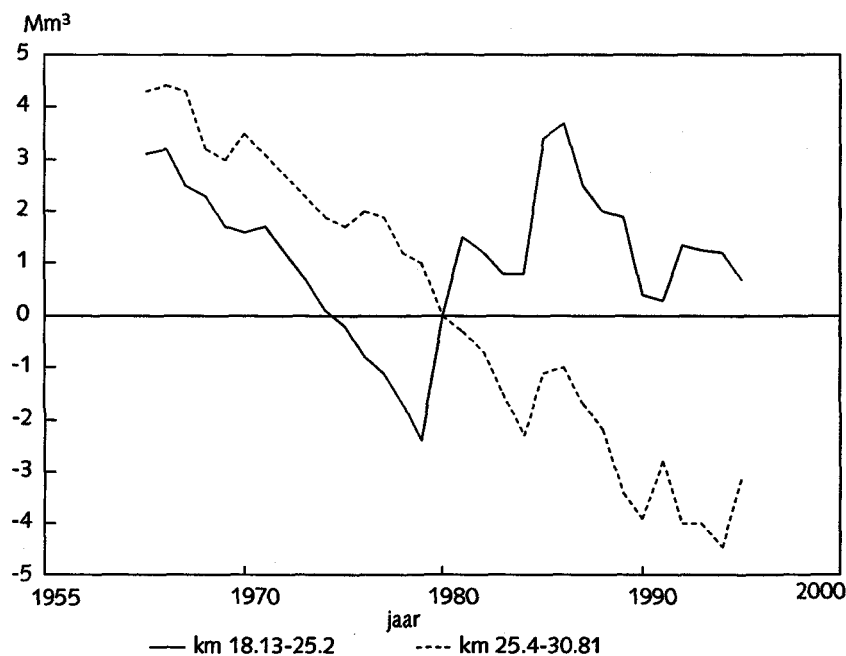
b. km 8.0-17.53 en 18.13-30.81



- Na de suppletie van 1979 bleven de zandverliezen tot 1984 van dezelfde grootte als daarvoor. Na de suppleties van 1984 en 1985 namen de zandverliezen echter toe tot 1,4 mln m^3/j (110 m^3/m^1 per jaar). Na een nog sterkere erosie tussen 1989 en 1992 geven de volumes van 1992 t/m 1995 aanzienlijk kleinere zandverliezen aan.
- Door middel van de suppleties voor stormherstel en kustlijnhandhaving werd het kustvolume na 1990 goed op peil gehouden.
- Het noordelijke segment vertoonde aanvankelijk iets meer erosie dan het zuidelijke (fig. 3.11). De na 1986 toegenomen erosie was in de beide segmenten vrijwel gelijk.
- Opvallend is dat pas vanaf 1973 structurele duinafslag is opgetreden, terwijl strand en vooroever al vele jaren sterk erodeerden (fig. 3.12). Sinds 1985 is het duinvolume, met uitzondering van het storm-effect van 1990 en enige structurele erosie in 1988 en 1989, goed op peil gebleven.

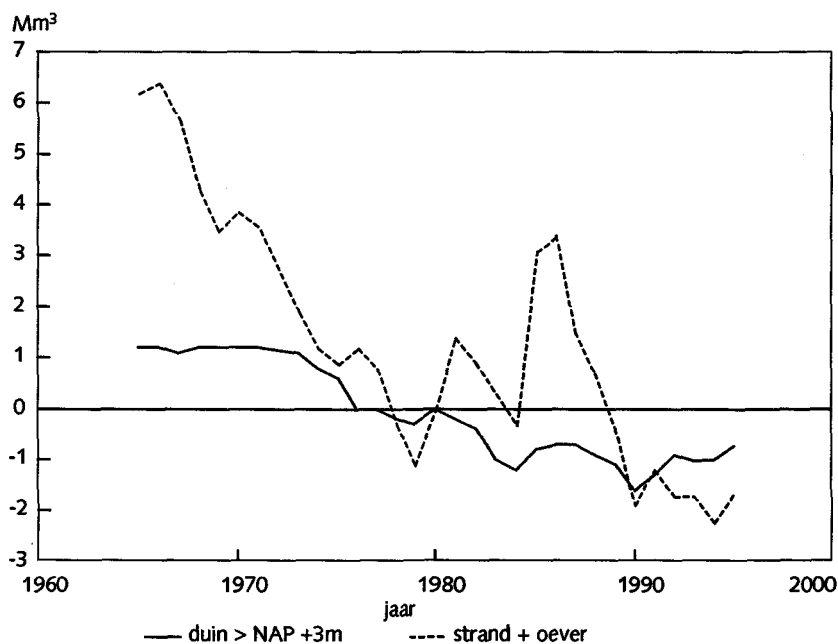
Figuur 3.11

Texel; inhoudsveranderingen
segmenten, 1965-1995.



Figuur 3.12

Texel; inhoudsveranderingen
rekenstroken, 1965-1995.



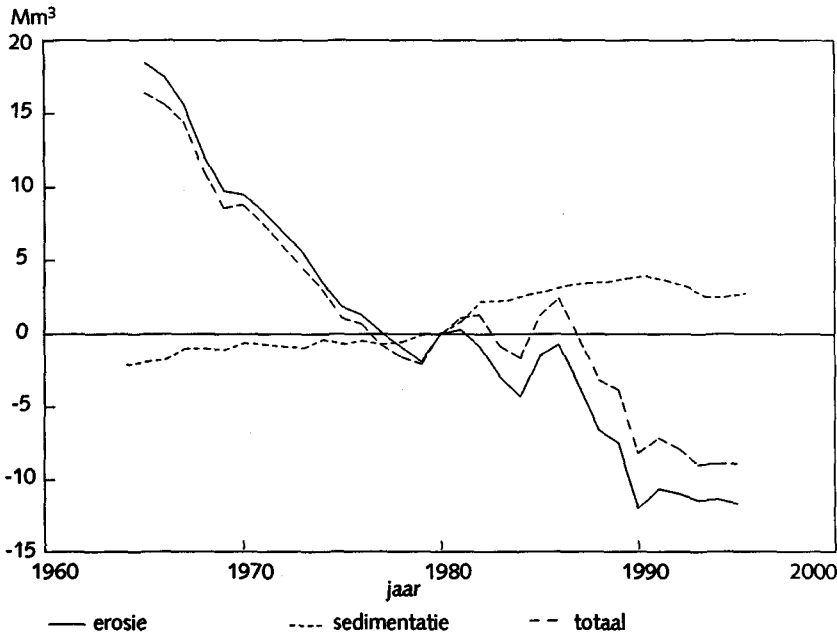
Figuur 3.13 geeft een beeld van de gehele kust van Texel (km 4.4-32.0). Weergegeven zijn de grafieken voor de som van de erosievakken, de som van de sedimentatievakken en de netto sedimentatie/erosie. In de beschouwde periode heeft de erosie de sedimentatie ver overtroffen. Tussen 1965 en 1979, vóór de eerste suppletie, nam de kustinhoud met ca. 1,5 mln m³/jaar af. Ten gevolge van 3 zanduppleties en een gunstiger ontwikkeling in het sedimentatievak ten zuiden van km 8 werd over de periode 1979-1986 een positief saldo berekend van 4,5 mln m³. Na 1986 namen de verliezen toe tot 2,5 mln m³/jaar. Vanaf 1990 werd het volume op peil gehouden. Tabel 3.3 geeft de belangrijkste kenmerken van het erosieverloop. Ter vergelijking zijn tevens de erosiecijfers vermeld van het geëvalueerde kusttraject ten noorden van De Koog. Uit tabel 3.3 blijkt dat het erosie-aandeel in het geëvalueerde traject

Tabel 3.3
Kenmerkende zandverliezen Texel.

periode	totaal erosiegebied; km 8.0-30.81	evaluatie traject; km 18.13-30.81	
	(mln m³/jaar)	(mln m³/jaar)	%
1964-1979	1,50	0,63	42
1979-1985	1,00	0,63	63
1985-1991	2,75	1,61	59
1991-1995	1,40	0,90	64

tussen km 18.13 en 30.81 is toegenomen. Figuur 3.10b geeft een vergelijking van de kustontwikkeling in het noordelijke en het zuidelijke deel van de kust van Texel. Omdat de lengte van de beschouwde vakken niet gelijk is, zijn ter vergelijking de zandverliezen ten noorden en ten zuiden van De Koog uitgedrukt in m³/m¹. Opvallend is dat sinds 1970 het verloop van de erosie vrijwel identiek is. Vóór 1970 was de erosie in het zuidelijke deel groter dan in het noordelijke deel, vanaf 1990 lijkt de erosie van het noordelijke deel de overhand te krijgen. Hoewel de suppleties op Texel vooral ten noorden van De Koog zijn uitgevoerd, trad de sterkste erosie aanvankelijk op ten zuiden van De Koog tussen km 8.0 en 17.5. Na een vrij stabiele periode tussen 1975 en 1980 is de erosie daar weer sterk op gang gekomen. Pas in 1993/94 werd er de eerste suppletie uitgevoerd (3,0 mln m³). In de periode 1985-1991 bedroeg de totale erosie van Texel gemiddeld 2,75 mln m³/j. Ondanks de iets gunstiger ontwikkeling van de afgelopen paar jaar, is Texel hiermee het grootste zorggebied voor de toekomst ten aanzien van kustlijnhandhaving. Ongeveer 40% van de totale erosie van de Nederlandse kust vindt hier plaats!

Figuur 3.13
Texel; inhoudsveranderingen gehele Noordzeekust 1965-1995; km 4.4-32.0.



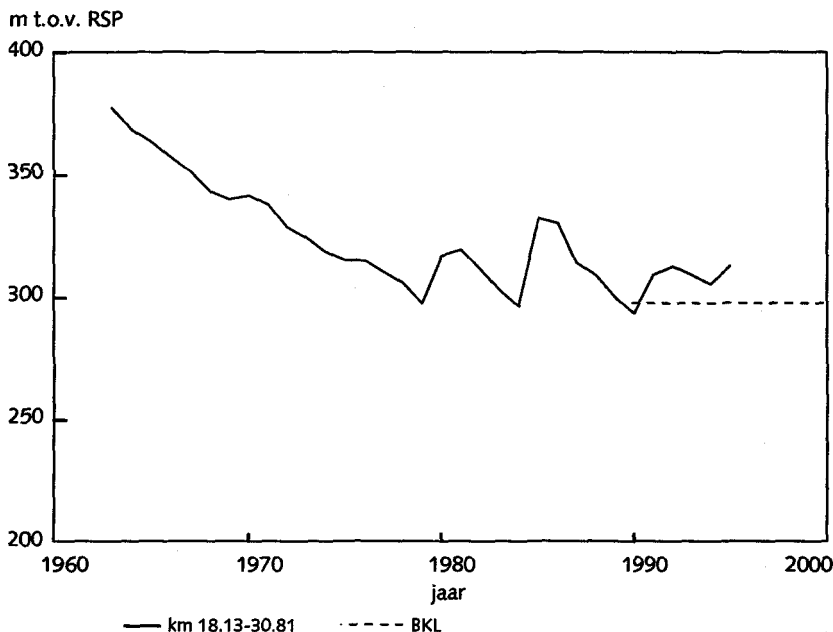
Kustlijn

In de periode voor de eerste suppletie van 1979 ging de kustlijn (MKL), gemiddeld over het gehele geëvalueerde suppletietraject met ruim 4,5 m/j achteruit (fig. 3.14a). In het noordelijke segment was de achteruitgang tweemaal zo groot als in het zuidelijke segment (fig. 3.14b). Na de suppleties van 1979 en 1984/85 nam de gemiddelde landwaartse kustlijnverplaatsing tussen km 18.13 en 30.81 toe tot ca. 8 m/j. Herstel van de natuurlijke profielvorm (verflauwing) kan hiervan mede de oorzaak zijn, omdat relatief veel zand in en net boven de MKL-

Figuur 3.14 a

Texel; kustlijnverplaatsingen, 1965-1995.

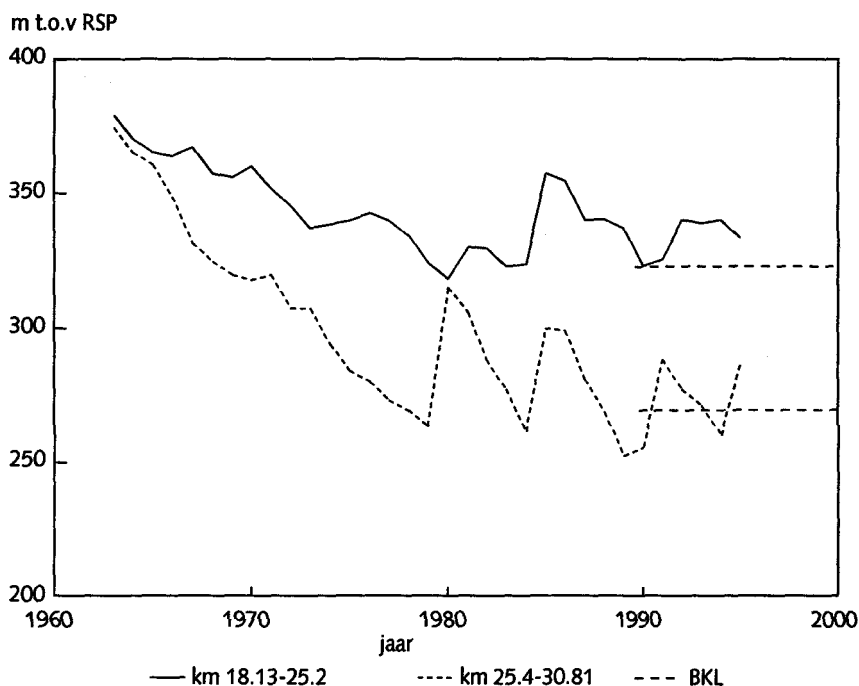
a. Traject km 18.13-30.81



Figuur 3.14b

Texel; kustlijnverplaatsingen, 1965-1995.

b. segmenten

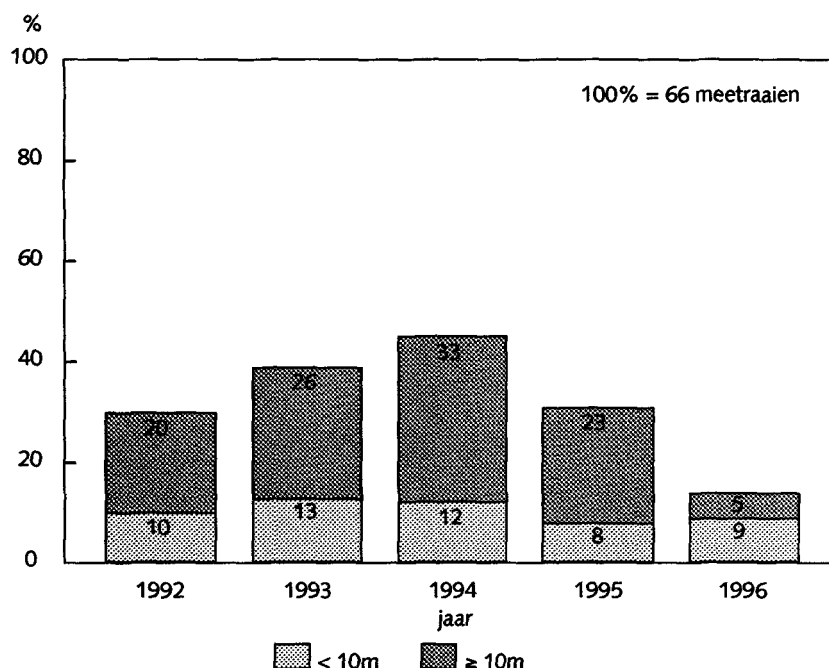


zone was aangebracht.

In verband met de vele suppleties is de basiskustlijn vastgesteld op basis van de situatie vóór de eerste suppletie. Dit is in het noordelijke segment 1979, in het zuidelijke segment 1984. Door de suppleties werd de kustlijn gemiddeld over het traject vrij goed gehandhaafd. Ondanks de sterk toegenomen zandverliezen na 1985 bedroeg de gemiddelde overschrijding van de BKL vlak voor de suppletie van 1990 niet meer dan 5 meter. Deze overschrijding kwam geheel voor rekening van het noordelijke segment, waar de overschrijding gemiddeld 12,5 m bedroeg. De suppletie van 1990 heeft de kustlijn in het noordelijke segment niet langer dan 3 jaar gehandhaafd. Inmiddels is in 1994/95 een vervolgsuppletie uitgevoerd en is de dwarsdam aangelegd. Het in de laatste jaren ontstane handhavingsprobleem komt tot uitdrukking in een stijgend aantal raaien met BKL-overschrijdingen (figuur 3.15). De laatste

Figuur 3.15

Texel; BKL-overschrijdingen 1992
t/m 1996, km 18.13-30.81.



suppleties hebben dit tekort niet geheel kunnen wegwerken.

Resumerend

Reeds vele tientallen jaren heeft Texel de grootste erosie van de Nederlandse kust. Vanaf omstreeks 1985 is de erosie zelfs sterk toegenomen. Toch is het ergste wellicht achter de rug. Sinds 1992 zijn de zandverliezen duidelijk verminderd. Ondanks de grote erosie kon tot voor enkele jaren de kustlijn met zandsuppleties redelijk op zijn plaats worden gehouden. Na 1990 namen de overschrijdingen van de BKL echter toe.

De grote zandverliezen maken toepassing van andere (harde) verdedigingsmethoden aantrekkelijk. Dit heeft inmiddels geleid tot de aanleg van een dwarsdam op de noordwestpunt van het eiland. Bij succesvolle werking zal deze dam echter hooguit een kwart van het erosiegebied kunnen beïnvloeden. De grootste suppletie-inspanning van de Nederlandse kust zal in de toekomst derhalve nog steeds op Texel worden gevraagd, waarbij ook de zuidelijke helft van het eiland stevig moet worden aangepakt.

3.3 Noord-Holland

Morfologie en suppleties

Over langere termijn gezien is de Noordhollandse kust erosief, met name het gedeelte ten noorden van Egmond. Door overwegend naar het noorden migrerende zandgolven met een periode van enkele tientallen jaren treden langs de kust verplaatsende erosiegebieden op. De kustontwikkeling is over het grootste deel golf-gedomineerd, met sterk ontwikkelde brekerbanken op een flauw (ca. 1:100) kustprofiel. Voor de analyse is het kustvak tussen Petten en Den Helder gekozen (figuur 3.16), aan de noordzijde begrensd door het Zeegat van Texel en aan de zuidzijde door de Pettemer Zeewering. Het gehele traject is sedert het begin van deze eeuw verdedigd door middel van strandhoofden. De invloed van het zeegat strekt zich uit tot halverwege dit traject, waarbij in de omgeving van Den Helder de getigeul het Schulpengat met diepten tot bijna NAP -30 meter dicht onder de kust loopt. Dit gedeelte, ten noorden van km 5.0, is daarom niet in het kuberingsgebied opgenomen.

In het beschouwde traject is sinds 1976 enkele malen gesuppleerd (tabel 3.4). Buiten het beschouwde traject zijn in het kustvak tussen IJmuiden en Den Helder t/m 1995 8 suppleties uitgevoerd:

1990:	Egmond	0,32 mln m ³
1990:	Bergen aan Zee	0,45 "
1992:	Egmond	0,07 "
1992:	Egmond-Camperduin	1,47 "
1994:	Bergen aan Zee	0,10 "
1994:	Egmond	0,11 "
1995:	Bergen aan Zee	0,31 "
1995:	Egmond	0,31 "

Tabel 3.4

Zandsuppleties Noord-Holland,
traject Den Helder-Pettemer
Zeewering.

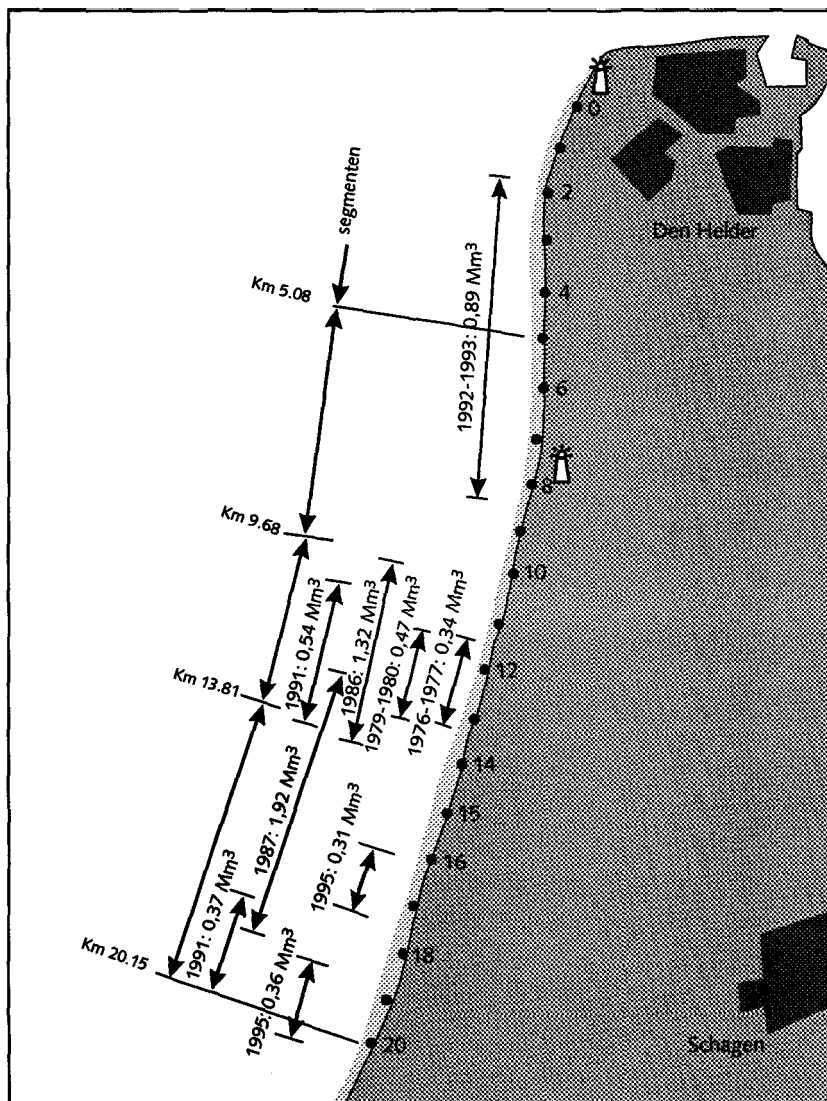
In 1996 wordt in het beschouwde kusttraject 0,45 mln m³ gesuppleerd bij Callantsoog. De suppletie tussen Den Helder en Groote Keeten van 0,85 mln valt slechts gedeeltelijk in het traject (fig. 3.16). Buiten het beschouwde traject wordt in 1996 0,48 mln m³ gesuppleerd juist ten noorden van Wijk aan Zee.

Nr. ¹⁾	traject (km)	jaar	hoeveelheid (mln m ³)	type	kader
6	13.0-13.8	1976/77	0,34	duin	deltaverzwarend
7	11.5-12.8	1979/80	0,47	duin	deltaverzwarend
33	10.8-13.7	1986	1,32	strand + banket + duin	deltaverzwarend
42	13.8-18.1	1987	1,92	strand + banket + duin	deltaverzwarend
91-2	11.0-14.0	1991	0,54	strand + banket	kustlijnhandhaving
91-3	18.0-20.2	1991	0,37	strand + banket	kustlijnhandhaving
92-2*	1.0-7.5	1992	0,89	strand + banket	kustlijnhandhaving
	16.2-17.6	1995	0,31	strand	kustlijnhandhaving
	18.8-20.4	1995	0,36	strand	kustlijnhandhaving

¹⁾ nummering volgens Roelse en Hillen (1993), overige gegevens volgens Rakhorst (1993)

* gedeeltelijk in 1993 uitgevoerd

Figuur 3.16
Noord-Holland; suppleties,
kuberingsgrenzen



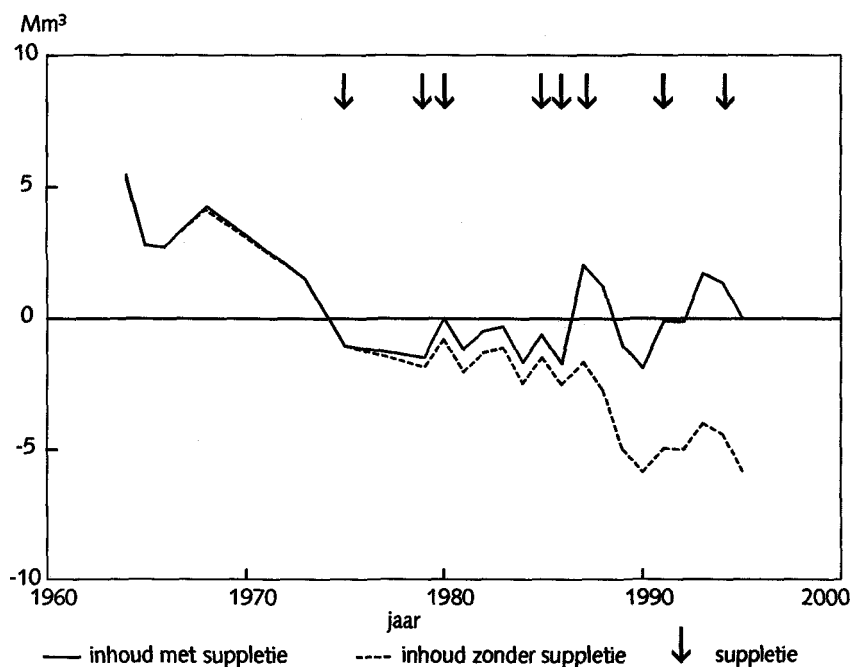
In lengterichting is het traject onderverdeeld in 3 segmenten (figuur 3.16):

- raaien 5.08 t/m 9.68, waar t/m 1995 1 maal is gesuppleerd;
- raaien 9.94 t/m 13.81, waar 4 maal is gesuppleerd en
- raaien 14.01 t/m 20.15, waar eveneens 4 maal is gesuppleerd.

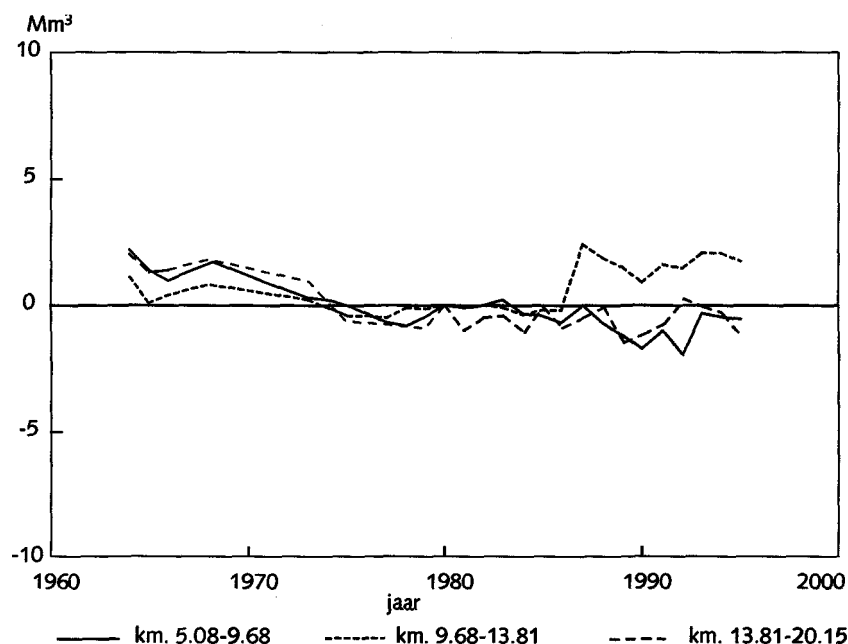
In deze segmenten zijn twee rekenstroken onderscheiden:
 onderwateroever en strand: de gehele JARKUS-strook onder NAP +3 m
 duin: de JARKUS-strook boven NAP +3m.

Tussen 1986 en 1987 is het raaienstelsel aangepast aan de gewijzigde strandhoofdenligging. Het aantal meetraaien in het gekozen traject is hierbij toegenomen van 68 vóór 1987 tot 86 vanaf 1987. De kustinhouden en MKL-posities zijn vanaf 1987 gebaseerd op het nieuwe raaienstelsel. Bij de toetsing aan de basiskustlijn (Rijkswaterstaat, 1992 t/m 1996) is echter t/m 1994 het oude stelsel gehanteerd. De raaigegevens zijn hiertoe getransformeerd van het nieuwe naar het oude stelsel.

Figuur 3.17
Noord-Holland;
inhoudsveranderingen en suppleties,
1965-1995; km 5.08-20.15.



Figuur 3.18
Noord-Holland;
inhoudsveranderingen segmenten,
1965-1995.



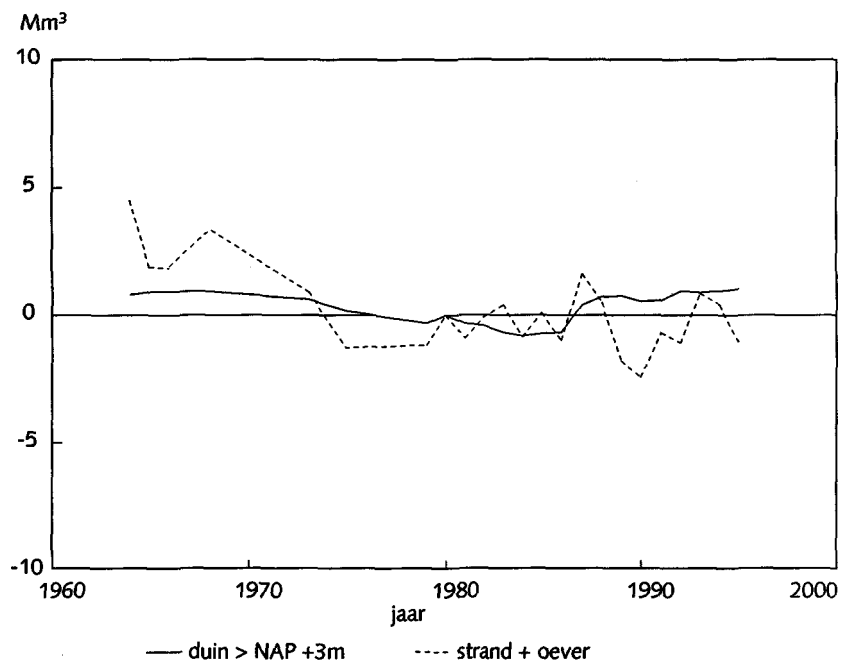
Zandbalans

De figuren 3.17, 3.18 en 3.19 geven het verloop van de inhoudsveranderingen in het traject, de diverse segmenten en in de twee stroken weer. Hieruit blijkt het volgende:

- In het traject km 5.08- 20.15 trad in de JARKUS-periode vóór de eerste suppletie van 1976/77 een jaarlijks zandverlies op van ca. 0,45 mln m^3 , indien het verloop wordt gestileerd tot een lineaire trend (fig. 3.17). Dit betekent ca. 30 m^3/m^1 per jaar. Na "correctie" voor de suppletiehoeveelheden blijkt over de periode 1977-1987 nog slechts sprake van een zeer gering trendmatig zandverlies. Opvallend is de "piek" in 1987 in de inhoudsgrafiek. Van de inhoudstoename van 3,8 mln m^3 kan naar schatting 2,9 mln m^3 worden verklaard uit de suppleties tussen km 10.8 en 18.1; de gehele suppletie van 1986 en ca. 80% van de suppletie van 1987. De rest moet waarschijnlijk worden toegeschreven aan natuurlijke

Figuur 3.19

Noord-Holland;

inhoudsveranderingen rekenstroken,
1965-1995.

inhoudsfluctuaties. Rakhorst (1994) trof ook tussen km 7 en 10, ten noorden van het suppletiegebied, relatief grote inhouden aan in 1987.

Ook de verdeling over de segmenten roept vragen op (fig. 3.18). De inhoudstoename van ca. 2,5 mln m^3 tussen km 9.68 en 13.81 is erg groot in vergelijking met de 1,23 mln m^3 die daar in 1986 op strand en vooroever is gesuppleerd. Daarentegen is tussen km 13.81 en 20.15 slechts 0,85 mln m^3 terug te vinden van de suppletie van 1,92 mln m^3 , die in 1987 bij het Zwanenwater is uitgevoerd. Omdat tussen 1986 en 1987 het raaienstelsel is gewijzigd, is geen compleet beeld te krijgen van de erosie- en sedimentatiepatronen na deze suppletie. Uit de jaarlijkse metingen blijkt wel dat de inhoud van de eerste brekerbank in de eerste jaren na genoemde suppleties grote fluctuaties vertoont.

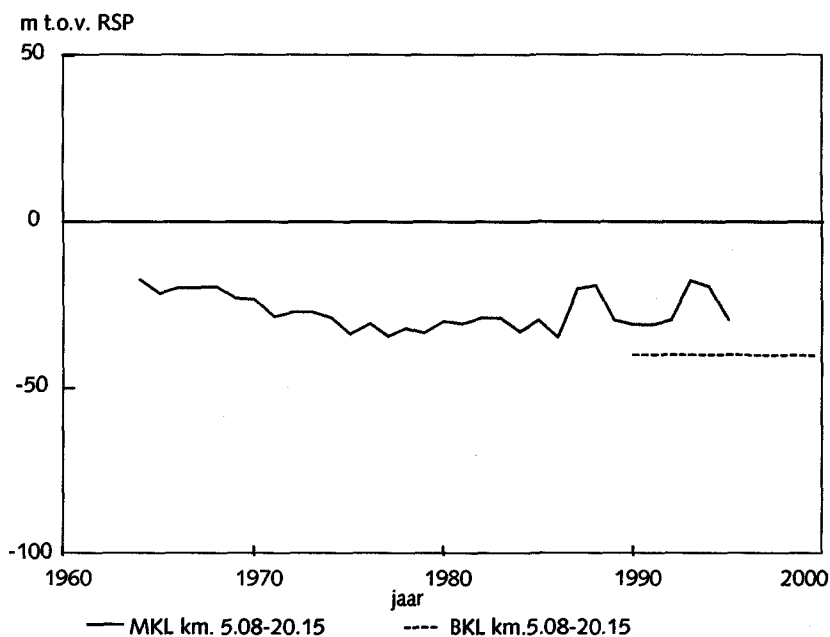
Na 1987 is het verlies aanvankelijk groot. In drie jaar tijd is 4,2 mln m^3 geërodeerd, hetgeen uitzonderlijk is voor dit kusttraject.

- Het geschatte autonome verloop van de kustinhouden geeft het beeld van een structureel zandverlies van 0,3 à 0,35 mln m^3 /j, per strekkende meter jaarlijks 20 à 25 m^3 . Dit gaat echter gepaard met perioden van grotere en kleinere erosie. De "toppen" van deze golfbeweging liggen ca. 15 jaar uit elkaar. Het diepste punt van het laatste dal (1989-1992) lijkt thans te zijn gepasseerd.
- Ondanks het feit dat het kusttraject zich in de afgelopen jaren in een "dal" van de middellange termijnontwikkeling bevond, is met de uitgevoerde suppleties het volume van het kustvak sedert 1976 -zij het met grote fluctuaties- op peil gehouden. In 1995 bedroeg het volume ruim 1 mln m^3 meer dan in 1975. De inhoudstoename zit geheel in het duin.

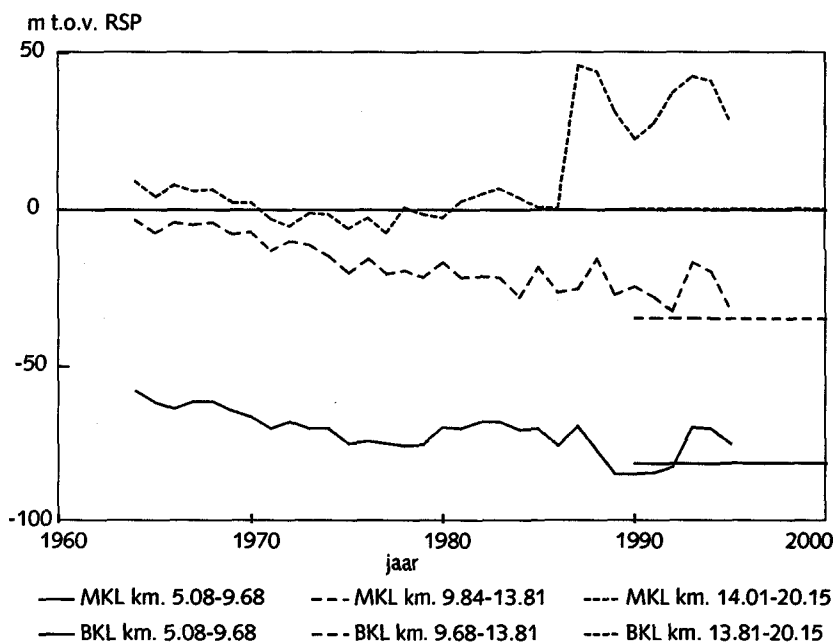
Opmerking:

In fase I werden na de suppletie van 1987 grote verliezen gevonden indien de gehele JARKUS-strook (dus inclusief het brekerbankengebied) werd meegerekend. Dit gaf een laag kengetal voor de effectiviteit van de suppletie. Besloten is toen om het brekerbankengebied buiten beschouwing te laten. Thans is de gehele JARKUS-strook beschouwd over een lang kusttraject en blijkt

Figuur 3.20a
Noord-Holland;
kustlijnverplaatsingen, 1965-1995.
a. traject km 5.08-20.15



Figuur 3.20 b
Noord-Holland;
kustlijnverplaatsingen, 1965-1995.
b. segmenten



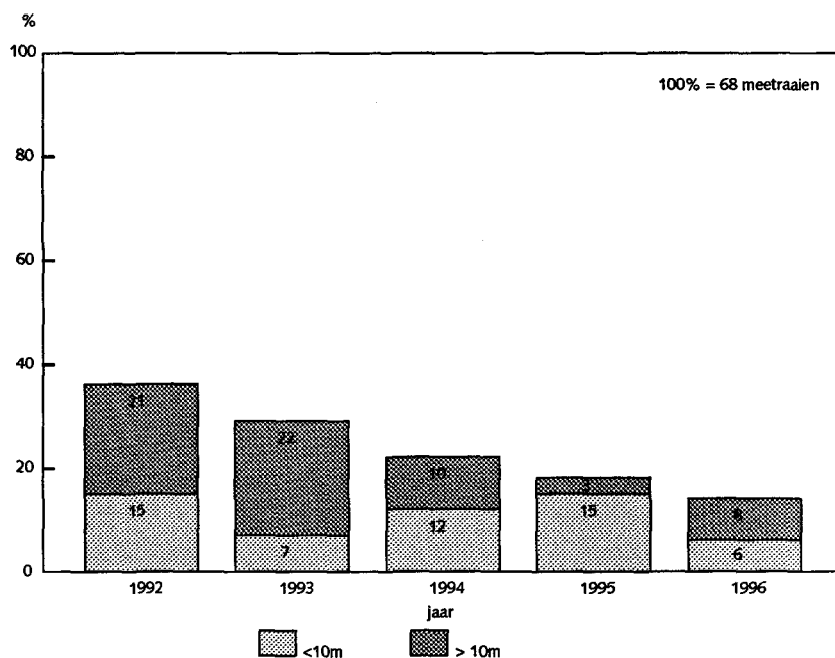
eveneens sprake van grote verliezen. Gedeeltelijk is dit het gevolg van de "piek" van 1987, doch de versterkte erosie past ook in het erosiebeeld op middellange termijn met fluctuaties van één tot enkele decaden.

Kustlijn

Figuur 3.20 geeft van het hele traject, alsmede van de 3 segmenten de ontwikkeling van de gemiddelde kustlijnpositie (MKL) weer. De gemiddelde BKL-positie is hierbij aangegeven. Opgemerkt zij dat in 1991 de berekening van de BKL in de omgeving van Callantsoog en het Zwanenwater (km 9.9 t/m 17.8) en in de omgeving van Petten (km 19.0 t/m 20.1) is gebaseerd op een periode van 10 jaar vóór de daar uitgevoerde suppleties (Hillen e.a., 1991). De in 1990 berekende BKL is in het zuidelijke deel van het segment km 5.08-9.86 landwaarts verlegd om natuurlijke fluctuaties meer ruimte te bieden (Hillen & De Ruig,

Figuur 3.21

Noord-Holland; BKL-overschrijdingen
1992-1996, km 5.08-20.15.



1993). Gemiddeld over het segment leverde dit een landwaartse verlegging van 7 m op. Om dezelfde reden is in het noordelijke deel van segment 9.94-13.81 de BKL verlegd; gemiddeld 2 m landwaarts. Tussen km 11.45 en 12.65 is de BKL tot max. 32 m zeewaarts verlegd ten behoeve van de deltaveiligheid van de duinwaterkering. De raaiafstanden lopen sterk uiteen. De verschillen zijn meegewogen bij het berekenen van de gemiddelde kustlijnposities.

In de periode voor de eerste suppletie van 1976 ging de kustlijn gemiddeld met 1,3 m/j achteruit (fig. 3.20). In de periode daarna, met diverse suppleties ten behoeve van de waterkering, is de gemiddelde kustlijn goed op zijn plaats gebleven. Opvallend is de vooruitgang van 46 m in 1987 in het middelste segment (km 9.84-13.81) na de suppletie van 1986, in vergelijking met de vooruitgang van slechts 10 m in 1988 in het zuidelijke segment (km 13.81-20.15) na de suppletie van 1987. Ook dit doet vermoeden dat veel suppletiemateriaal van de suppletie Zwanenwater 1987 in het middelste segment is terecht gekomen. Na de suppleties van 1991 en 1992 bedroeg de gemiddelde reserve van de MKL 23 m, mede dankzij de landwaartse verleggingen van de BKL. In 1995 werd echter een gemiddelde teruggang van ruim 10 m geconstateerd. Het middelste en zuidelijke segment hadden hierin het grootste aandeel. In zuidelijke segment bleek in 1995 de reserve vrijwel te zijn verdwenen. Ondanks dat geven de toetsingen van de kustlijn ook in de laatste jaren een afnemend aantal overschrijdingen te zien (fig. 3.21).

Resumerend

De over enkele decaden gemiddelde zandverliezen van het kustvak tussen Den Helder en de Pettemer Zeewering zijn betrekkelijk gering, 20 à 25 m³/m¹ per jaar. Er komen perioden met sterkere en minder sterke erosie voor. De naar verhouding grote zandverliezen tussen 1987 en 1990 moeten in dit licht worden gezien. Nadat in 1976 met suppleren is begonnen, is het kustvolume goed op peil gebleven. Afgezien van lokale overschrijdingen door fluctuaties, samenhangend met het gedrag van brekerbanken, is over het geheel genomen de kustlijn met suppleties

Foto 7

Brekerbanken aan de Hollandse kust
veroorzaken verplaatsende
erosiegebieden.



goed te handhaven.

Het suppletieprogramma voor de kust van Noord-Holland zal moeten worden toegesneden op het patroon van de kustfluctuaties, rekening houdend met de duinveiligheid en andere lokale belangen zoals boulevards en bebouwing (Bergen, Egmond).

3.4 Schouwen

Morfologie en suppleties

De kust van Schouwen kan grofweg in drie trajecten worden verdeeld, de westkust, de noordwestkust en de noordkust. De noordwestkust is reeds lange tijd, met name in het westelijke deel, overwegend sterk aanzandend. Het strandhoofdenstelsel is grotendeels onder het zand verdwenen. De noordkust zandt na de afsluiting van het Brouwershavensche Gat eveneens aan.

De gekromde westkust is plaatselijk sterk erosief. Dit wordt veroorzaakt door landwaartse verplaatsing van de kortsluitgeul het Krabbengat, met grootste diepten van ca. NAP - 10 meter. De omvang en de geulvorm van de noordelijke uitloop zijn beïnvloed door de aanleg van de Brouwersdam en de Oosterscheldekering.

De bolle eilandkop is er de oorzaak van dat een netto golfgedreven transport plaatsvindt langs de flanken ervan, d.w.z. in zuidoostelijke en noordoostelijke richting. Lange-termijnfluctuaties (zandgolven) veroorzaken langs de kust verplaatsende erosie- en sedimentatiegebieden. Het grootste deel van de westkust heeft een beperkte verdediging in de vorm van paalschermen. In een kort traject in het zuiden (km 17) bevinden zich (stenen) strandhoofden.

Voor de analyse is vrijwel de gehele westkust, het erosieve deel tussen km 11 en 17, gekozen. De as van het Krabbengat ligt hier zo dicht bij de laagwaterlijn dat vóór de suppletie van 1987 landwaartse geulverplaatsing onmiddellijk tot strandverlaging en duinafslag leidde. Behalve een kleine suppletie in 1975 aan het zuidelijke einde, werden aan de westkust in 1987 en 1991 omvangrijke suppleties uitgevoerd (tabel 3.5), waarbij door zandwinning aan de overzijde van het Krabbengat deze getijgeul zeewaarts werd verschoven. De suppletie van 1975 (km 17.0-17.4; 0,11 mln m³) en een te verwaarlozen deel van de suppletie 1991 vallen buiten het gekozen (erosie)traject.

In 1996 wordt aan de westkust van Schouwen 0,68 mln m³ gesuppleerd. Buiten het beschouwde kusttraject is in 1995 aan de noordwestkust bij Renesse een suppletie van 0,7 mln m³ uitgevoerd (km 3-6). Aan de noordkust (Noorderstrand, km 0.6-3.0) is in 1989 een duinverzwaring uitgevoerd, waarbij 0,51 mln m³ op het duin, tegen het duinfront en op het strand werd gebracht. In 1995 werd hier een strandsuppletie van 0,08 mln m³ uitgevoerd.

Tabel 3.5
Zandsuppleties Schouwen, traject
westkust.

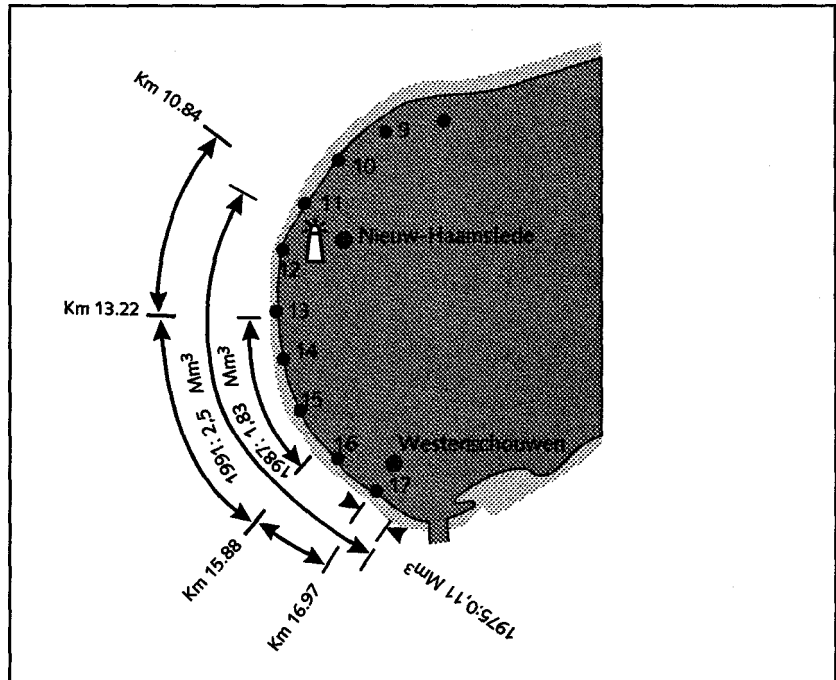
Nr. 1)	traject (km)	jaar	hoeveelheid (mln m ³)	type	kader
37	13.2-15.6	1987	1,83	strand- en vooroever	erosiebestrijding
91-7	11.6-17.3	1991	2,50	vooroever-, strand- en duinfront	kustlijnhandhaving

1) nummering volgens Roelse en Hillen (1993)

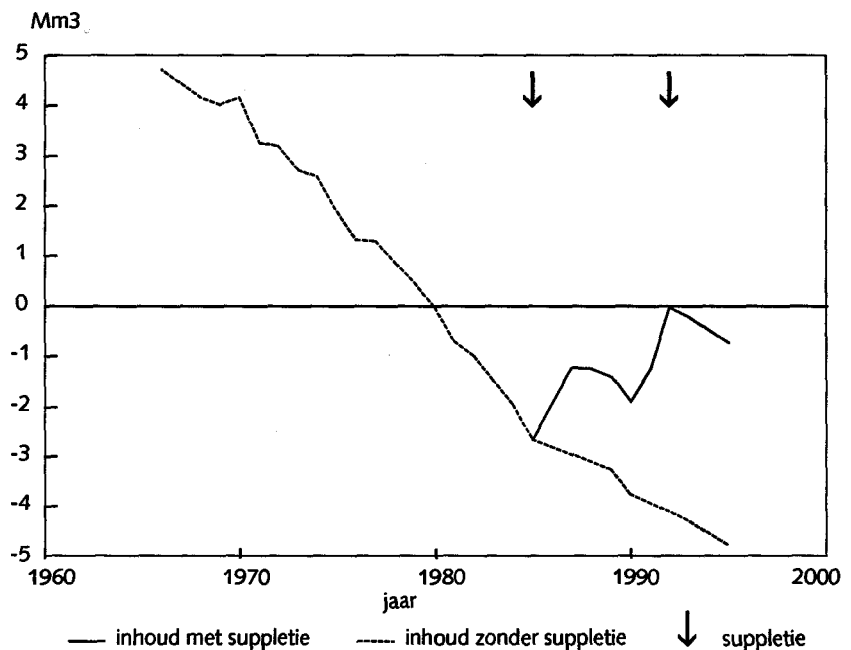
In lengterichting is het erosietraject onderverdeeld in 3 segmenten (figuur 3.22). Het noordelijke segment (raaien 1084 t/m 1322) is in 1991 voor het grootste deel gesuppleerd. Het middelste segment (raaien 1335 t/m 1588) omvat de suppletie van 1987. In 1991 is het zuidelijke segment (raaien 1608 t/m 1697) voor het eerst gesuppleerd.

De rekenzone van de MKL omvat vrijwel de gehele actieve kustzone. Horizontaal kuberan levert dus weinig meerwaarde. Er is daarom gekozen om door middel van vertikaal kuberan de

Figuur 3.22
Schouwen; suppleties,
kuberingsgrenzen.



Figuur 3.23
Schouwen; inhoudsveranderingen en
suppleties, 1966-1995; km 10.84-
16.97.

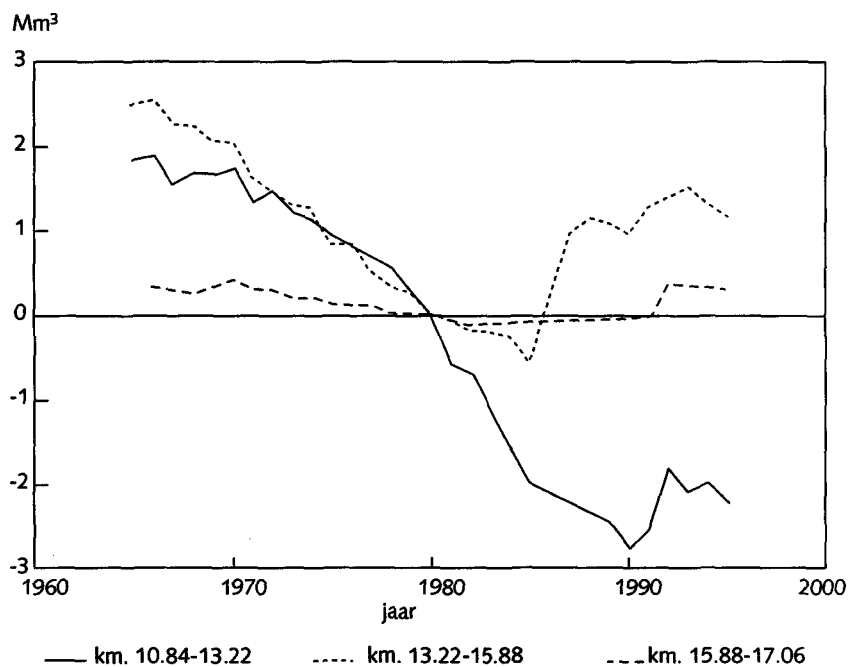


inhoudsveranderingen in het actieve kustprofiel te berekenen. Er is onderscheid gemaakt tussen strand + vooroever en de zeereep. Voor de zeewaartse grens is de meest zeewaartse ligging van de voet van de vooroever aangehouden. Deze komt vrijwel overeen met de geulas na de suppletie van 1987. De landwaartse grens van het strand is tegen het duinfront gelegd, op de meest landwaarts gemeten positie van de NAP +3 m hoogtelijn. De zeereep is boven NAP +3 m gekubeerd. Het JARKUS-bestand geeft over de periode, waarin is gesuppleerd geen goed beeld van de volumeveranderingen. Daarom zijn voor de periode 1980 - 1993 de metingen door de directie Zeeland gecorrigeerd en aangevuld met in- en uitmetingen. Over deze periode zijn ook strand en vooroever afzonderlijk gekubeerd.

De meting van 1986 is niet in de vorm van dwarsraaien uitgevoerd. Voor de kuberings, uitgevoerd via een "bodemgrid", bleef dit zonder

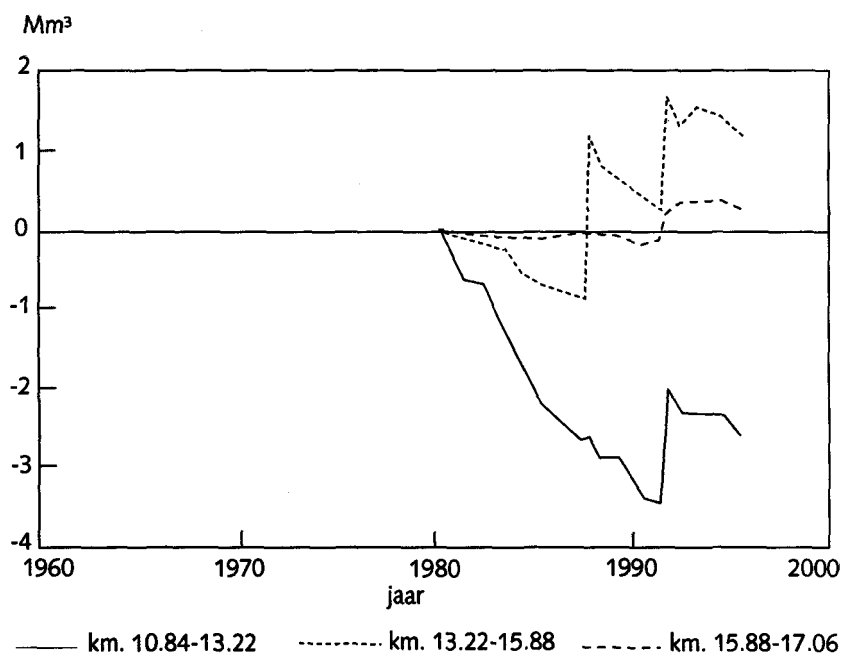
Figuur 3.24.a

Schouwen; inhoudsveranderingen
segmenten, 1966-1995.
Volgens JARKUS-bestand



Figuur 3.24.b

Schouwen; inhoudsveranderingen
segmenten, 1966-1995.
Volgens bestand directie Zeeland



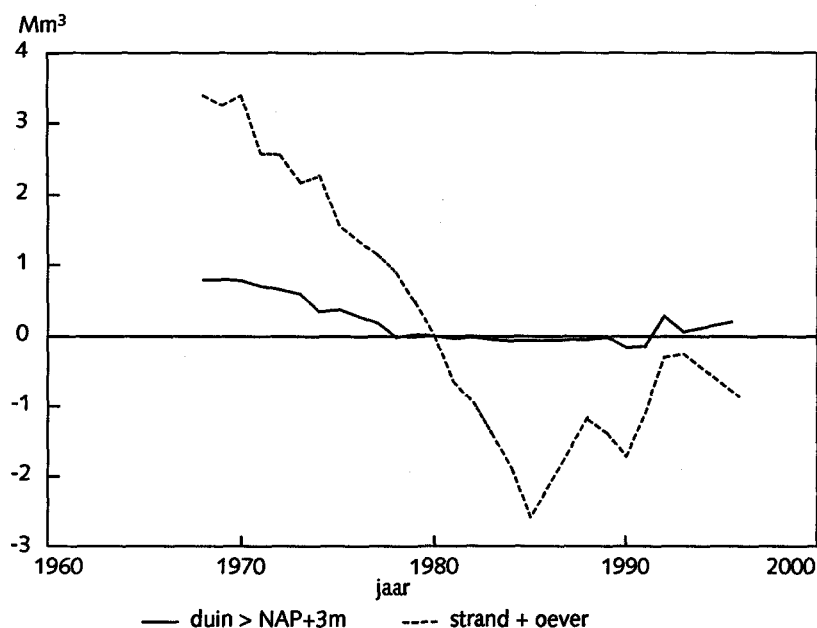
gevolgen. Bij de MKL-berekeningen is een geïnterpoleerde waarde toegevoegd. De raailengte van JARKUS is ruim voldoende om het actieve kustprofiel te kuberen. De raaiafstand is vrijwel zonder uitzondering 200 m.

Zandbalans

De figuren 3.23 t/m 3.25 geven de inhoudsveranderingen ten opzichte van 1980 weer voor het totale traject, voor de 3 segmenten en de 2 (of 3) rekenstroken. Figuur 3.25 geeft over de periode na 1980 zowel de ontwikkeling weer volgens het JARKUS-bestand (duin en strand + vooroever), als volgens het gecorrigeerde en aangevulde bestand (strand en vooroever). Aan de hand van de figuren 2.23 en 3.25a zijn enkele karakteristieke erosieperioden onderscheiden. In tabel 3.6 zijn hiervan de belangrijkste gegevens vermeld. Het volgende kan worden opgemerkt:

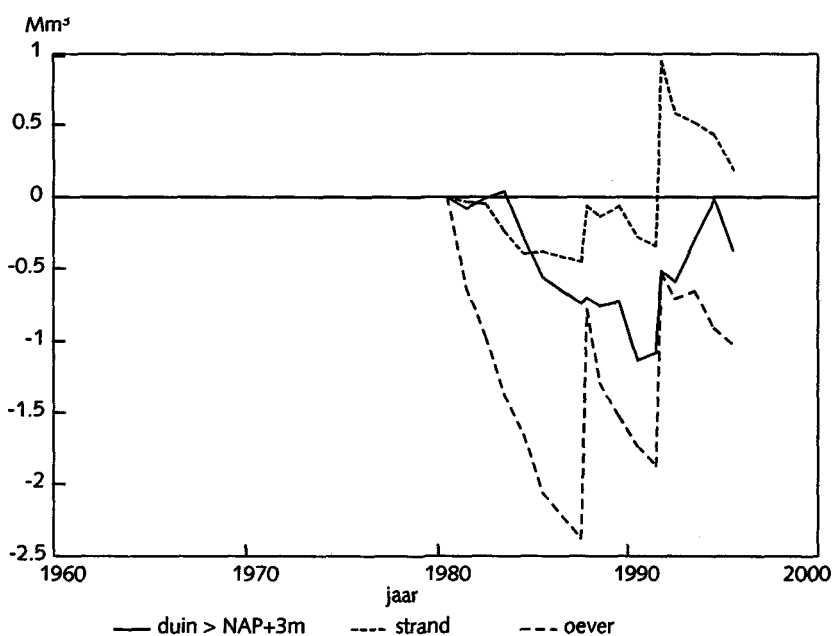
Figuur 3.25.a

Schouwen; inhoudsveranderingen
rekenstroken, 1966-1995.
Volgens JARKUS-bestand



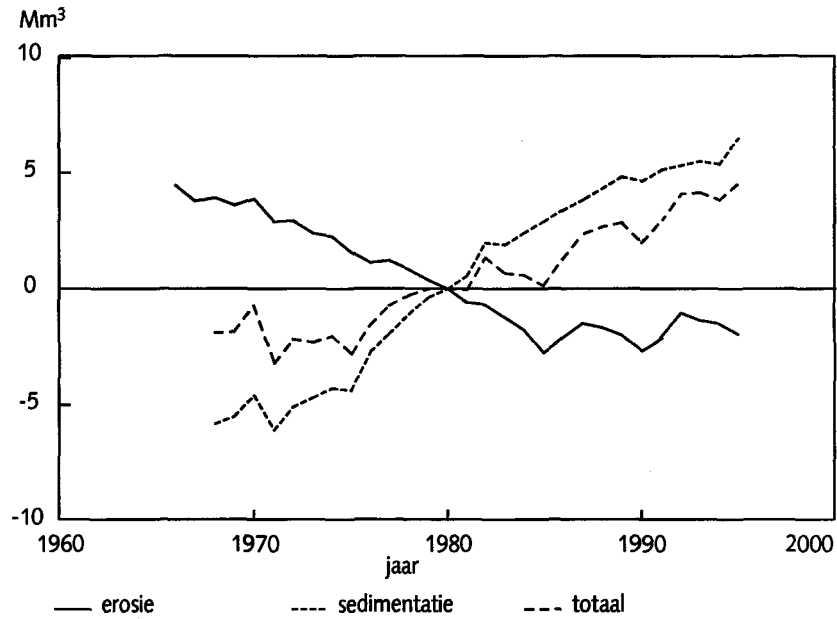
Figuur 3.25.b

Schouwen; inhoudsveranderingen
rekenstroken, 1966-1995.
Volgens bestand directie Zeeland



- In de periode van 1966-1978 bedroeg de over het gehele traject gemiddelde jaarlijkse erosie 57 m^3 per strekkende meter (fig. 3.23). Dit is in deze periode samen met Texel de grootste erosie van de vijf beschouwde kustvakken. Omstreeks 1978 namen de zandverliezen iets toe. Tot de eerste suppletie in 1987 ging jaarlijks $78 \text{ m}^3/\text{m}^1$ verloren. Sinds 1985 is een duidelijke vermindering van de erosie opgetreden, zoals blijkt als het verloop van de kustinhouden wordt gecorrigeerd voor de suppletiehoeveelheden. De veranderingen van de erosiesnelheden hebben waarschijnlijk te maken met de gewijzigde debieten van het Krabbengat als gevolg van de afsluiting van het Brouwershavensche Gat en de bouw van de Oosterscheldekering. De versterking van de erosie in 1978 valt echter niet samen met de aanleg van de Brouwersdam.
- Na 1970 begon het noordelijke segment te eroderen als gevolg van migrerende zandgolven (figuur 3.24a). Het grootste zandverlies trad daar op tussen 1978 en 1985 en bedroeg jaarlijks ca. $140 \text{ m}^3/\text{m}^1$.

Figuur 3.26
Schouwen; inhoudsveranderingen
gehele Noordzeekust, 1965-1995;
km 0.84-17.42.



- Na 1985 nam de erosie aanzienlijk af.
- In het eerste jaar na de suppleties van 1987 en 1991 was de erosie iets groter dan gemiddeld (fig. 3.24b).
 - De gemiddelde duinerosie, die vóór 1980 ca 30% van de totale erosie bedroeg, is na die tijd vrijwel gestopt (fig. 3.25a) omdat de kern van de erosieve zone was verschoven naar het gebied bij de vuurtoren (omgeving km 12) met zeer brede stranden.
 - De suppletie van 1987 erodeerde aanvankelijk het sterkst op de vooroever (fig. 3.25b). Na de suppletie van 1991 is de erosie vrijwel gelijk verdeeld over strand en vooroever.
 - Door de zandsuppleties werd de totale kustinhoud teruggebracht op het niveau van omstreeks 1980. Omdat de situatie vóór de zandsuppletie van 1987 maatgevend was bij het vaststellen van de basiskustlijn zou de in 1991 opgebouwde zandvoorraad dus voldoende kunnen zijn voor een periode van ca. 7 jaar. Indien de verminderde erosie van de laatste jaren, doorzet zou dit langer kunnen worden.

Figuur 3.26 geeft de zandbalans (vooroever + strand + zeereep) van de gehele Noordzeekust van Schouwen. Weergegeven zijn de grafieken voor de som van de erosievakken, de som van de sedimentatievakken en de netto sedimentatie/erosie. Opvallend is de sedimentatie vanaf 1975, enkele jaren na de afsluiting van het Brouwershavensche Gat in 1971. Dit betreft de noord- en noordwestkust. Omstreeks 1980 lijkt dit effect te zijn uitgedempt. De zandwinst na 1986 komt geheel voor rekening van de uitgevoerde suppleties. Als deze van het geheel worden afgetrokken, resteert een gemiddeld verlies van ca. 250.000 m³/j.

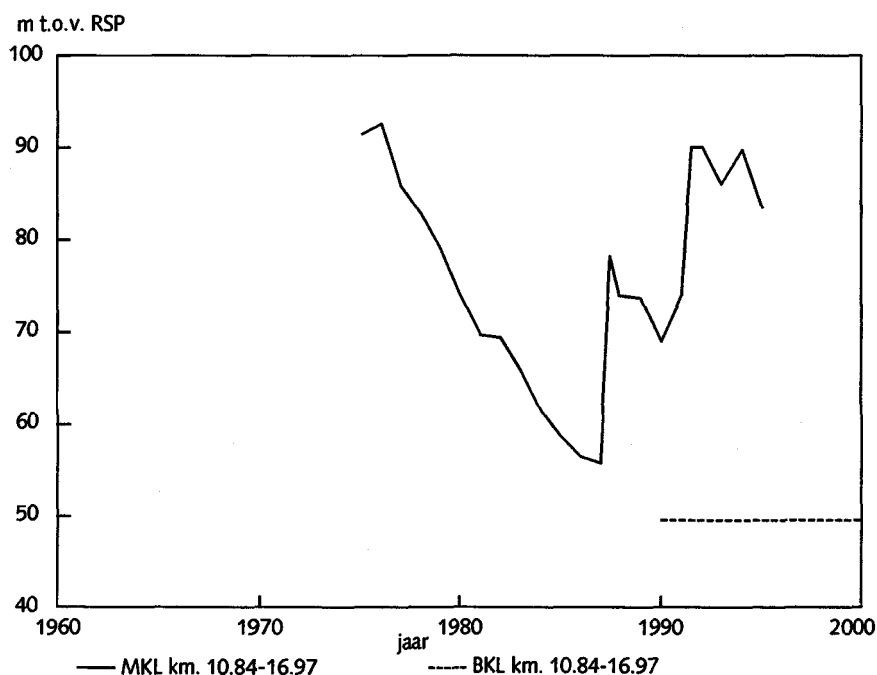
Tabel 3.6
Schouwen, km 10.48-16.97;
karakteristieke erosieperioden.

	periode	strand + vooroever		duin		totaal	
		Mm³/j	m³/m¹ j	Mm³/j	m³/m¹ j	m³/j	m³/m¹ j
voor suppleren	1966-1978	-0,27	-43	-0,09	-14	-0,36	-57
	1978-1985	-0,48	-76	-0,01	-2	-0,49	-78
na suppleren	1987-1995					-0,24	-38

Figuur 3.27.a

Schouwen; kustlijnverplaatsingen,
1975-1995.

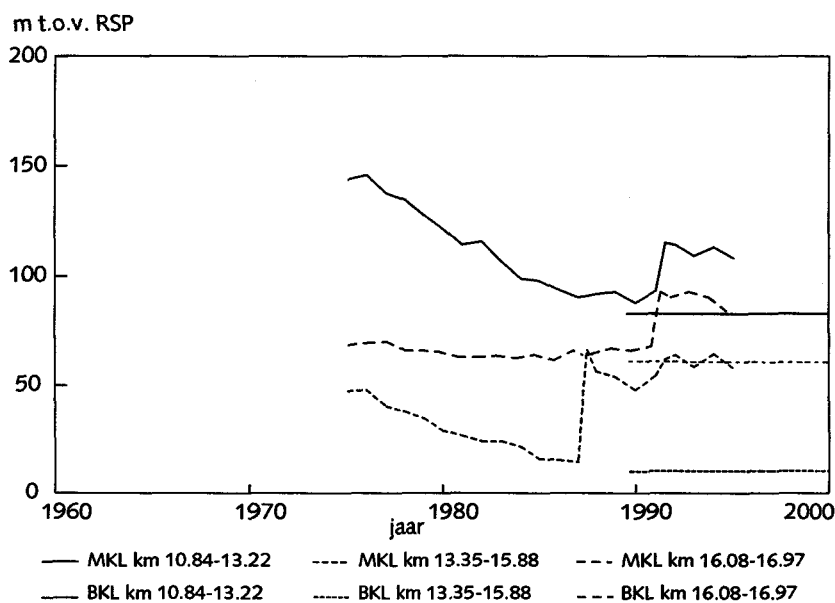
Traject km 10.84-16.97



figuur 3.27.b

Schouwen; kustlijnverplaatsingen
1975-1995.

Segmenten



Kustlijn

Figuur 3.27 geeft van het traject, alsmede van de 3 segmenten de ontwikkeling van de gemiddelde kustlijnpositie (MKL) sedert 1975 weer. De BKL-positie is hierbij aangegeven. Aan de hand hiervan (figuur 3.27) kan het volgende worden geconcludeerd:

- Terwijl het verlies aan kustvolume pas vanaf ca. 1985 afneemt, neemt de kustlijnachteruitgang al vanaf 1981 af. Terwijl voor 1981 de achteruitgang gemiddeld nog ca. 4,0 meter per jaar bedroeg, was deze tussen 1980 en 1987 ca. 2,8 m/j.
- In 1993 lag de gemiddelde kustligging 34 meter zeewaarts van de BKL. De gemiddelde reserves bedroegen in 1993 voor de segmenten noord, midden en zuid resp. 25, 45 en 20 meter.

Figuur 3.28

Schouwen; BKL-overschrijdingen
1992 t/m 1996, km 10.84-16.97.

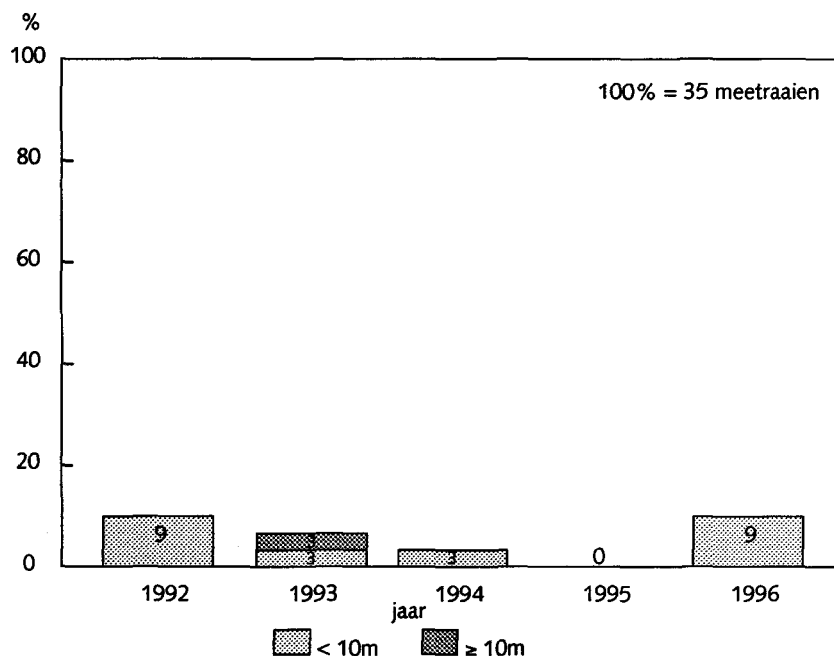
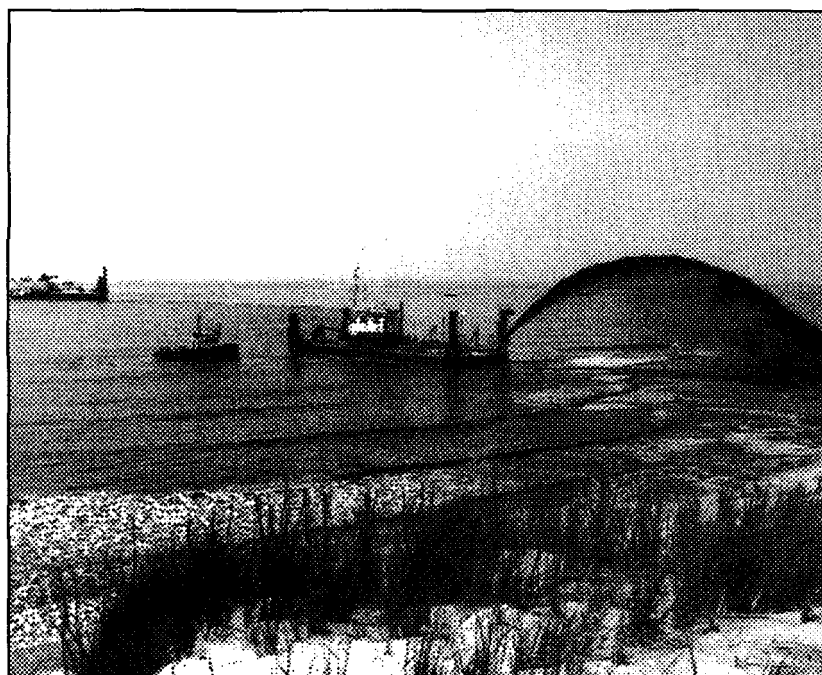


Foto 8

De kust van Schouwen werd in 1987
gesuppleerd met de "rainbow"
methode.



Ondanks de grote gemiddelde reserve van de kustligging ten opzichte van de BKL komen in enkele meetraaien nog overschrijdingen voor (fig. 3.28). Opmerkelijk zijn de overschrijdingen na de suppletie van 1991 en de afname daarna.

Resumerend

De jaarlijkse zandverliezen per strekkende meter van de westkust van Schouwen behoren tot de grootste van Nederland. Met de tot dusver gevolgde methode van suppleren, waarbij de getijgeul zeewaarts wordt opgeschoven, kan deze erosie efficiënt worden bestreden. Slim omgaan met zand in de kustzone werpt hier zijn vruchten af! Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of zandwinning van de Krabbenplaat ook op lange termijn de beste methode is. Overigens lijkt de erosie af te nemen.

3.5 Walcheren

Morfologie en suppleties

De ontwikkeling van de zuidwestkust van Walcheren wordt gedomineerd door het gedrag van het Oostgat, een forse kortsluitgeul tussen de Westerschelde en de Oosterschelde. De diepten van deze geul liggen overwegend tussen NAP -15 en -25 meter, waardoor het Oostgat een belangrijke scheepvaartroute vormt tussen de Noordzee en de Westerschelde (Antwerpen, Terneuzen/Gent). In de loop der eeuwen is de geul langzaam in kustwaartse richting verplaatst. De Walcherse duinkust is hierdoor geërodeerd en heeft -mede door de geologische opbouw en de aangebrachte kustverdediging- in het algemeen een vrij steile onderwateroever gekregen.

Golven beïnvloeden hoofdzakelijk het strand. Er is een netto brandingsstroomtransport in zuidoostelijke richting. Dit heeft geresulteerd in lijzijde-erosie ten zuidoosten van de vaste punten bij Westkapelle, Zoutelande en Vlissingen.

Het grootste gedeelte van het kustvak is verdedigd door middel van paalhoofden met zware stroomkoppen. De functie is dan ook tweeledig: het uit de kust houden van de getijstroom en het remmen van het brandingsstroomtransport. Voor de evaluatie is het traject Westkapelle - Zoutelande (km 22-26, fig. 3.29) gekozen. Dit traject wordt afgebakend door de vaste punten (zeedijken) bij Westkapelle en Zoutelande. In 1984 is in dit traject voor het eerst -zij het lokaal- gesuppleerd (tabel 3.7). De suppleties van 1988, 1990 en 1991 beslaan tezamen het gehele kustvak. In 1992/93 is het overige gedeelte van de Walcherse zuidwestkust, het traject tussen Zoutelande en Vlissingen, gesuppleerd in het kader van dynamisch handhaven. Het suppletiezand werd hierbij steeds gewonnen aan de plaatrand van het Oostgat en heeft vrijwel dezelfde korreldiameter als het oorspronkelijke kustmateriaal.

In 1995 is in het beschouwde traject een kleine suppletie (0,05 mln m³) uitgevoerd ten noorden van Zoutelande. Volgens het ontwerp van de suppletie 1991 zou in 1995 het gehele traject aan de beurt zijn. Dit is echter voorlopig enkele jaren uitgesteld vanwege de gunstige erosie-ontwikkeling.

Vanaf de vijftiger jaren zijn diverse duinversterkingen uitgevoerd, deels met zand uit het duintraject zelf, deels met aangevoerd zand. Deze duinsuppleties zijn aan de landzijde tegen het duin aangebracht, buiten de in deze studie gehanteerde kuberingsstrook. Ze zijn daarom buiten beschouwing gebleven.

Elders aan de zuidwestkust van Walcheren, juist ten noorden van Vlissingen, is in 1995 -enkele jaren eerder dan geraamd- 0,45 mln m³ zand aangebracht.

In lengterichting is het traject Westkapelle Zoutelande verdeeld in vijf segmenten:

Westkapelle	- Badstrand	raaien	21.95-22.35
	- Boerenhof	raaien	22.50-23.00
	- Joossesweg	raaien	23.12-23.62
	- Bucksweg	raaien	23.74-24.84
	- Kustlicht	raaien	24.99-25.97

Het Badstrand Westkapelle (km 22.0-22.4) ligt in de voormalige dijkdoorbraak (1944) boven een verdedigde vooroever en is door een dijkknol gescheiden van de overige segmenten. Boerenhof (km 22.5-23.0) is het lijzijde-erosiegebied ten zuiden van genoemde dijkknol met een vrij flauw profiel boven NAP -5 m en begrensd door een duinvoetverdediging. De overige vakken hebben alle een steil duinfront, een vrij smal strand en beneden ca. NAP - 3 m een steile tot zeer steile

vooroever met op vele plaatsen hellingen van 1:4 à 1:2.
 Het steile kustprofiel leent zich uitstekend voor horizontaal kuberen.
 Hierbij zijn drie rekenschijven onderscheiden:
 - de MKL(BKL)-zone (tussen NAP +3,0 en -6,4 m);
 - de schijf boven de MKL-zone tot top zeereep
 (NAP +3,0 tot +9 à 28 m);
 - de schijf onder de MKL-zone tot de geulbodem

Tabel 3.7

Zandsuppleties Walcheren, traject
 Westkapelle-Zoutelande.

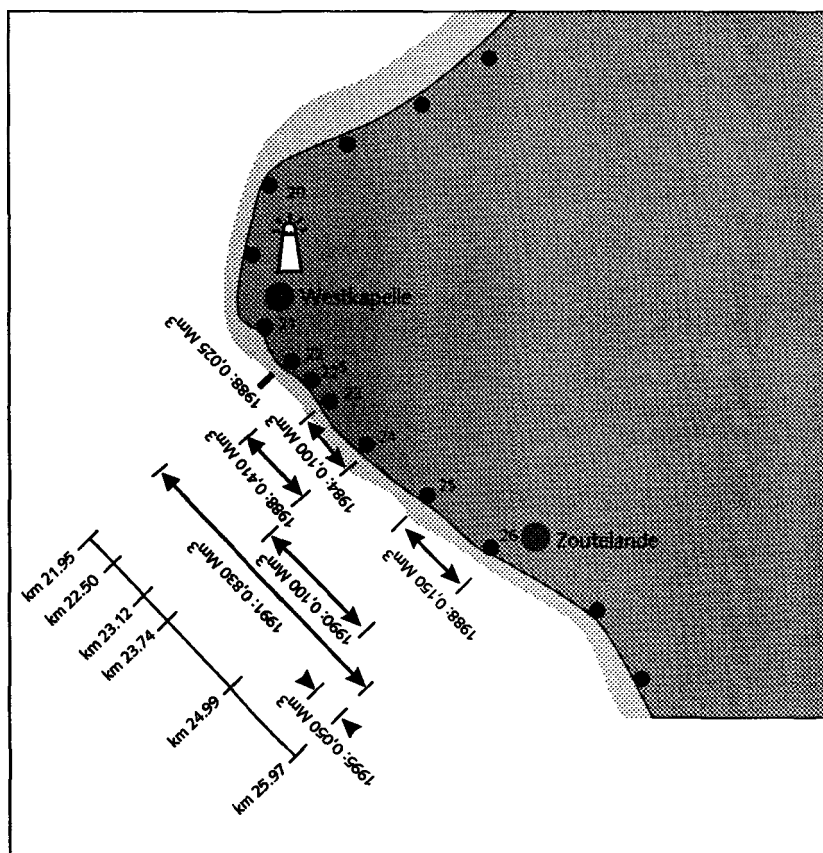
Nr. 1)	traject (km)	jaar	hoeveelheid (mln m ³)	type	kader
27	22.9-23.6	1984	0,10	strand- en duinfront	deltaverzwarend
38	21.9-22.1	1988	0,025	strand	deltaverzwarend
39	22.5-23.6	1988	0,41	strand- en duinfront	deltaverzwarend
40	24.8-25.8	1988	0,15	strand- en duinfront	deltaverzwarend
90-9	23.7-24.9	1990	0,10	strand	hoofdenrenovatie
91-8	21.9-25.9	1991	0,83 ²⁾	strand-, vooroever en duinfront	kustlijnhandhaving
	25.5-26.0	1995	0,05	strand	kustlijnhandhaving

1) nummering volgens Roelse en Hillen (1993)

2) incl. restant van nr. 90-9

Figuur 3.29

Walcheren; suppleties,
 kuberingsgrenzen.



(NAP -6,4 tot -21 à 41 m).

De kuberingen zijn uitgevoerd met behulp van het ZEEKOE-bestand (ZEEuwse Kust en OEvers). Dit bestand is minder compleet dan het JARKUS-bestand, doch bevat suppletieingen en heeft een groot pakket bewerkingsprogrammatuur. De dieptemetingen zijn vanaf 1967 beschikbaar. De hoogtemetingen zijn vanaf 1973 aanwezig, doch door prioriteitstelling is de periode 1976 t/m 1981 nog niet ingevoerd. De lengte van de lodingraaien is ruim voldoende om het actieve kustprofiel te kuberen. Per strandvak is een meetraai aanwezig. Door de korte onderlinge afstand van de hoofden bedraagt de gemiddelde raaiafstand niet meer dan 139 meter. Bij analyse blijken de metingen een groot aantal duidelijk aanwijsbare fouten, alsmede waarschijnlijke fouten te bevatten. De berekende inhouden zijn hiervoor gecorrigeerd. Toch blijft de betrouwbaarheid van sommige metingen twijfelachtig. Dit noopt tot voorzichtigheid bij het interpreteren van de gegevens.

Zandbalans

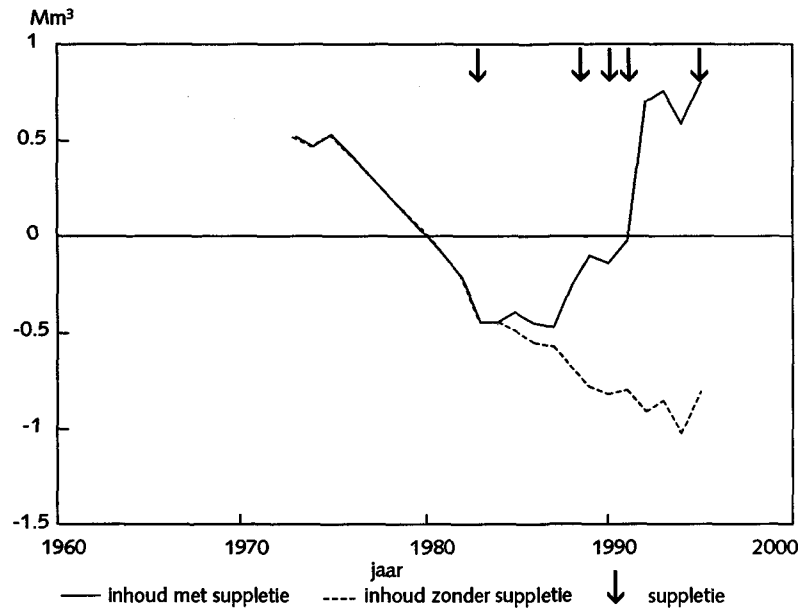
De figuren 3.30, 3.31 en 3.32 geven de berekende inhoudsveranderingen van resp. het traject, de segmenten en de rekenschijven. Als referentiejaar is 1980 gekozen. Aan de hand van deze figuren kan het volgende worden vastgesteld:

- In de periode van 10 jaar, voorafgaand aan de eerste suppletie (1984) is de totale inhoud met bijna 1,0 mln m³ afgenomen (fig. 3.30). Dit is ca. 25 m³/m¹ per jaar, evenals Ameland duidelijk geringer dan in de andere beschouwde kusttrajecten.
- In dezelfde periode traden de grootste verliezen op in het segment Bucksweg (km 23.74-24.84, fig. 3.29 en 3.31), halverwege het kusttraject. Hier bedroeg de inhoudsvermindering 35 m³/m¹ per jaar.
- Volgens figuur 3.32 kwam het grootste deel van de erosie vóór 1984 voor rekening van de diepe vooroever. Het suppletiezand werd voornamelijk in de MKL-zone aangebracht. Hier traden na 1992 de grootste verliezen op door zeewaarts transport. De diepe vooroever profiteerde hiervan. Vanaf 1986 neemt het volume daar toe. De "dip" in 1994 is vrijwel zeker een meetfout.
- Door de zandsuppleties in de periode 1984 t/m 1991 is het totale kustvolume teruggebracht op het niveau van vóór 1973. Er zou dus een zandvoorraad voor tenminste 10 jaar zijn opgebouwd, indien de erosie niet zou toenemen ten opzichte van de erosie vóór het suppleren. Van een toename is geen sprake. De metingen van 1992 t/m 1995 geven zelfs helemaal geen trendmatige erosie te zien.
- Indien het verloop van de kustinhouden wordt gecorrigeerd voor de suppletievolumes, blijkt de "autonome" erosie in de suppletieperiode minder te bedragen dan daarvoor (resp. 45.000 en 90.000 m³/jaar). Dit is opmerkelijk omdat logischerwijze verwacht mag worden dat suppletiezand op een steile, met hoofden verdedigde kust en een vrij harde onderwateroever sneller erodeert dan het oorspronkelijke materiaal. Een verklaring kan worden gezocht in een verbetering van het hoofdenstelsel in de periode 1984 t/m 1991, waarbij het aantal stenen bermen werd verdubbeld en enkele koppen werden uitgebouwd. Wellicht is ook de stroomaanval verminderd door het ontstaan van de Geul van de Rassen, een laterale geul ten zuidwesten van het Oostgat, en door zandwinning aan de plaatszijde van het Oostgat.

De oppervlakten van de kuberingsvakken zijn nogal verschillend. Omdat het hier om een zeer steil kustprofiel gaat, is nagegaan hoe snel de verschillende kustdelen in horizontale richting "bewegen". In tabel 3.8

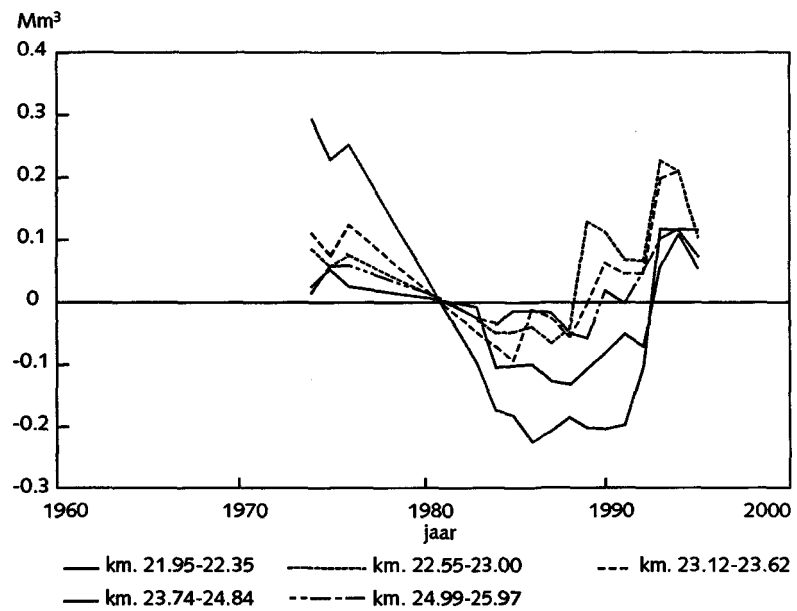
Figuur 3.30

Walcheren; inhoudsveranderingen en
suppleties 1975-1995; km 21.95-
25.97.



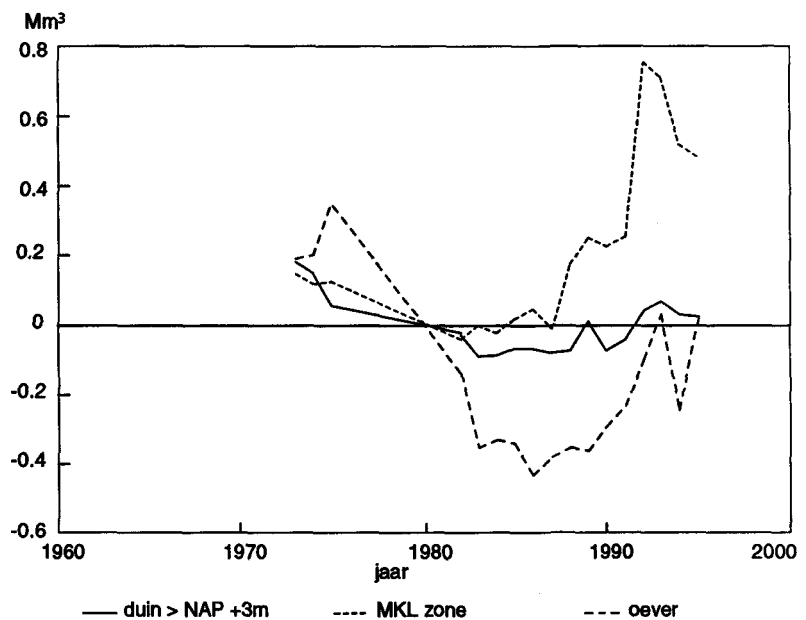
Figuur 3.31

Walcheren; inhoudsveranderingen
segmenten, 1975-1995.



Figuur 3.32

Walcheren; inhoudsveranderingen
rekenstroken, 1975-1995



zijn daarom de gemiddelde verplaatsingen tussen 1973 en 1987 vermeld (gecorrigeerd voor de suppletie Joossesweg in 1984). Hieruit blijkt het volgende:

- De teruggang van duinfront, MKL-zone en de vooroever onder de MKL-zone bedraagt resp. 0,29 , 0,45 en 0,67 m/jaar. Gemiddeld is het kustprofiel dus versteild. Mogelijk is dit een gevolg van diverse aanpassingen van het hoofdenstelsel tussen 1950 en 1980. - De grootste achteruitgang onderging het segment Joossesweg. De MKL-zone was hierbij doorslaggevend.
- Niet overal was er verlies. De MKL-zone bij het Kustlicht en het duin van het badstrand Westkapelle boekten enige vooruitgang.

Tabel 3.8

Traject Westkapelle-Zoutelande,
gemiddelde kustverplaatsing (m/jaar)
in de periode 1973 t/m 1987.

rekenschijf	segmenten					Westkapelle/Zoutelande (km 21.95-25.97)
	Badstr. Westkapelle (km 21.95-22.35)	Boerenhof (km 22.55-23.00)	Joossesweg (km 23.12-23.62)	Bucksweg (km 23.74-24.84)	Kustlicht) (km 24.99-25.97)	
duinfront	+0,15	+0,04	-0,56	-0,60	-0,03	-0,29
MLK-zone	-0,37	-0,18	-1,26	-0,73	+0,13	-0,45
vooroever	-0,83	-0,87	-0,65	-0,67	-0,43	-0,67
kustprofiel	-0,54	-0,43	-0,75	-0,64	-0,14	-0,49

toelichting: + = zeewaarts;

- = landwaarts

Kustlijn

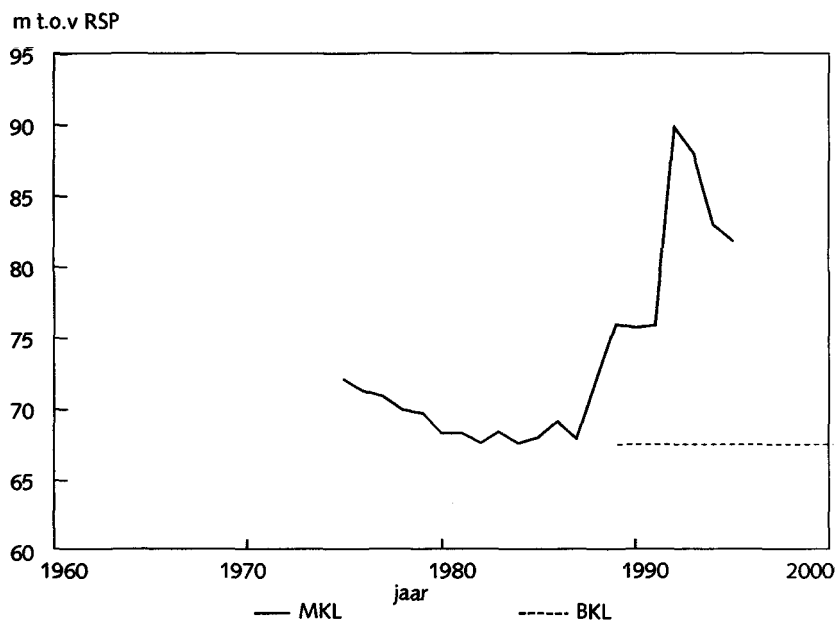
De BKL- en MKL-waarden zijn gewogen gemiddeld over de 5 segmenten en over het gehele traject. Figuur 3.33 geeft van alle segmenten de ontwikkeling van de MKL weer. De vereiste BKL-positie, gebaseerd op de situatie vóór het suppleren en op eisen ten aanzien van een deltaveilig duin- en strandprofiel, is hierbij aangegeven. Figuur 3.34 geeft de verplaatsingen van de laagwaterlijn weer sedert 1880. Ter vergelijking zijn hier tevens de verplaatsingen van de MKL-zone weergegeven. Het referentiejaar is 1990. Geconcludeerd kan worden:

- In 1995, 4 jaar na de laatste suppletie, lag de MKL gemiddeld ca. 15 m zeewaarts van de BKL (fig. 3.33a). Het segment Kustlicht (km 24.99-25.97, fig. 3.29 en 3.33b) had -mede door een zeewaarts verlegde BKL- de kleinste reserve. In 1994 was er in enkele raaien geen reserve meer, waarop in 1995 een bescheiden suppletie volgde.
- Met het suppleren is de laagwaterlijn aanzienlijk verder zeewaarts verplaatst dan de MKL (fig. 3.34). Het verschil bedraagt gemiddeld ca 10 m. Dit duidt op een vlakker strand en een steilere onderwateroever in de MKL-zone.
- De lange termijnontwikkeling van de laagwaterlijn geeft tussen 1910 en 1950 een vermindering van de kustachteruitgang te zien. Na 1950 verplaatst de kust weer met dezelfde snelheid landwaarts als vóór 1910. Door de grillige teruggang van de vooroever op grotere diepten en de invloed van werken aan de strandhoofden is dit beeld niet representatief voor de erosiehoeveelheden.
- Door de suppleties is de gemiddelde laagwaterlijn teruggebracht op een positie die grofweg tussen 1920 en 1940 aanwezig was. Dit schetst echter een te gunstig beeld omdat tot dusver het meeste suppletiezand bij de laagwaterlijn terecht is gekomen.

Figuur 3.33.a

Walcheren; kustlijnverplaatsingen,
1975-1992.

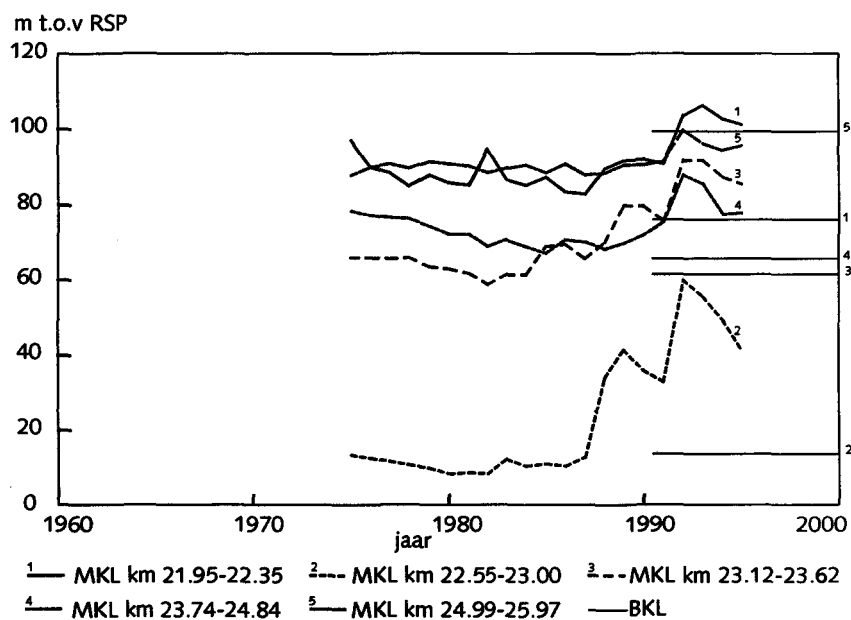
Traject km 21.95-25.97



Figuur 3.33.b

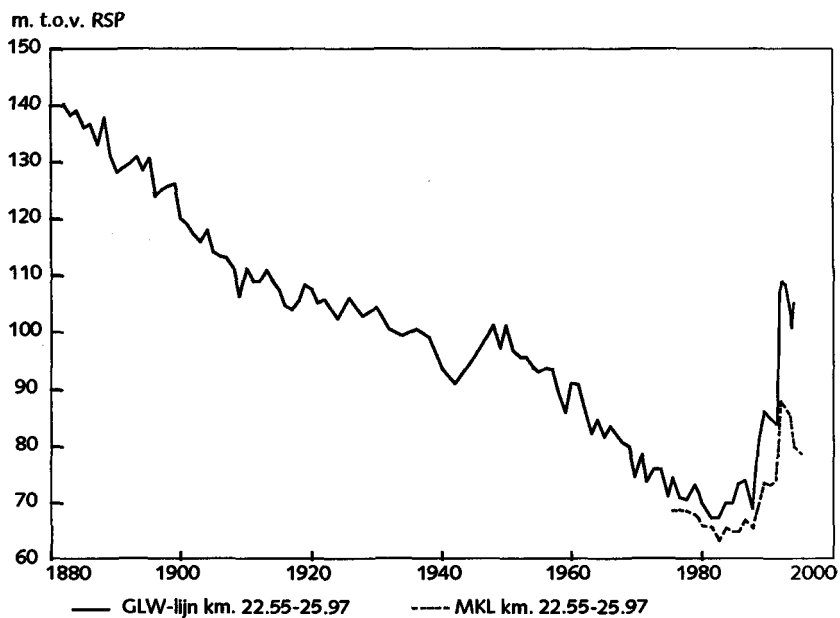
Walcheren; kustlijnverplaatsingen,
1975-1992.

Segmenten



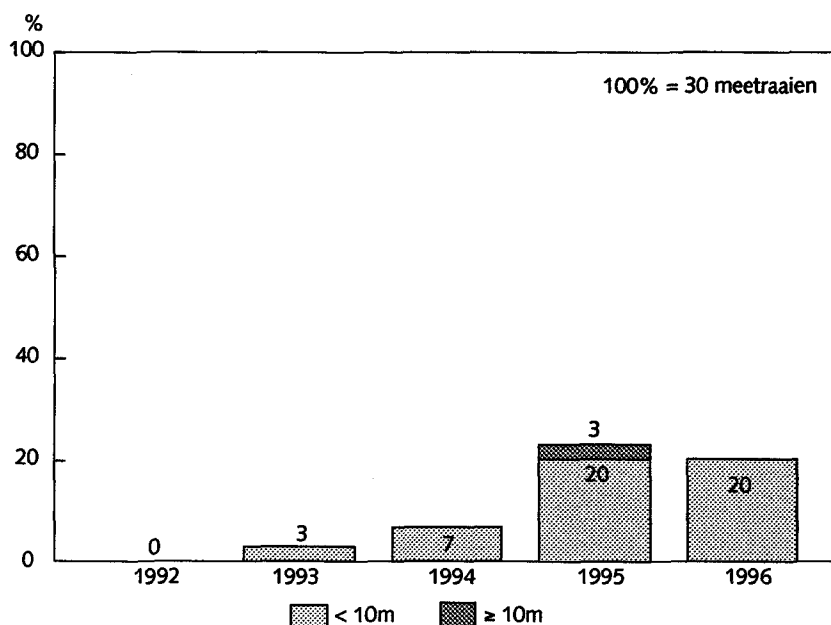
Figuur 3.34

Walcheren; lange termijn
ontwikkeling laagwaterlijn, 1882-
1994.



Figuur 3.35

Walcheren; BKL-overschrijdingen
1992 t/m 1996, km 21.95-25.97.



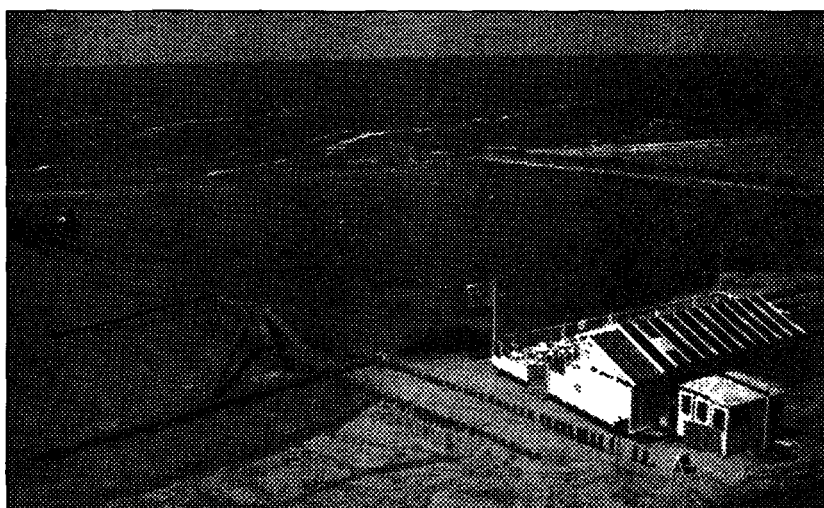
Uit figuur 3.35 blijkt dat ondanks de gunstige gemiddelde kustlijnpositie het aantal BKL-overschrijdingen toeneemt. Deze komen vooral voor in het zuidelijke gedeelte van het traject. De ongunstige aantallen in 1995 zijn vooral het gevolg van de waarschijnlijk onjuiste oeverpeiling van 1994.

Resumerend

De zandverliezen sedert de eerste suppletie vallen mee en zijn zelfs gunstiger dan in de periode vóór het suppleren. De oorzaak hiervan kan worden gezocht in de verbetering van het hoofdenstelsel en mogelijke vermindering van de stroomdruk van het Oostgat. Met uitzondering van het zuidelijkste segment wordt de BKL naar verwachting enkele jaren langer gehandhaafd dan met de laatste suppletie werd beoogd. Hoewel dit kustvak zich door zijn zeer steile vooroever en smalle stranden niet bij uitstek lijkt te lenen voor zandsuppletie, blijkt dit toch een efficiënte methode te zijn om de kustlijn te handhaven. De suppleties vereisen wel een uitgekiend ontwerp, waarbij ook met andere (dan morfologische) belangen rekening moet worden gehouden. Zo zal bijvoorbeeld bij de toepassing van zandbuffers (banketten) tegen het duinfront de breedte van het recreatiestrand bij het ontwerp mede een rol spelen.

Foto 9

Suppleren op een smal strand met strandhoofden is maatwerk.



4 Synthese evaluatie fase II

Voor een evaluatie op een grote tijd- en ruimteschaal zijn vijf kusttrajecten onderzocht, in lengte variërend van 4 tot 15 kilometer (tabel 4.1). Behalve de JARKUS-periode is voor enkele kusttrajecten tevens de lange termijn-ontwikkeling sedert 1880 beschouwd. Per traject zijn t/m 1994 3 à 7 suppleties uitgevoerd. Bij de analyse van de kustontwikkeling gedurende de JARKUS-periode is zowel gekeken naar het totale zandvolume als naar de positie van de kustlijn. Figuur 4.1 geeft een grafisch overzicht van de resultaten. De kustlijnpositie (rechts in de figuur) is hierbij gemiddeld over het kustvak. De grafieken met de inhoudsveranderingen (links in figuur 4.1) zijn voor een onderlinge vergelijking uitgedrukt in kubieke meters per strekkende meter kust. Voorts zijn de gemeten inhouden verminderd met de gesuppleerde volumina. Dit geeft een beeld van de zandverliezen na het suppleren.

Tabel 4.1

Overzicht geëvalueerde kusttrajecten
t.b.v. grootschalige effecten;
zandbalans 1995 over voorafgaande
suppletieperiode¹⁾.

kustvak	traject (km)	uitgevoerde suppleties t/m 1994					zandverlies		zandbalans 1995 ³⁾	
		sinds	aantal	volume ¹⁾ (10 ⁶ m ³)	rest levensd. ²⁾	gecorrigeerd volume ²⁾ (10 ⁶ m ³)	periode	hoeveelh (10 ⁶ m ³)	reëel (10 ⁶ m ³)	theore- tisch (10 ⁶ m ³)
Ameland	10-20	1980	3	4,87	2	4,23	'80-'95	- 3,98	+0,89	+0,25
Texel	18-31	1979	6	14,76	4 en 1	13,32	'79-'95	-15,76	-1,00	-2,44
N- Holland	05-20	1976	7	5,77	4 en 1	5,05	'75-'95	- 4,70	+1,07	+0,35
Schouwen	11-17	1987	2	4,33	2	3,95	'85-'95	- 2,38	+1,95	+1,57
Walcheren	22-26	1984	6	1,61	0	1,61	'84-'95	- 1,25	+0,36	+0,36

¹⁾ gerekend vanaf de eerste suppletie in het traject

²⁾ correctie aan de hand van de resterende levensduur en het verwachte jaarlijkse verlies volgens het ontwerp, dus suppletievolume minus de hoeveelheid bedoeld voor erosiebestrijding na 1995

³⁾ reëel = gesuppleerd volume - zandverlies

theoretisch = gecorrigeerd suppletievolume - zandverlies

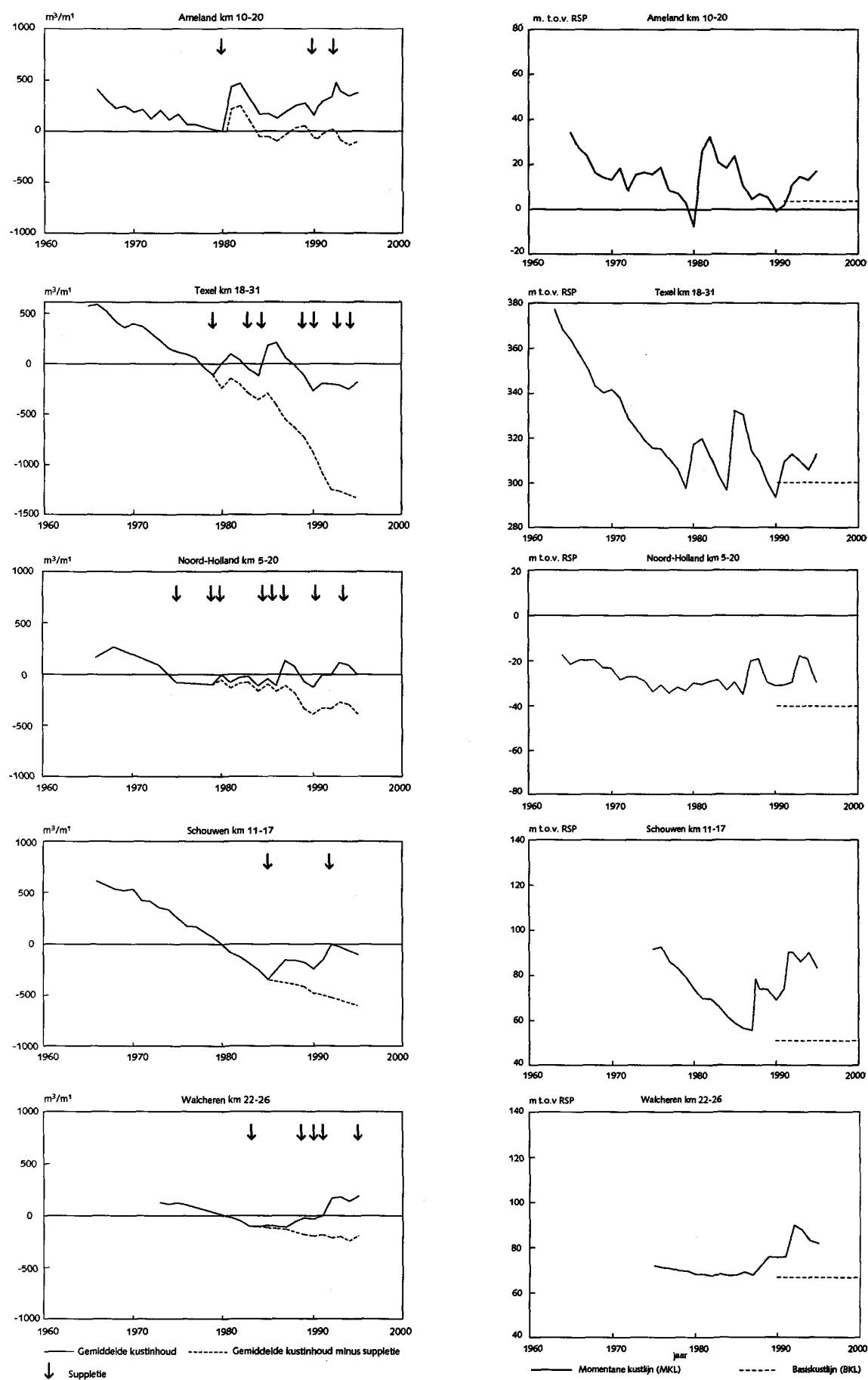
Tabel 4.1 geeft per lokatie de zandbalans per medio 1995 weer vanaf het moment dat met suppleren is begonnen. Het zal duidelijk zijn dat dit slechts een momentopname betreft, waarbij niet is gecorrigeerd voor de spreiding die normaliter in de tijdreeksen van kustvolumina is waar te nemen.

Van de onderzochte kusttrajecten behoefde dat op Texel tot dusver de grootste suppletie-inspanning. Tussen De Koog en het Eierlandsche Gat is in de periode 1979 t/m 1994 bijna 15 miljoen kubieke meter zand gesuppleerd. Dit heeft de erosie van bijna 16 mln m³ echter niet geheel kunnen compenseren. De periode met de sterkste erosie lijkt hier overigens achter de rug.

In de overige kusttrajecten bleek de erosie kleiner dan de totale aangebrachte hoeveelheid zand. Met andere woorden: Dankzij de uitgevoerde suppleties zijn de kustvakken beter in het zand komen te zitten. Gedeeltelijk hoort dit ook, omdat de laatste suppletie in een vak nog niet geheel is uitgewerkt. Hiervoor is de suppletiehoeveelheid gecorrigeerd. Uitgezonderd Texel is ook de (theoretische) zandbalans

Figuur 4.1

Volumeveranderingen (links) en kustlijnverplaatsingen (rechts) voor vijf onderzochte kustvakken [14].



positief. De opgetreden erosie is blijkbaar minder dan de erosie waarmee in de ontwerpen van de diverse zandsuppleties is gerekend.

Blijkens figuur 4.1 is in de beschouwde kusttrajecten op Ameland, Schouwen en Walcheren na aanvang van de suppleties geen toename van de erosie te constateren. Er is eerder sprake van een licht afnemende erosie. Op Ameland neemt buiten het beschouwde traject de erosie echter toe aan de westkop (Bornrif en aangrenzende kustdelen).

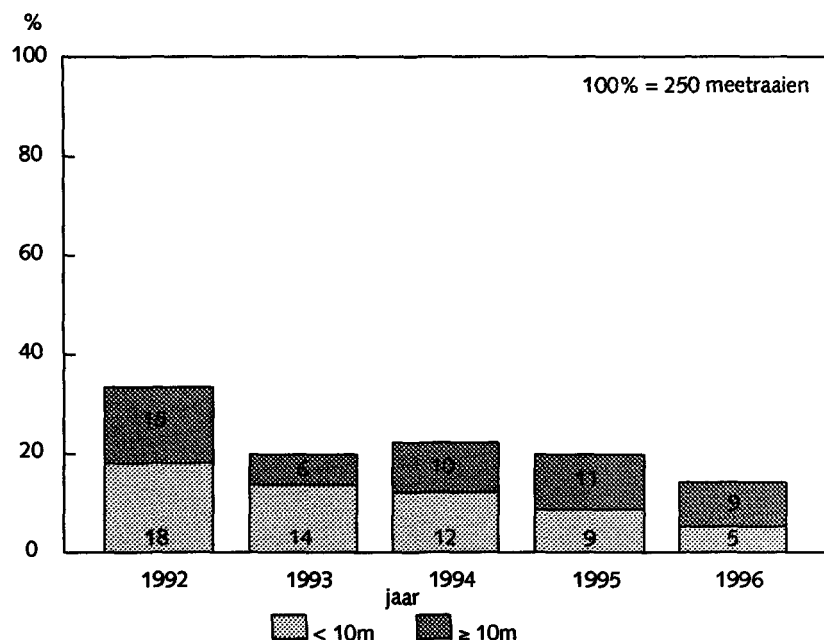
De tijdelijk grote zandverliezen in het Noordhollandse traject lijken te passen in het beeld van de natuurlijke kustfluctuaties.

Uit figuur 4.1 blijkt dat de kustlijn, gemiddeld over een groot vak, met zandsuppleties in het algemeen goed tot zeer goed op zijn plaats kan worden gehouden. Op Walcheren en Schouwen had ten aanzien van kustlijnhandhaving met minder zand kunnen worden volstaan. Uit de kustkaarten met de resultaten van de jaarlijkse toetsing blijkt echter dat lokaal aanzienlijke afwijkingen van de gemiddelde ontwikkeling kunnen optreden. Er zal dus altijd rekening moeten worden gehouden met enige reserve in de gemiddelde kustlijnpositie om overschrijdingen van de basiskustlijn te voorkomen.

Figuur 4.2 geeft een beeld van de bij de jaarlijkse toetsing vastgestelde aantallen overschrijdingen van de basiskustlijn voor de vijf beschouwde suppletiegebieden. Hieruit blijkt dat na vijf jaar kustlijnhandhaving het totale aantal overschrijdingen is afgenomen (fig. 4.2a). De achterstand wordt dus ingelopen. Grote overschrijdingen (10 meter of meer) komen nog slechts in 5% van de meetraaien voor. Voorts zijn de verschillen tussen de diverse trajecten afgenomen (fig. 4.2b en 4.2c)

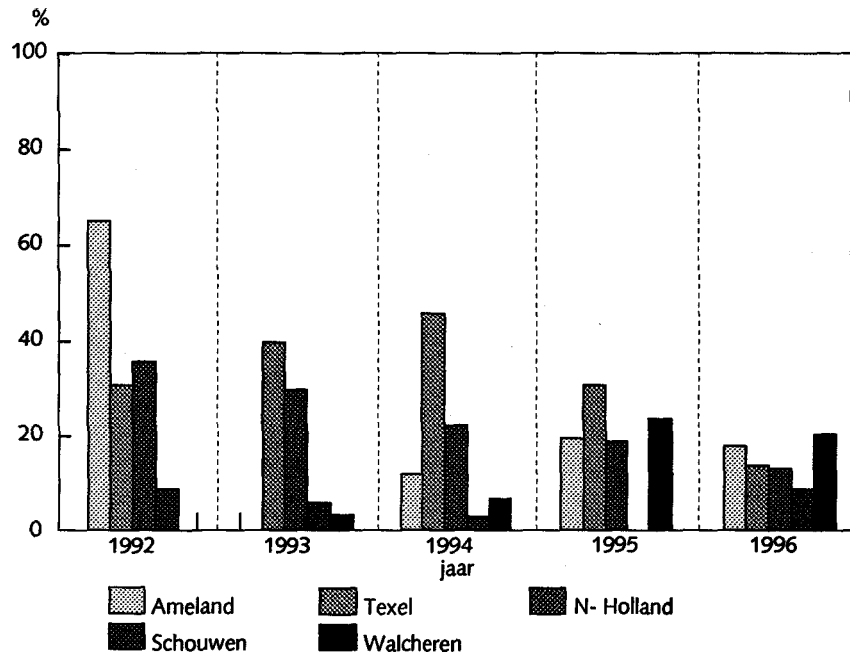
Voor 4 van de 5 onderzochte kusttrajecten worden in de naaste toekomst geen grote problemen met de erosiebestrijding verwacht. Alleen Texel baart zorg. De zandverliezen zijn hier zeer groot in vergelijking met de overige kustvakken. Inmiddels is bij Eierland, op de noordpunt van Texel, een hard verdedigingselement aangebracht in de vorm van een lange dwarsdam. Deze maatregel zal echter hooguit een kwart van de eroderende kust op Texel beïnvloeden. Op het centrale deel van Ameland is de erosie afgenomen. Een in 1996 geplande

Figuur 4.2.a
Procentuele overschrijding van de basiskustlijn.
BKL-overschrijdingen 5 trajecten.



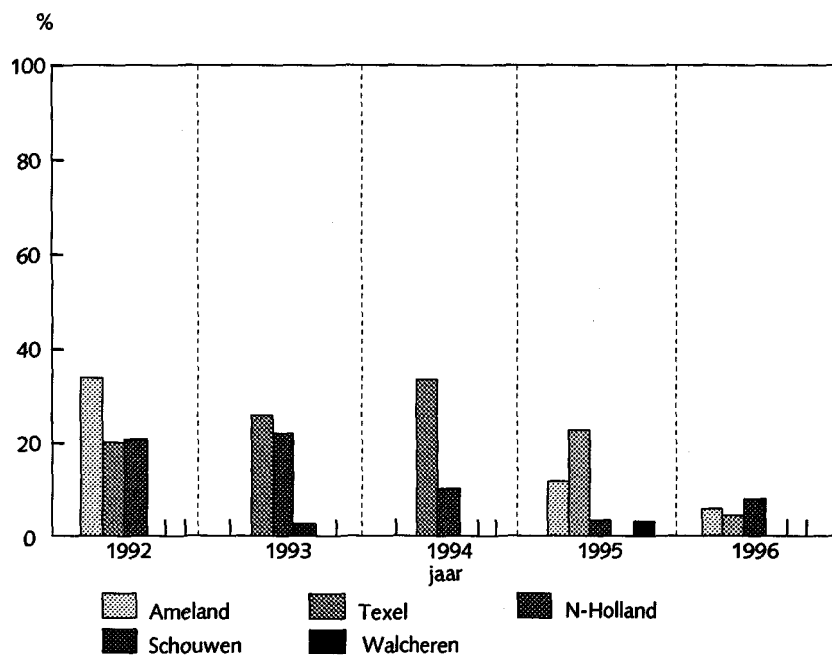
Figuur 4.2.b

Procentuele overschrijding van de basiskustlijn.
BKL-overschrijdingen per traject.



Figuur 4.2.c

Procentuele overschrijding van de basiskustlijn.
BKL-overschrijdingen 10 m of meer per traject.



suppletie is uitgesteld. De ontwikkelingen van het Bornrif en de aangrenzende kustdelen zijn echter zorgelijk. Mogelijk hebben deze op termijn ook gevolgen voor het centrale deel. In 1996 wordt aan de oostzijde van het Bornrif gesuppleerd (km 7-11). Verwacht mag worden dat dit mede voeding zal geven aan het centrale deel van de Noordzeekust van Ameland.

Het kustvolume van Noord-Holland ten noorden van de Hondsbossche Zeewering vertoont perioden met toenemende en afnemende erosie. Na de periode van toenemende erosie (ca. 1985-1990) volgden enkele jaren van sedimentatie. De laatste twee jaar trad weer erosie op. Op langere termijn is de ontwikkeling minder duidelijk. Omdat de invloed

van het zeegat van Texel zich uitstrekt tot in dit kusttraject, zal het kustgedrag mede afhangen van de ontwikkelingen in het zuidwestelijke gedeelte van de Waddenzee.

In het noordelijk Deltagebied heeft de afsluiting van Brielse Gat, Haringvliet en Grevelingen een gunstig effect op de kustontwikkeling van Voorne en Goeree. Voor de westkust van Schouwen en voor Walcheren ligt dit minder duidelijk. De westkust van Schouwen ligt in het invloedsgebied van de afsluitingen, zodat op lange termijn een afnemende erosie in de rede ligt. De zuidwestkust van Walcheren daarentegen staat sterk onder de invloed van het Oostgat, de getijgeul die daar kort voor de kust ligt. Het is niet zeker dat de huidige gunstige ontwikkeling doorzet. Een eventueel weer op gang gekomen erosie zal hier vermoedelijk gering van omvang zijn, waardoor ook dan zandsuppleties de voorkeur verdienen.

5 Conclusies

Zandsuppletie is een effectieve methode is om de kusterosie te bestrijden. De duinenkust met al zijn specifieke waarden en gebruiksfuncties kan op deze wijze in stand worden gehouden. Dat blijkt uit studie van individuele suppleties en uit onderzoek van het gecombineerde effect van diverse suppleties op grotere tijd- en ruimteschaal.

Van de vijf onderzochte erosiegebieden is alleen in het Texels traject de erosie dermate groot, dat andere (harde) kustverdediging op termijn goedkoper is. De recent aangelegde dwarsdam beïnvloedt echter slechts circa 25% van de in zijn geheel sterk eroderende kust van Texel. Texel zal daarom in de komende jaren toch de grootste suppletie-inspanning vergen.

Door verspreiding van het suppletiezand naar dieper water en naastliggende kustvakken is voor een enkele suppletie de effectiviteit doorgaans minder dan 100%. Over 10 onderzochte suppleties werd gemiddeld 80% berekend. De diverse per suppletie berekende effectiviteiten van het suppletiezand lopen echter sterk uiteen. Dit is soms een gevolg van een geringe beschikbare ruimte (zoals bijvoorbeeld tussen strandhoofden), doch veelal spelen natuurlijke fluctuaties van de kustinhoud een rol. Wordt op een grotere tijd- en ruimteschaal geëvalueerd, dan blijkt over het algemeen geen extra erosie op te treden vanaf het moment dat met suppleren is begonnen.

Behalve op Texel is van alle onderzochte kustvakken de zandbalans positief. Vier van de vijf kusttrajecten zitten dus beter in het zand dan voordat er werd gesuppleerd. Het aantal overschrijdingen van de basiskustlijn sinds de eerste toetsing van 1992 neemt gemiddeld over de vijf trajecten nog steeds af.

De tijdreeksen van kustinhouden vertonen veelal trendveranderingen en fluctuaties. Deze zijn moeilijk te voorspellen als zich geen duidelijke oorzaak aandient. Voor de jaarlijkse suppletie-inspanning voor de gehele Nederlandse kust is dit doorgaans geen bezwaar. Zandsuppletie is een zeer flexibele vorm van kustverdediging. Voor mee- of tegenvallende zandverliezen kan worden gecorrigeerd door regelmatige bijstelling van het suppletieprogramma. Vaak betekent meer erosie in een bepaald kustvak minder erosie in het aangrenzende vak. Toch is ten behoeve van een optimalisering van het suppletieprogramma gedegen kennis van het kustgedrag nodig. Hoe meer inzicht in het kustgedrag, hoe effectiever de financiële middelen kunnen worden ingezet.

In het licht van duurzaam dynamisch handhaven van de Nederlandse kust door middel van zandsuppleties is een evaluatieperiode van 4 jaar betrekkelijk kort. Hoewel de resultaten gunstig zijn verdient het aanbeveling om ook in de toekomst de zandsuppleties te blijven evalueren. Enerzijds is dit van belang voor optimalisering van het morfologische ontwerp van suppleties, anderzijds behoeven ecologische effecten en uitvoeringsaspecten nog aandacht.

Literatuur

Groenendijk, F.C., 1995

Zand voor Nederland; De ontwikkeling van het zandvolume van de Nederlandse kust. Analyse vanaf 1965; extrapolatie tot 2010. Rapport RIKZ/OS-95.003, RWS-Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag

Hillen, R., Ruig, J.H.M. de, Roelse, P. en Hallie, F.P., 1991

De Basiskustlijn, een technisch/morfologische uitwerking. Rapport DGW-91.006, RWS-Dienst Getijdewateren, Den Haag.

Hillen, R. en Ruig, J.H.M. de, 1993

De Basiskustlijn, Norm voor Dynamisch Handhaven. Rapport DGW-93.035, RWS-Dienst Getijdewateren/ Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.

Hillen, R., 1993

Drie jaar kustlijnverzorging; voortgangsrapportage "dynamisch handhaven". Rapport DGW-93.055, RWS-Dienst Getijdewateren/ Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.

Maranus, J.W., 1994

Evaluatie zandsuppleties kustvak Westkapelle-Zoutelande. Werkdocument RIKZ/AB.94.876x, RWS-Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1990 Kustverdediging na 1990,
Beleidskeuze voor de kustlijnverzorging. SDU uitgeverij, 's-Gravenhage.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996

Kustbalans 1996, de tweede kustnota.
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, den Haag

Noordstra, P., 1994

Evaluatie zandsuppleties 1980, 1990 en 1992, Ameland-midden. Rapport ANZ 94.04, RWS-Directie Noord-Nederland, Leeuwarden.

Rakhorst, H.D., 1993

Overzicht suppleties Noord-Holland en Texel Nota NH-93.ANV.003, RWS-Directie Noord-Holland, Haarlem.

Rakhorst, H.D., 1994

Suppletie Callantsoog; effecten op de omgeving. Nota NH-94.ANV.002, RWS-Directie Noord-Holland, Haarlem.

Rijkswaterstaat, directie Noord-Holland, 1993

Kustverdediging Eierland. Eindverslag van de projectgroep.

Rijkswaterstaat, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 Kustlijinkaarten

Laatste rapport: RIKZ-95.062, RWS-Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.

Roelse, P. en Hillen, R., 1993

Evaluatie van zandsuppleties, een morfologische beschouwing, interim rapportage. Rapport DGW-93.054, RWS-Dienst Getijdewateren/Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag/Middelburg.

Ruig, J. de, 1995

De kust in breder perspectief; basisrapport kustnota 1995. Rapport RIKZ/95.005, RWS-Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.

Ruig, J. de en Noordstra, P., 1996

Erosie op Ameland-Bornrif en Terschelling- Noordergronden. Werkdocument RIKZ/AB-96.101x, RWS-Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.

Colofon

Auteur

Piet Roelse

Werkgroep

Piet Roelse (RIKZ, voorzitter/secretaris)
Roeland Hillen (RIKZ; tot 1-10-1994)
Onno van Kleef (Dir. Zeeland; tot 1-11-1995)
Roy Nolten (Dir. Zuid-Holland)
Albert Prakken (Dir. Noord-Nederland)
Dick Rakhorst (Dir. Noord-Holland)
Joost de Ruig (RIKZ; per 1-10-1994)
Paul Sistermans (per 1-11-1995)
Pieter van Vessem (RIKZ)

Bijdragen van

Jan Maranus
Pieter Noordstra
Lia Walburg
Tobias Walhout

Fotografie

Foto omslag 1,2,3 Jan van den Broeke

Grafische verzorging

Jan van den Broeke
Joost Eykman
Thea Westerveld

Informatie

P. Roelse
Rijksinstituut voor kust en Zee
Postbus 8039
4330 AE Middelburg
Telefoon: 0118 67 23 00

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee
Postbus 20907 2500 EX Den Haag
Telefoon: 070 311 43 11

