

technisch rapport 0  
**overzicht**  
**technische onderbouwing**  
**discussienota**  
**kustverdediging**

**kustverdediging**  
**na 1990**



Cobla

# **technisch rapport 0**

**overzicht  
technische  
onderbouwing  
discussienota  
kustverdediging**

samenvatting en conclusies  
van de uitgevoerde projecten

mei 1989

kustverdediging na 1990

# INHOUD

	Samenhang tussen de technische rapporten . . . . .	7
1	Zandsysteem kust . . . . .	11
	Een morfologische karakterisering	
1.1	Inleiding . . . . .	11
1.2	Morfologie . . . . .	11
1.3	Ontwikkeling . . . . .	13
1.4	Processen . . . . .	14
1.5	Dynamiek . . . . .	15
2	Toestand kust 1990 . . . . .	17
	Kusttypering en kustligging	
2.1	Inleiding . . . . .	17
2.2	Beschouwde kustlengte . . . . .	17
2.3	Uiterlijke kenmerken duinenkust . . . . .	17
2.4	Ontwikkeling duinenkust . . . . .	25
3	Kustonderhoud . . . . .	27
	Kosten van basisonderhoud	
3.1	Inleiding . . . . .	27
3.2	Aanpak . . . . .	27
3.3	Beschrijving huidig beheer . . . . .	28
3.4	Basisonderhoudskosten . . . . .	29
3.5	De duinenkust . . . . .	30
4	Inventarisatie duinfuncties . . . . .	33
4.1	Inleiding . . . . .	33
4.2	Geografische inventarisatie . . . . .	33
4.3	Beleidsmatige inventarisatie . . . . .	35
4.4	Conclusies . . . . .	39
5	Kustvoorspelling . . . . .	41
	Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090	
5.1	Doel van de studie . . . . .	41
5.2	Methode van aanpak . . . . .	41
5.3	Grootschalige ontwikkeling van het Nederlandse kustsysteem . . . . .	42
5.4	Extrapolatie waargenomen ontwikkeling kustlijn (Fase 1)	43
5.5	Fenomenologische kennis (Fase 2) . . . . .	44
5.6	Conceptuele modellen voor de grootschalige kustontwik- keling (Fase 3) . . . . .	45
5.7	Twee-lijn modellering ontwikkeling Hollandse kustlijn (Fase 3) . . . . .	50
5.8	Grootschalig model voor de ontwikkeling van de Nederlandse kust . . . . .	51
5.9	Voorspelling grootschalige kustlijnontwikkeling . . . . .	53
5.10	Voorspelling gedetailleerde kustlijnontwikkeling . . . . .	56
5.11	Conclusies . . . . .	57
6	Zeespiegelrijzing . . . . .	59
	Hydro-meteo scenario's	
6.1	Veranderingen en hydraulische omstandigheden en oorzaken daarvan . . . . .	59
6.2	Probleemstelling . . . . .	61
6.3	Veranderingen in de hydraulische randvoorwaarden . . . . .	62
6.4	Scenario's randvoorwaarden . . . . .	63

7	Duinen als waterkering . . . . .	67
	Invloed van kustgedrag op veiligheid	
8	Duinfuncties . . . . .	69
	Invloed van kustgedrag	
8.1	Inleiding . . . . .	69
8.2	Voorspelling kustontwikkeling 1990-2090 . . . . .	69
8.3	Inventarisatie met een geografisch informatie- systeem (GIS) . . . . .	69
8.4	Effecten van kustachteruitgang op duinfuncties . . . . .	70
8.5	Beoordelingscriteria . . . . .	72
8.6	Functie-analyse bij veranderende kustlijnen . . . . .	75
8.7	Conclusies . . . . .	76
9	Inventarisatie functies onderwateroever . . . . .	79
	Interactie met kustverdediging	
9.1	Onderwateroever . . . . .	79
9.2	Technisch rapport 9 . . . . .	79
9.3	Overzicht functies onderwateroever . . . . .	80
9.4	Wisselwerking van kustverdediging met andere onderwateroeverfuncties . . . . .	82
9.5	De onderwateroever en het bestaande ruimtelijk beleid . . . . .	84
9.6	Conclusies . . . . .	85
10	Zeezandwinning . . . . .	87
	Invloed op kustgedrag; een verkenning	
11	Strand- en duinsuppleties . . . . .	95
	Effectiviteit en kosten	
11.1	Inleiding . . . . .	95
11.2	Kosten . . . . .	98
11.3	Strandhoofden en zandsuppleties . . . . .	100
12	Strandhoofden en paalrijen . . . . .	103
	Evaluatie werking	
13	Grote civiele werken . . . . .	107
	Invloed op kustgedrag	
14	Onderwateroeversuppleties . . . . .	111
	Een alternatieve kustverdedigingsmethode	
14.1	Inleiding . . . . .	111
14.2	Doel van de studie . . . . .	112
14.3	Aanpak . . . . .	112
14.4	Toetsing model . . . . .	113
14.5	Simulaties onderwateroeversuppleties . . . . .	113
14.6	Langstransport-effecten . . . . .	114
14.7	Conclusies . . . . .	114
15	Monitoring kustgedrag . . . . .	117
	huidige situatie	
15.1	Doel van de studie . . . . .	117
15.2	Wat is monitoren . . . . .	117
15.3	Parameters en gebied . . . . .	117
15.4	De waterstand . . . . .	118
15.5	Golven . . . . .	118
15.6	De bodemligging . . . . .	119
15.7	Overige parameters . . . . .	121

15.8	Remote sensing . . . . .	122
5.9	Conclusies . . . . .	122
16	Harde kustverdediging . . . . .	125
	Zeedijken, havengebieden en strandmuren als waterkering	
16.1	Deltaveiligheid . . . . .	125
16.2	Technisch rapport 16 . . . . .	125
16.3	Scenario's . . . . .	125
16.4	Aanpak . . . . .	126
16.5	Harde kustverdediging . . . . .	127
16.6	Vakindeling Nederlandse kust . . . . .	128
16.7	Consequenties handhaven Deltaveiligheid . . . . .	128
16.8	Retireren harde waterkeringen . . . . .	129
16.9	Belangrijkste conclusies . . . . .	130
17	Systeem-analytisch model . . . . .	133
	Beschrijving model KUSTBEL	
17.1	Inleiding . . . . .	133
17.2	Algemeen . . . . .	133
17.3	Systeem . . . . .	133
17.4	Maatschappij . . . . .	134
17.5	Analyse . . . . .	135
17.6	Testen . . . . .	136
17.7	Het gebruik . . . . .	136
18	Berekeningsresultaten beleidsalternatieven . . . . .	139
	Detailresultaten van computermodel	
18.1	Inleiding . . . . .	139
18.2	Definiëring van de rekengevallen . . . . .	139
18.3	Weergave van de berekeningsresultaten . . . . .	140
18.4	De resultaten . . . . .	140
19	Innovatie van kustverdediging . . . . .	143
	Inspelen op het kustsysteem	
19.1	Doel van de studie . . . . .	143
19.2	Methode van aanpak . . . . .	143
19.3	Grootschalige systeembeschrijving . . . . .	144
19.4	Kleinschalige systeembeschrijving . . . . .	145
19.5	Visie op 'zachte' kustverdediging . . . . .	146
19.6	Conclusies . . . . .	147
20	Zeewaartse kustverdediging . . . . .	149
	Een globale uitwerking van enkele mogelijkheden	
	Lijst van contactpersonen . . . . .	155

# SAMENHANG TUSSEN DE TECHNISCHE RAPPORTEN

Dit rapport is een onderdeel van de studie die rond de discussienota "Kustverdediging na 1990" is uitgevoerd. Deze beleidsanalytische studie heeft in 1988 en 1989 plaatsgevonden. Hierin wordt een aantal alternatieve mogelijkheden ten aanzien van kustverdedigingsbeleid onderzocht en worden deze mogelijkheden naast elkaar gepresenteerd.

De beleidsanalytische studie is opgebouwd uit een aantal stappen. Aan elk van deze stappen ligt een groot aantal gefundeerde keuzes ten grondslag. De onderbouwing van deze keuzes heeft plaatsgevonden in technische studies, die in Technische Rapporten (TR's) zijn verslagen. Het onderhavige rapport bevat de samenvattingen van alle 20 Technische Rapporten, die ten behoeve van de onderbouwing van de "Nota Kustverdediging na 1990" zijn verschenen.

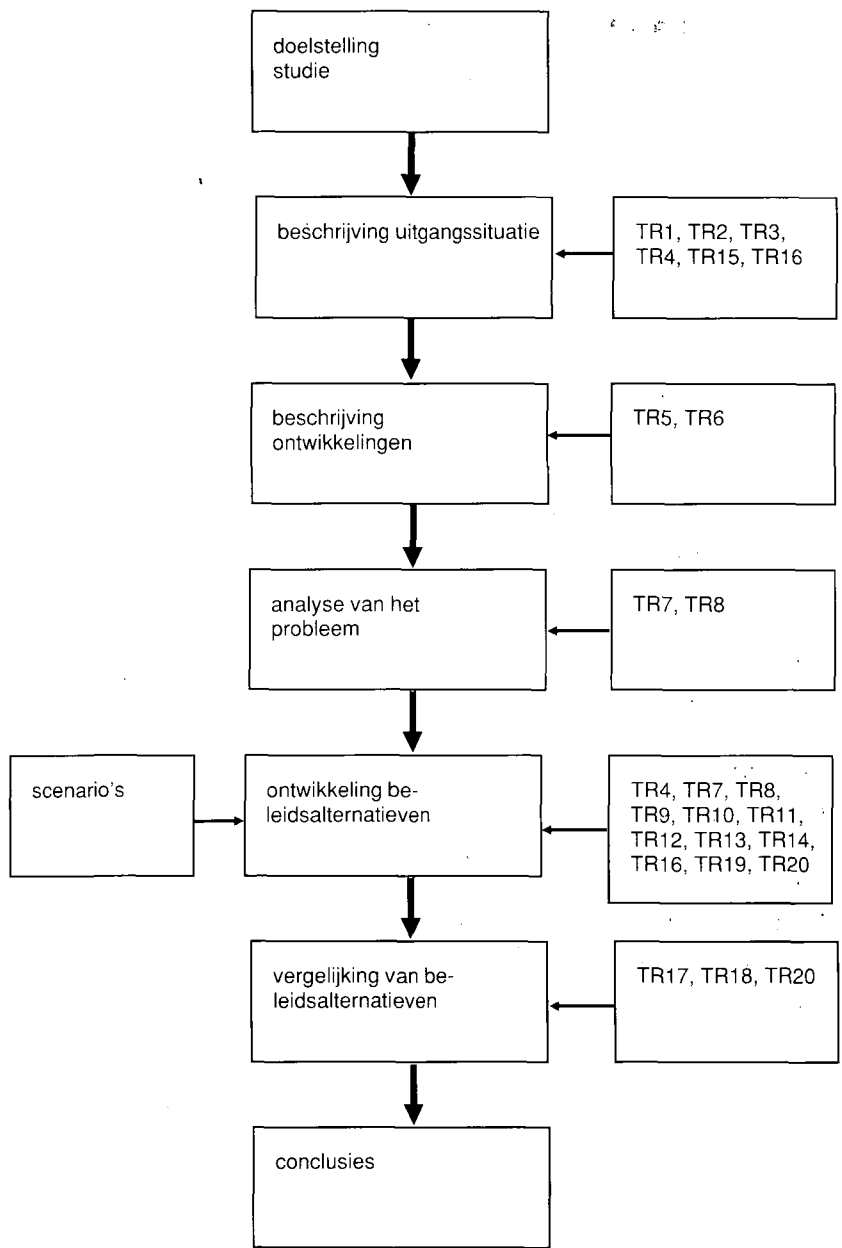
In onderstaand overzicht is een opsomming gegeven van deze Technische Rapporten.

- TR-0    Overzicht technische onderbouwing discussienota Kustverdediging; samenvatting en conclusies van de uitgevoerde projecten.
- TR-1    Zandsysteem kust  
         een morfologische karakterisering.
- TR-2    Toestand kust 1990  
         kusttypering en kustligging.
- TR-3    Kustonderhoud  
         kosten van basisonderhoud.
- TR-4    Inventarisatie duinfuncties.
- TR-5    Kustvoorspelling  
         voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090.
- TR-6    Zeespiegelrijzing  
         hydro-meteo scenario's.
- TR-7    Duinen als waterkering  
         invloed van kustgedrag op veiligheid.
- TR-8    Duinfuncties  
         invloed van kustgedrag.
- TR-9    Inventarisatie functies onderwateroever  
         interactie met kustverdediging.
- TR-10   Zeezandwinning  
         invloed op kustgedrag; een verkenning.
- TR-11   Strand- en duinsuppleties  
         effectiviteit en kosten.

- TR-12 Strandhoofden en paalrijen evaluatie werking.
- TR-13 Grote civiele werken invloed op kustgedrag.
- TR-14 Onderwateroeveroppleties een alternatieve kustverdedigingsmethode?
- TR-15 Monitoring kustgedrag huidige situatie en toekomstbeeld.
- TR-16 Harde kustverdediging zeedijken, havengebieden en strandmuren als waterkering.
- TR-17 Systeemanalytisch model beschrijving computermodel.
- TR-18 Berekeningsresultaten beleidsalternatieven detailresultaten van computermodel.
- TR-19 Innovatie van kustverdediging inspelen op het kuststelsel.
- TR-20 Zeewaartse kustverdediging een globale uitwerking van enkele mogelijkheden.

De onderbouwende studies bestrijken het brede scala van onderwerpen dat met de beleidsanalytische studie van de kustverdediging samenhangt. De relatie met deze studie komt tot uitdrukking door bij de verschillende stappen aan te geven waar deze door een technisch rapport ondersteund worden. Dit is in nevenstaand schema aangegeven.







# 1. ZANDSYSTEEM KUST

## Een morfologische karakterisering

### 1.1 Inleiding

In dit rapport wordt een beschrijving gegeven van het zandsysteem van de Nederlandse kust. Het doel van deze beschrijving is om beknopt de bestaande kennis over de vorm, de processen en de ontwikkelingen van de Nederlandse kust, inclusief de invloed van het menselijk handelen, weer te geven.

Voor deze beschrijving is gebruik gemaakt van de (literatuur) studies die in het kader van het Project Kustgenese zijn uitgebracht en van nota's en rapporten die in andere kaders zijn geproduceerd.

### 1.2 Morfologie

De Nederlandse kust maakt deel uit van een kustvlakte, die zich uitstrekt van Noord-Frankrijk tot Denemarken. De kustvlakte wordt aan de zeezijde begrensd door een zandige kustbarrière, waarop zich duinen ontwikkeld hebben. De kustbarrière is voor een deel gesloten, andere gedeelten worden onderbroken door zeegaten. Dit leidt tot een driedeling van het Nederlandse kustgebied:

- a het Deltagebied, gekenmerkt door schiereilanden, gescheiden door estuaria en zeearmen,
- b de Hollandse kust, gekenmerkt door een vrijwel aaneengesloten duinenrij, zonder zeegaten of eilanden,
- c het Waddengebied, gekenmerkt door een reeks barrière-eilanden en uitgestrekte wadden, die de eilanden van het vasteland scheiden.

Door jaarlijkse en incidentele metingen is de morfologie van de Nederlandse kust goed bekend. Tussen een waterdiepte van ca. 25 meter en de binnenrand van de duinen zijn vier morfologische zones te onderscheiden:

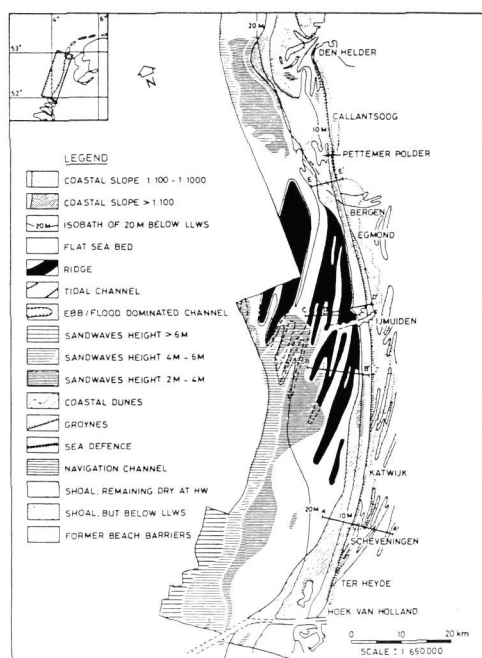
- a de vlakke zeebodem
- b de onderwateroever
- c het strand
- d de duinen

De grens tussen de vlakke zeebodem en de onderwateroever wordt gevormd door de plaats waar de helling van de bodem groter wordt dan ca. 1:1000. De gemiddeld

laagwaterlijn vormt de grens van de onderwateroever met het strand.

Op de vlakke zeebodem voor de kust bevinden zich twee gebieden met zandruggen. Een zuidelijk complex ter hoogte van het Deltagebied en een noordelijk complex, dat zich uitstrekt van Katwijk aan Zee tot Schiermonnikoog. De lengte van de ruggen varieert van enkele tot enkele tientallen kilometers. Ze hebben een breedte van één tot enkele kilometers. De ruggen in het zuidelijke complex hebben een diepere bodemligging (20-30 m -NAP) dan die in het noordelijke complex (14-20 m -NAP).

De zuidelijke ruggen hebben een hoogte van 4-20 meter, de noordelijke zijn 3-6 meter hoog. In beide complexen bevinden zich ruggen die met de onderwateroever verbonden zijn. Dit is goed te zien bij het centrale deel van de Hollandse kust (fig.1.1).



figuur 1.1 Morfologie van de Hollandse kust

De vlakke zeebodem gaat kustwaarts over in de meer hellende onderwateroever. De overgang ligt in het algemeen op ca. 20 meter - NAP, behalve bij het centrale deel van de Hollandse kust waar de overgang op ca. 15 meter - NAP ligt. Bij de zeegaten in het Deltagebied en het Waddengebied wordt de onderwateroever gedomineerd door buitendelta's met de bijbehorende geulen en platen. De helling van de onderwateroever neemt bij de Hollandse kust en de centrale delen van de Waddeneilanden kustwaarts toe. Opvallend is dat de gemiddelde helling het

grootst is in het centrale deel van de Hollandse kust (tot 1:136 bij Egmond aan Zee). Het gedeelte boven de 10 meter dieptelijn is echter in het noorden en zuiden van de Hollandse kust steiler dan in het centrale deel.

In het bovenste deel komen veelal één of meer brandingsruggen voor. De meest landwaartse hiervan valt bij laagwater droog en vormt mede de zwin-bank morfologie van het natte strand. Het droge strand wordt aan de landzijde begrensd door een of meer duinenrijen.

Het duingebied varieert van een smalle zeereep, zoals bij Monster, tot een uitgebreid duincomplex met een breedte van meer dan 4 kilometer, zoals bij Haarlem en Schoorl.

In de laatste gebieden komen ook de hoogste duinen voor, tot ca. 50 meter. Deze "Jonge Duinen" zijn voor het grootste deel ontstaan tussen 1000 en 1400. Ze zijn aanmerkelijk hoger dan de voorheen op de strandwal aanwezige "Oude Duinen". In totaal is er in de periode van 1000 tot 1850 in West-Nederland 2 miljard kubieke meter zand vanaf het strand naar de duinen getransporteerd.

De morfologie vertoont langs de Nederlandse kust een sterke afwisseling. De breedte en de helling van de verschillende zones kunnen variëren, evenals de korrelgrootte en samenstelling van het zand waaruit de kustzones zijn opgebouwd.

### 1.3 Ontwikkeling

Het Nederlandse kustgebied heeft zich de laatste 6000 jaar ontwikkeld achter een min of meer gesloten strandwal. In perioden met een sterke mariene invloed ontstond in het kustgebied een lagunair- of waddenmilieu. In dit milieu werden in geulen zandige afzettingen gevormd. Daarbuiten werd klei afgezet, soms afgewisseld met zandige lagen. In perioden waarin de invloed van de zee minder groot was, werd het water in het kustgebied zoet en vond verlanding plaats. Hierdoor konden uitgebreide veengebieden ontstaan.

In het westen van Nederland vond vanaf ca. 3700 jaar v.Chr. een uitbouw van de zandige kuststrook plaats.

Deze uitbouw eindigde omstreeks 700 jaar v.Chr.. Daarna trad er weer kusterosie op. In de periode tussen 1000 en 1400 ontstond er een nieuwe duinstrook langs de westkust, de Jonge Duinen. Tegelijkertijd was er in het noorden en zuidwesten van de Nederlandse kuststreek sprake van een uitbreiding van de mariene invloed via de zee-armen.

Uit de analyse van historische kaarten blijkt dat sinds 1600 de kust in het Deltagebied vrijwel overal met enkele honderden meters achteruit gegaan is. De ontwikkeling in de positie van de gemiddeld laagwaterlijn, gemiddeld over de laatste honderd jaar, verschilt per eiland. In het algemeen eroderen de eilanden het meest aan de koppen. Aan de noordzijde van de eilanden, met uitzondering van Walcheren, neemt de erosie af of vindt in deze periode zelfs aangroei plaats.

De Hollandse kust wordt al eeuwen gekenmerkt door erosie in het noorden en zuiden en stabiliteit in het centrale deel. De erosie was het sterkst bij 's-Gravensande en bij Den Helder, waar sinds 1600 een achteruitgang van respectievelijk ca. 1400 meter en ca. 1500 meter is opgetreden. Van Zandvoort tot Castricum is de kust sinds 1600 tamelijk stabiel. Deze driedeling blijkt ook uit de metingen over de laatste honderddertig jaar. Ten zuiden van Scheveningen een achteruitgang van 0,35 meter per jaar. Tussen Scheveningen en Egmond aan Zee een aangroei van 0,25 meter per jaar en ten noorden van Egmond aan Zee een achteruitgang van 0,92 meter per jaar.

In het Waddengebied is de Noordzeekust van de centrale delen van alle eilanden gemiddeld sinds 1600 achteruit gegaan. De ontwikkeling van de uiteinden van de eilanden was variabel.

In de laatste honderd jaar vertonen vooral Texel en Vlieland een kustachteruitgang. Bij Terschelling en Ameland was er erosie in het centrale deel en aangroei aan de westzijde. Bij Schiermonnikoog ging de kust in de laatste honderd jaar gemiddeld vooruit.

## **1.4 Processen**

De Nederlandse kust wordt gerekend tot de kusten waarbij zowel het getij als de door de wind opgewekte golven een belangrijke invloed hebben op het kustgedrag. In het algemeen kan gesteld worden dat de invloed van het getij op de zandbeweging het grootst is op diep water en naar de kust toe afneemt. De invloed van de golfbeweging op het zandtransport neemt in deze richting toe. Bij de zeegaten in het Deltagebied en het Waddengebied is de invloed van het getij ook dicht onder de kust groot. Dit komt vooral door de getijbeweging in de zeegaten en de achterliggende estuaria en getijdebekkens.

De wind is een belangrijke grootheid voor de kustvorming. Wind veroorzaakt golven en stromingen en heeft een directe invloed op de duinvorming.

De kustprocessen hangen nauw samen met de waterdiepte. Door de morfologische verschillen en de hydrodynamische energieverdeling langs de kust treedt er variatie op in de effecten van de verschillende processen op het zandtransport. Er kan een gradiënt in het zandtransport ontstaan, waardoor langs de kust verschillen optreden in de mate van erosie en/of aanzanding.

## 1.5 Dynamiek

De kust is als grensgebied van zee en land voortdurend aan veranderingen onderhevig. Deze veranderingen kunnen zich manifesteren op verschillende tijd- en ruimteschalen. Voor de Nederlandse kust is naast de natuurlijke oorzaken van verandering ook de menselijke invloed op het kustgedrag van belang.

Op een termijn van enkele eeuwen wordt de gehele kust beïnvloed door de relatieve zeespiegelstijging, klimaatveranderingen en de beschikbaarheid van sediment. In de periode van ca. 3700 tot ca. 700 jaar v.Chr. steeg de zeespiegel ongeveer 3 meter. Door voldoende zandaanvoer kon de kust toch uitbouwen.

Op middellange termijn (10 - 100 jaar) wordt de natuurlijke kustontwikkeling, naast de lange termijn trend, bepaald door kleine, soms tijdelijke klimaatswijzigingen en door min of meer cyclische processen, zoals de migratie van horizontale zandgolven langs de kust en de verplaatsing van getijdegeulen in buitendelta's. Voorbeelden hiervan zijn de horizontale zandgolven die langs de kust van Walcheren bewegen. Ze veroorzaken kustlijnveranderingen tot 300 meter en verplaatsen zich met een snelheid van ca. 45 meter per jaar.

De menselijke invloed komt op deze termijn tot uiting in de effecten van duinbeheer, dijkbouw en grote waterstaatswerken, zoals de afsluiting van zeegaten. De afsluiting van de zeegaten in het kader van het Deltaplan heeft tot grote morfologische veranderingen geleid. Door de verminderde getijinvloed en daardoor relatief toegenomen golfinvloed ontstaan er uit de voormalige buitendelta's kustparallele banken, die gedeeltelijk droogvallen.

Ook niet op het kustbeheer gerichte werken hebben invloed op de kustontwikkeling. De havendammen van IJmuiden beïnvloeden op het kustgedrag in het centrale deel van de Hollandse kust.

Veranderingen op korte termijn (enkele jaren) worden veroorzaakt door kleine variaties in hydraulische en meteorologische omstandigheden en lokale menselijke ingrepen, zoals strand- en duinsuppleties.





## **2. TOESTAND KUST 1990**

### **Kusttypering en kustligging**

#### **2.1 Inleiding**

Het uiterlijk van de Nederlandse kust is zeer gevarieerd. Gebieden met kilometers brede duinen worden afgewisseld met kustgedeelten waar één enkele duinregel de overgang van land naar zee markeert. Voor de analyse van de verdedigingssituatie van de kust en het voorspellen van de ontwikkeling van de kustlijn, is kennis van deze afwisseling in de morfologie essentieel. In dit technisch rapport wordt de grote variatie in uiterlijke kenmerken van de kust geïnventariseerd en op overzichtelijke wijze gepresenteerd. Tevens worden de veranderingen in de ligging van de kustlijn over de laatste circa 20 jaar gekarakteriseerd.

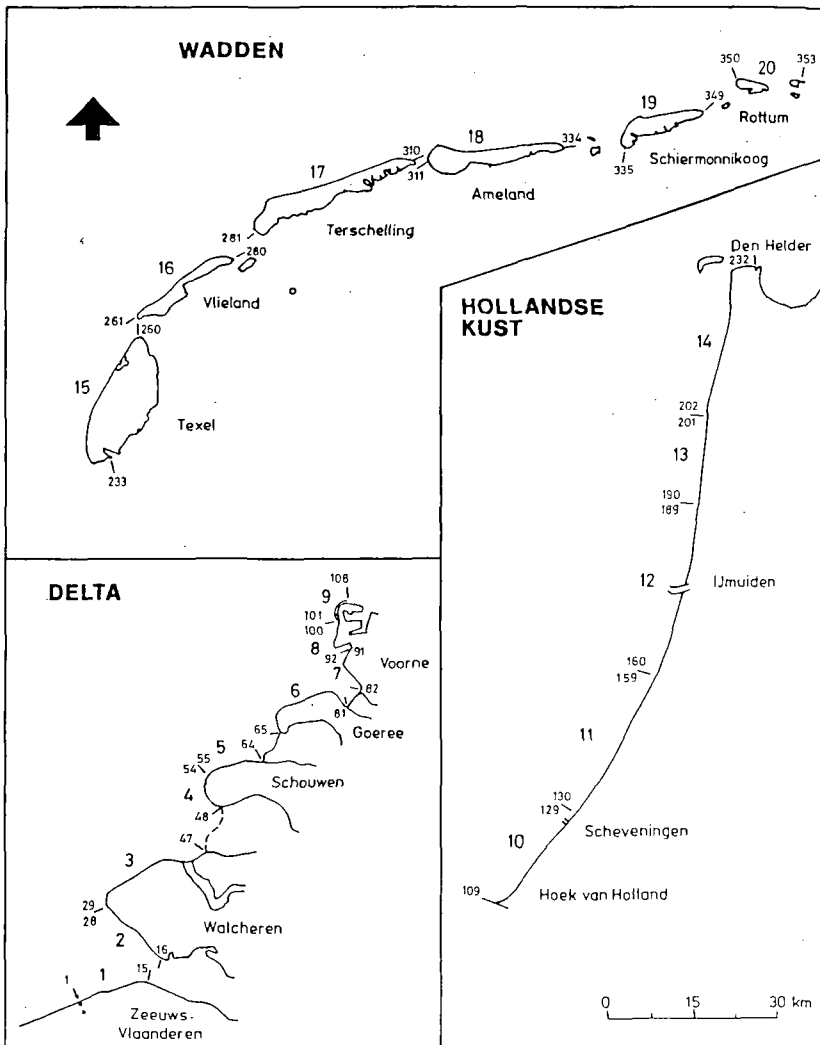
Ten behoeve van de presentatie en interpretatie is de Nederlandse kust in een drietal regio's verdeeld (figuur 2.1). Dit zijn achtereenvolgens: DELTA (Zeeuwse en Zuid Hollandse eilanden), HOLLAND (de rest van Zuid Holland en Noord Holland) en WADDEN (de Waddeneilanden). Hiernaast is de kust nog in een twintigtal sectoren onderverdeeld.

#### **2.2 Beschouwde kustlengte**

De totale lengte van de Nederlandse kust bedraagt inclusief havens, strandvlakten, zeegaten en dammen, 432 kilometer (figuur 2.2). Hiervan zijn 79 kilometers gesloten of open zeegaten en 353 kilometers kust met achterland. In totaal 99 van de 353 kilometers worden beschermd met zeedijken, strandmuren en dergelijke constructies of bestaan uit strandvlakten (WADDEN). Het resterende deel van de kust met achterland, 254 kilometers, heeft een duinenkust. Deze duinenkust met in principe een flexibele zeewering staat centraal in deze rapportage.

#### **2.3 Uiterlijke kenmerken duinenkust**

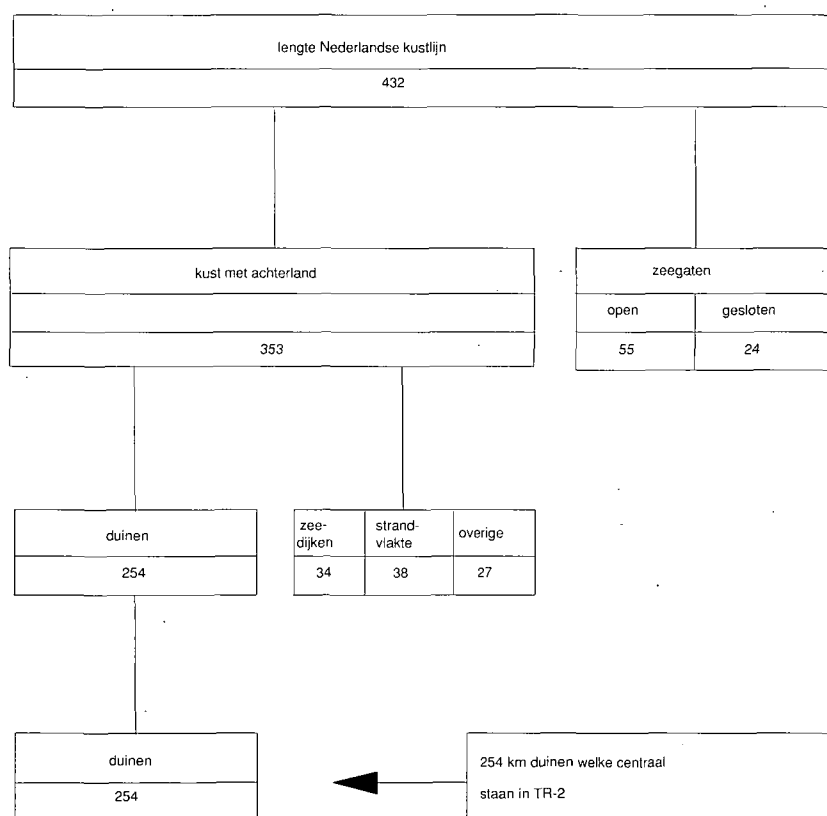
De uiterlijke kenmerken van de duinenkust worden beschreven in de vorm van een dwarsdoorsnede die begint bij de -5 meter diepte lijn. De landwaartse begrenzing van de doorsnede wordt gevormd door de overgang duinen-



figuur 2.1: Schematisch overzicht van de Nederlandse kust. Indeling in 3 regio's, 20 sectoren en 353 cellen.

polderland. Van deze kuststrook worden de volgende kenmerken behandeld:

- \* dominantie van golven of getij
- \* helling brandingszone
- \* strandbreedte
- \* korrelgrootte strand en zeereep
- \* verdediging van de duinkust met constructies
- \* hoogte zeereep
- \* breedte zeereep
- \* tweede duinregel
- \* breedte afslagzone
- \* reserve duinbreedte
- \* buffer tussen landwaartse grensprofiellijn en polderlijn
- \* ligging "bestemming waterkering"-lijn



figuur 2.2: Onderverdeling van de 432 kilometer kustlengte

De ontwikkeling van de duinenkust wordt in belangrijke mate bepaald door het hydraulisch klimaat. Hierin kunnen of golven of getij de belangrijkste motor zijn van het zandtransport. Wanneer dicht onder de kust een getijgeul voorkomt, is er sprake van een getijdinantie. Is dit niet het geval, dan bepalen de golven in grote mate het kustgedrag.

Van de DELTA is 52% golf- en 48% getijgedomineerd (tabel 2.1). HOLLAND (94%) en WADDEN (89%) zijn voornamelijk golfgedomineerd.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	DOMINANTIE		AANTAL DUINEN [km]
		GOLF [km]	GETIJ [km]	
DELTA	108	35	32	67
HOLLAND	124	99	6	105
WADDEN	121	73	9	82
NED. KUST	353	207	47	254

**Tabel 2.1 Onderverdeling 254 km duinenkust op basis van golf/getij dominantie.**

Bij een golfgedomineerde duinenkust wordt de invloed van de golven op de kustontwikkeling mede bepaald door de helling van de brandingszone. Bij een flauwe helling kunnen de golven theoretisch meer zand naar de kust toe transporten dan bij een steile helling van de brandingszone.

In tabel 2.2 staat de frequentieverdeling van de breedte van de brandingszone. Een grote breedte tussen de twee dieptelijnen komt overeen met een flauwe helling. De golfgedomineerde stroken duinenkust van de DELTA worden gekenmerkt door een relatief flauwe helling van de brandingszone (tabel 2.2). De regio's HOLLAND en WADDEN hebben een sterker hellende brandingszone.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	HELLING BRANDINGSZONE			AANTAL DUINEN [km]
		GLW/-5m <450m [km]	GLW/-5m 450-750m [km]	GLW/-5m ≥750m [km]	
DELTA	108	7	1	27	67
HOLLAND	124	39	59	1	105
WADDEN	121	10	49	14	82
NED. KUST	353	56	109	42	254

**Tabel 2.2 Onderverdeling van de 207 km golfgedomineerde duinenkust op basis van de helling van de brandingszone.**

Naast de helling van de brandingszone bepaalt tevens de breedte, cq. helling, van het strand de hoeveelheid golf-energie die duinafslag kan veroorzaken. De totale strandbreedte is gedefinieerd als het verschil tussen duinvoet en

gemiddeld laagwaterlijn. De duinvoet (DV) ligt op de overgang tussen het steile buitentalud van de zeereep en het flauwe beloop van het strand. De gemiddelde hoogwaterlijn (GHW) is de lijn die de snijpunten van de gemiddelde hoogwaterstand ten opzicht van NAP en het kustprofiel met elkaar verbindt. De gemiddelde laagwaterlijn (GLW) is op identieke wijze ten opzicht van gemiddeld laagwater gedefinieerd.

De HOLLANDse kust heeft in het algemeen een strandbreedte kleiner dan 150 meter (tabel 2.3). De stranden van DELTA en WADDEN zijn duidelijk breder.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	STRANDBREEDTE				AANTAL DUINEN [km]
		≤100m [km]	101-150m [km]	151-200m [km]	>200m [km]	
DELTA	108	4	21	20	22	67
HOLLAND	124	34	65	4	2	105
WADDEN	121	0	25	12	45	82
NED.KUST	353	38	111	36	69	254

**Tabel 2.3** Onderverdeling van de 254 km duinenkust op basis van de breedte van het strand.

De hoeveelheid duinafslag en het zandtransport door de wind wordt onder andere beïnvloed door de korrelgrootte van het zand.

Uit de resultaten van de korrelgrootteanalyse van strand en zeereep blijkt dat gemiddeld voor de gehele DELTA het zand op het droge strand (tussen DV en GHW) grover is dan dat in de zeereep en van het natte strand (tussen GHW en GLW; tabel 2.4). Voor HOLLAND en WADDEN geldt dat de korrelgrootte in de richting: natte strand-droge strand-zeereep, afneemt. Langs de HOLLANDse kust is het zand grover dan bij DELTA en WADDEN.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	KORRELGROOTTE		
		STRAND (NAT) [μm]	STRAND (DROOG) [μm]	ZEEREEP [μm]
DELTA	108	217	243	226
HOLLAND	124	287	268	229
WADDEN	121	215	189	184
NED.KUST	353	237	234	215

**Tabel 2.4** Overzicht van de gemiddelde korrelgrootte van het strand en de zeereep.

Langs de kust zijn op vele plaatsen strandhoofden gebouwd voor de verdediging van de kust. Op diverse plaatsen zijn ook paalrijen geplaatst. Deze verdedigingswerken beïnvloeden het kustgedrag en vergen wel onderhoud. Van de Nederlandse duinenkust is 62 % niet verdedigd door dergelijke werken (tabel 2.5). Verdediging door middel van paalrijen komt voornamelijk in de DELTA voor. De DELTA wordt voor 67%, HOLLAND voor 58% en WADDEN voor 33% met strandhoofden beschermd.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	TYPE KUSTVERDEDIGING			AANTAL DUINEN [km]
		DUINEN onverdedigd	DUINEN verdedigd strandh.	DUINEN verdedigd paalrij	
DELTA	108	30	20	17	67
HOLLAND	124	66	38	1	105
WADDEN	121	61	20	1	82
NED.KUST	353	157	78	19	254

**Tabel 2.5 Verdeling van de 254 km duinenkust op basis van type kustverdediging.**

In 1990 voldoet de Nederlandse kust aan de Delta-veiligheidsnormen. Toch varieert de hoogte van de eerste duinenrij aanzienlijk.

In de regio's DELTA en WADDEN komt de zeereep in 69% van het aantal kilometers duinenkust boven de 10 meter hoogtelijn uit (tabel 2.6). Voor de zeereep langs de HOLLANDse kust is dit zelfs 97%.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	HOOGTE ZEEREEP			AANTAL DUINEN [km]
		<10m [km]	10-15m [km]	≥15m [km]	
DELTA	108	20	39	8	67
HOLLAND	124	3	29	73	105
WADDEN	121	26	50	6	82
NED.KUST	353	49	118	87	254

**Tabel 2.6 Onderverdeling van de 254 km duinenkust op basis van de hoogte van de zeereep.**

De grotere hoogte van de zeereep van de regio HOLLAND gaat gepaard met een relatief groot aantal kilometers waarin de zeereep breder is dan 100 meter, namelijk 97% (tabel 2.7). Slechts langs 3% van de HOLLANDse kust is de zeereep smaller dan 100 meter. In DELTA en

WADDEN is dit respectievelijk 12% en 24% van de duinenkust.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	BREEDTE ZEEREEP		AANTAL DUINEN [km]
		< 100 m [km]	≥ 100 m [km]	
DELTA	108	8	59	67
HOLLAND	124	3	102	105
WADDEN	121	20	64	82
NED.KUST	353	31	225	254

**Tabel 2.7** Onderverdeling van de 254 km duinenkust op basis van de breedte van de zeereep.

In het gebied achter de zeereep zijn nog andere parameters geïnventariseerd, die met name bij een eroderende duinvoet van belang zijn voor de beleidsanalyse. Zo biedt een eventueel aanwezige tweede duinregel de mogelijkheid om de waterkering landinwaarts te verplaatsen. In de DELTA heeft slechts 22% van de duinenkust een tweede duinregel (tabel 2.8). Voor HOLLAND en WADDEN zijn deze verhoudingen gunstiger, namelijk 85% en 67%.

REGIO No	REGIOTWEEDE LENGTE [km]	AANTAL DUINREGEL [km]	DUINEN [km]
DELTA	108	15	67
HOLLAND	124	89	105
WADDEN	121	55	82
NED.KUST	353	159	254

**Tabel 2.8** Voorkomen van een tweede duinregel.

De veiligheid van de duinenkust als zeewering wordt beoordeeld aan de hand van de "Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van de duinen als waterkering". Hierin is gesteld dat de zeewering sterk genoeg moet zijn om een ontwerp- of superstorm te kunnen weerstaan. De potentiële afslag die bij zo'n superstorm kan optreden wordt tot uitdrukking gebracht met de afslagzone met toeslag (AT-zone).

In de DELTA is de AT-zone overal smaller dan 150 meter (tabel 2.9). Voor het merendeel van HOLLAND (84%) geldt een AT-zone van 60-150 meter. De AT-zone op de WADDEN is gelijkelijk over de klassen verdeeld.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	BREEDTE AFSLAGZONE			AANTAL DUINEN [km]
		AT < 60 m [km]	AT 60-150 m [km]	AT ≥ 150 m [km]	
DELTA	108	25	42	0	67
HOLLAND	124	5	88	12	105
WADDEN	121	27	31	24	82
NED.KUST	353	57	161	36	254

**Tabel 2.9 Onderverdeling van de 254 km duinenkust op basis van de breedte van de afslagzone.**

De reserve duinbreedte voor kustachteruitgang is de afstand tussen de positie van de duinvoet in 1990 en de positie van de landwaartse grensprofiellijn verminderd met de breedte van de AT-zone. De landwaartse grensprofiellijn (LGL) is de lijn die wordt gevormd door de aaneengesloten meest landwaarts gelegen stukken grensprofiel. De LGL moet in staat zijn om na afslag van de AT-zone de hoge waterstand te keren.

Voor de DELTA geldt dat 54% van het totaal aantal kilometers duinenkust een veiligheidsbreedte kleiner dan 50 meter heeft (tabel 2.10). De regio's HOLLAND en WADDEN hebben een veiligheidsbreedte die respectievelijk 80% en 63% breder is dan 150 meter.

SECTOR No	SECTOR LENGTE [km]	RESERVE DUINBREEDTE			AANTAL DUINEN [km]
		≤ 50 m [km]	50-150 m [km]	≥ 150 m [km]	
DELTA	108	36	14	17	67
HOLLAND	124	14	6	84	105
WADDEN	121	11	1	52	82
NED.KUST	353	61	21	153	254

**Tabel 2.10 Onderverdeling van de 235 km duinenkust met achterland op basis van de reserve duinbreedte.**

Tussen de LGL en de landwaartse begrenzing van de duinen, cq de polderlijn, resteert veelal nog een strook duingebied. De hoogte van deze duinen voldoet niet aan de criteria die aan een grensprofiel gesteld zijn.

In de DELTA is deze strook voor 81% smaller dan 500 meter (tabel 2.11). Langs de HOLLANDse kust varieert de breedte van deze strook sterk. Voor de WADDEN is 65% van deze strook tenminste 100 meter breed.



REGIO No	REGIO LENGTE [km]	BUFFER TUSSEN LGL EN PL			AANTAL DUINEN [km]
		LGL-PL < 100 m [km]	LGL-PL 100-500 m [km]	LGL-PL ≥ 500 m [km]	
DELTA	108	26	28	13	67
HOLLAND	124	36	42	27	105
WADDEN	121	10	21	32	82
NED.KUST	353	72	91	72	254

**Tabel 2.11 Onderverdeling 235 km duinenkust met achterland op basis van de buffer tussen LGL en PL.**

Ten behoud van de zeeverende functie van de duinen moeten bij een eroderende duinenkust werkzaamheden, bijvoorbeeld zandsuppleties, worden uitgevoerd. Wanneer dit zeewaarts van de zogenaamde "bestemming waterkering"-lijn (BWL) wordt uitgevoerd, dan kan dit zonder bestuurlijke en/of juridische problemen gebeuren. De zone tussen de BWL en de duinvoet van 1990 is relatief breed in de DELTA en WADDEN (tabel 2.12). Voor beide regio's tesamen is 55% breder dan 200 meter. Voor HOLLAND is 54% breder dan 100 meter.

REGIO No	REGIO LENGTE [km]	BREEDTE BWL			AANTAL DUINEN [km]
		BWL < 100 m [km]	BWL 100-200 m [km]	BWL ≥ 200 m [km]	
DELTA	108	8	22	37	67
HOLLAND	124	48	31	26	105
WADDEN	121	16	21	45	82
NED.KUST	353	72	74	108	254

**Tabel 2.12 Onderverdeling 254 km duinenkust op basis van de breedte van de waterkering volgens provinciale bestemmingsplannen.**

## 2.4 Ontwikkeling duinenkust

Bovenstaande parameters hebben allemaal hun invloed op de ontwikkeling van de duinvoet langs de Nederlandse kust. Dit heeft op sommige plaatsen tot een netto zee- waartse verplaatsing van de duinvoet en op andere plaatsen tot een netto kustachteruitgang geleid. Per kilometer kustlengte zijn de trends in de ligging van de duinvoet over de periode 1964-1984 bepaald. De trends geven een indruk van de netto kustverplaatsing. Naast de natuurlijke ontwikkelingen is hierin de invloed van de mens op de kustverplaatsing van belang. Soms is deze invloed klein-

schalig geweest, bijvoorbeeld bij het afvlakken van het zeewaartse talud van de zeereep. Echter wanneer er strandsuppleties of zeewaartse duinverzwaringen zijn uitgevoerd, kan de duinvoet kunstmatig over grote afstand verplaatst zijn. De verplaatsingen van de duinvoet zijn niet voor deze kunstmatige verplaatsingen gecorrigeerd. Voor de gehele Nederlandse kust geldt over de beschouwde periode dat er gemiddeld een geringe kustvoortgang is. De uitgevoerde suppleties zijn daar gedeeltelijk voor verantwoordelijk. Uit de netto gemiddelde verplaatsing van de duinvoet tussen 1964 en 1984 blijkt dat de DELTA en HOLLANDse kust gemiddeld 91 en 51 cm/jaar zeewaarts en de WADDEN gemiddeld 104 cm/jaar landwaarts zijn verplaatst (tabel 2.13). In de DELTA regio komt dit overeen met 52% van de duinenkust; voor HOLLAND 46%. Bij de WADDEN treedt kustachteruitgang bij 55% van de duinenkust op. De verschillen tussen gemiddelde erosie- en sedimentatiesnelheid laten zien dat de dynamiek van de duinvoet het kleinst is voor HOLLAND. Hierna volgt de DELTA. Terwijl de WADDEN worden gekenmerkt door grote verschillen tussen landwaartse- en zeewaartse verplaatsingen van de duinenkust.

REGIO No	REGIO [km]	snelheid kustlijnverplaatsing			kustlengte		AANTAL DUINEN [km]
		TOTALE LENGTE [cm/jr]	LAND- WAARTS [cm/jr]	ZEE- WAARTS [cm/jr]	LANDW. VERPL. [km]	ZEEW. VERPL. [km]	
DELTA	108	91	-157	309	30	35	67
HOLLAND	124	51	-94	218	54	48	105
WADDEN	121	-104	-365	214	45	37	82
NED.KUST	353	12	-203	243	129	120	254

**Tabel 2.13 Duinvoetverplaatsing op basis van de 21-jarige trend.**

## **3. KUSTONDERHOUD**

### **Kosten van basisonderhoud**

#### **3.1 Inleiding**

In Technisch Rapport 3 wordt een overzicht gegeven van het huidige kustonderhoud.

Naast een beschrijving van beheersfilosofieën wat betreft kustonderhoud komen de beheersmaatregelen en de kosten die het basisonderhoud met zich mee brengt aan de orde.

Onder de basisonderhoudskosten worden verstaan de gemiddelde jaarlijkse kosten van gewoon (jaarlijks) en buitengewoon (meerjaarlijks) onderhoud, inclusief B.T.W. en technische overhead, exclusief de kosten van zandsuppleties. In Technisch Rapport 11 komen de zandsuppleties en de daaraan verbonden kosten aan de orde.

In Technisch Rapport 3 wordt tevens onderzocht of er een relatie bestaat tussen de basisonderhoudskosten van de duinenkust en

- het al dan niet voorkomen van constructies ten behoeve van kustverdediging zoals strandhoofden of paalrijen
- de mate van erosie.

Het onderzoeken van deze relaties is van belang indien men een schatting wil maken van de basisonderhoudskosten in de toekomst.

#### **3.2 Aanpak**

In een studie in opdracht van de Unie van Waterschappen en Rijkswaterstaat is het kustonderhoud uitgebreid geïnterpreteerd. Technisch Rapport 3 is gebaseerd op een nadere analyse van deze inventarisatie. De 353 kilometer lange zandige Noordzeekust is ten behoeve van de bepaling van de basisonderhoudskosten onderverdeeld in 82 eenheden met een lengte tussen de 1 en 16 kilometer.

Deze eenheden zijn het laagste niveau waarop de kustbeheerders in de bovengenoemde inventarisatie van het onderhoud de beheersmaatregelen gespecificeerd hebben.

Binnen deze eenheden wordt de verdeling van de kosten homogeen verondersteld. De kosten zijn geïnterpreteerd over de periode 1975 - 1984 en er wordt verondersteld dat een schatting van de basisonderhoudskosten op dit moment hierop kan worden gebaseerd. Het prijspeil van de basisonderhoudskosten is 1984.

Voor de duinenkust, welke 47 van de 82 eenheden omvat, is per eenheid onderzocht wat de initiële erosie en de aard van de verdediging is. Onder initiële erosie wordt verstaan de gemiddelde jaarlijkse erosie of sedimentatie van de duinvoet in de periode 1964-1984. De aard van de verdediging kan zijn: onverdedigde duinen, duinen verdedigd met strandhoofden, duinen verdedigd met (alleen) paalrijen. Bij verschillende verdedigingstypen per eenheid, is de meest voorkomende als kenmerkend beschouwd.

### **3.3 Beschrijving huidig beheer**

De Nederlandse kust met achterland wordt thans beheerd door 16 verschillende kustbeheerders. Dit kunnen zijn Waterschappen en Dienstkringen van Rijkswaterstaat. De Waterschappen beheren ca 35 % van de kust. De overige delen worden door de dienstkringen van Rijkswaterstaat beheerd. Vanaf medio 1989 worden sommige delen van de kust die thans in rijksbeheer zijn, overgedragen aan de Waterschappen.

In het algemeen wordt door de kustbeheerders een onderhoudsbeleid gevoerd dat de grootschalige natuurlijke ontwikkelingen volgt en begeleidt. Door het uitvoeren van onderhoud wordt getracht de negatieve consequenties van deze ontwikkelingen te beperken of te vertragen. Het onderhoud aan de zandige elementen is er vrijwel volledig op gericht toekomstig onderhoud te voorkomen.

Een algemene beheersfilosofie, die bij het huidige kustonderhoud gehanteerd wordt, is het zoveel mogelijk handhaven van de zeereep. Afhankelijk van het kustgedrag is er sprake van een van de volgende beheersfilosofieën:

- Stimuleren van aangroei en consolideren van winst.
- Handhaven huidige kustlijn.
- Gecontroleerde achteruitgang.
- Doorbreken van de trend van kustachteruitgang.
- Minimaal noodzakelijk onderhoud in afwachting van ingrijpende werken.
- Geen of praktisch geen onderhoud.

Combinaties van verschillende van deze filosofieën binnen één kustvak kunnen voorkomen.

Hieronder wordt een beknopt overzicht gegeven van de toegepaste onderhoudsmaatregelen. Gezamenlijk dekken deze maatregelen vrijwel volledig het uitgevoerde basisonderhoud.

Bezinkingen:	vervanging en uitbreiding van zinkwerken en bestortingen.
--------------	---

Strandhoofden:	penetreren van steenzetting en bestortingen, verlenging en reconstructie van de hoofden.
Paalrijen:	aanleg of verlengen van paalrijen en vervangen, dieper slaan en optrekken van palen.
Strand:	schoonmaken van het strand en onderhoud van strandpalen.
Duinvoet:	plaatsen van afrasteringen en riet- of rijshoutschermen.
Duinvoetverdediging:	aanvullen bestortingen en penetreren van steenzettingen.
Duin of stuifduin:	beplantingen met helm en riet, afrasteringen, zandverplaatsing, onderhouden van duinpaden.
Zeedijk:	aanvullingen bestortingen, onderhoud van asfalt of begroeid talud, reparatie steenzetting.
Strandmuur:	reparaties aan metselwerk.

### 3.4 Basisonderhoudskosten

De basisonderhoudskosten inclusief B.T.W. en technische overhead, exclusief de kosten van zandsuppleties bedragen ca 27 miljoen gulden per jaar. Het grootste deel, ca 21 miljoen, betreft de duinenkust. Een overzicht van de totale onderhoudskosten wordt gegeven in tabel 3.1

		Delta	Holland	Wadden	NL
	kustlengte	108 km	124 km	121 km	353 km
duinen	254 km	3,6	8,1	8,8	20,5
strandvlakten	38 km	-	-	1,2	1,2
dijken	34 km	1,4	2,7	-	4,1
overig	27 km	0,6	0,3	0,1	1,0
<b>totaal</b>	<b>353 km</b>	<b>5,6</b>	<b>11,1</b>	<b>10,1</b>	<b>26,8</b>

**Tabel 3.1: Totale kosten van basisonderhoud in miljoen fl/jr.**

Men kan de basisonderhoudskosten ook uitdrukken als de gemiddelde kosten per kilometer kustlengte per jaar. Hierdoor is onderlinge vergelijking van de kosten beter mogelijk. Er dient echter wel rekening gehouden te worden met de grote spreiding van de kosten. De standaard deviatie heeft steeds dezelfde orde van grootte als het gemiddelde. Een overzicht van de gemiddelde onderhoudskosten per kilometer wordt gegeven in tabel 3.2.

		Delta	Holland	Wadden	NL
	kustlengte	108 km	124 km	121 km	353 km
duinen	254 km	54	77	107	80
strandvlakten	38 km	-	-	31	31
dijken	34 km	65	221	-	120
overig	27 km	30	43	85	36
totaal	353 km	52	90	83	76

opmerking: de standaard deviatie heeft steeds dezelfde orde van grootte als het gemiddelde.

**Tabel 3.2: Gemiddelde kosten van basisonderhoud in 1000 fl/km/jr.**

Uit de tabellen 3.1 en 3.2 kan men het volgende concluderen:

- De basisonderhoudskosten in het deltagebied zijn, zowel absoluut beschouwd als per kilometer kustlengte, lager dan in de andere twee onderscheiden regio's.
- Hoewel het totale aandeel van de onderhoudskosten van zeedijken gering is, zijn de onderhoudskosten per kilometer kustlengte van dijken gemiddeld hoger dan die van duinen.
- De basisonderhoudskosten van de strandvlakten zijn laag.

### 3.5 De duinenkust

#### Relatie basisonderhoudskosten - aard van de verdediging

Een deel van de spreiding in de kosten van basisonderhoud aan de duinenkust kan men verklaren aan de hand van het al dan niet voorkomen van verdedigingswerken in de kust, zoals strandhoofden en paalrijen. Met name het onderhoud van strandhoofden brengt hoge kosten met zich mee. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt doordat bij erosie strandhoofden van tijd tot tijd achterwaarts verlengd moeten worden en soms totale renovatie noodzakelijk is. Het onderhoud aan paalrijen is goedkoper dan dat aan strandhoofden maar brengt eveneens extra kosten met zich mee als men het vergelijkt met een onverdedigde duinenkust.

Indien men de duinenkust onderverdeelt naar de aard van de verdediging (onverdedigd, verdedigd met strandhoofden, verdedigd met paalrijen) blijkt bij vergelijking van de

gemiddelde onderhoudskosten per kilometer het volgende (zie tabel 3.3):

- De gemiddelde basisonderhoudskosten van duinen met strandhoofden zijn ca drie keer zo hoog als die van onverdedigde duinen.
- De gemiddelde basisonderhoudskosten van duinen met paalrijen zijn ca anderhalf keer zo hoog als die van onverdedigde duinen.

	Delta		Holland		Wadden		Nederland	
	f	km	f	km	f	km	f	km
onverdedigde duinen	33	30	42	66	67	61	50	157
duinen met strandhoofden	76	20	137	38	224	21	144	79
duinen met paalrijen	64	17	46	1	-	-	63	18
gehele duinenkust	54	67	77	105	107	82	80	254

**Tabel 3.3: Gemiddelde kosten van basisonderhoud van de duinenkust in 1000 fl/km/jr**

Bij statistische analyse blijken de verschillen tussen de gemiddelde basisonderhoudskosten per kilometer van onverdedigde duinen en duinen verdedigd met strandhoofden significant te zijn. De verschillen tussen de basisonderhoudskosten per kilometer van duinen verdedigd met paalrijen enerzijds en de basisonderhoudskosten van onverdedigde of met strandhoofden verdedigde duinen anderzijds, zijn echter niet significant. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het feit dat slechts een klein gedeelte van de duinenkust (4 beheerseenheden), met paalrijen verdedigd wordt.

### **Relatie basisonderhoudskosten - erosiesnelheid**

Daar de basisonderhoudskosten in belangrijke mate bepaald worden door de aard van de verdediging, is bij het onderzoeken van de relatie tussen de mate van erosie en de onderhoudskosten de driedeling onverdedigde duinen, duinen met strandhoofden en duinen met paalrijen aangehouden.

Uit regressieanalyse blijkt dat de basisonderhoudskosten van met strandhoofden verdedigde duinen sterk bepaald worden door de erosiesnelheid ter plaatse. Bij een toename van de erosiesnelheid met één meter per jaar, nemen de basisonderhoudskosten toe met 45.000 gulden per kilometer per jaar. De sterk stijgende kosten van basisonder-

houd bij toenemende erosie worden veroorzaakt doordat de hoofden (eerder) gerenoveerd moeten worden. Renovatie en achterwaartse verlenging van strandhoofden is namelijk noodzakelijk bij blijvende strandverlaging en duinvoetachteruitgang.

Regressieanalyse van de basisonderhoudskosten van onverdedigde duinen levert een heel ander beeld op. Het blijkt dat de kosten van het basisonderhoud hier niet afhankelijk zijn van het erosietempo. Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden dat praktisch alle eroderende kustvakken verdedigd zijn met strandhoofden of paalrijen. Bovendien komt bij onverdedigde duinen 30% à 90% van de basisonderhoudskosten voor rekening van stuifregulerende maatregelen (planten van helm, plaatsen van rijshout-schermen, dichten van stuifgaten ed). Deze stuifregulerende maatregelen vinden zowel bij eroderende als bij aanwassende kust plaats. De basisonderhoudskosten zijn daardoor bij een onverdedigde duinenkust niet afhankelijk van de mate van erosie.

De met paalrijen verdedigde duinenkust kan door het geringe aantal waarnemingen niet met behulp van regressietechniek geanalyseerd worden. Beheersmaatregelen, zoals het achterwaarts verlengen van paalrijen en het herstellen van schade aan bestortingen, moeten bij toename van het erosietempo, vaker worden toegepast. Daarmee wordt er een relatie verondersteld tussen de hoogte van de basisonderhoudskosten en het erosietempo bij een met paalrijen verdedigde duinenkust. Aangenomen wordt dat deze relatie minder sterk is dan die bij een met strandhoofden verdedigde duinenkust. Bij een toename van de erosiesnelheid met één meter per jaar wordt een toename in de basisonderhoudskosten van 20.000 gulden per kilometer per jaar verondersteld.



## 4. INVENTARISATIE DUINFUNCTIES

### 4.1 Inleiding

De kustverdedigingsstrook herbergt een groot aantal functies die in het proces van dynamisch kustbeheer een rol van betekenis spelen. Door kustgedrag en verdedigingsmaatregelen kunnen functies en belangen in het duingebied in het gedrang komen. De mate waarin dit in de toekomst kan gebeuren, wordt in het kader van de discussienota Kustverdediging onderzocht. Om dit te bepalen, is een inventarisatie gemaakt van ruimtebeslag en de waarde van de functies in het duingebied. Voor verschillende scenario's van toekomstige kustlijnligging wordt hiermee in een beleidsanalyse bepaald, hoe groot het verlies aan functies zal zijn. Voor deze beleidsanalyse is een computermodel ontwikkeld, waarin de geïnventariseerde gegevens verwerkt worden.

Deze inventarisatie wil een beeld geven van de belangen die in het duingebied spelen en derhalve betrokken zijn bij het kustverdedigingsbeleid. Het doel is niet een afweging van belangen onderling.

In dit Technische Rapport 4 wordt de geografische en beleidsmatige inventarisatie beschreven. Deze functie-inventarisatie beperkt zich in hoofdzaak tot het duingebied. In Technisch Rapport 8 wordt ingegaan op de waarde van de functies en het effect van kustlijnveranderingen erop. Van de functies op het strand (hoofdzakelijk strandrecreatie) wordt aangenomen dat deze als het ware met de kustlijnverplaatsing meeschuiven. In de vier opstellingen voor kustverdedigingsbeleid zullen zij geen significante onderscheidende parameter zijn. Daarom zijn zij in de inventarisatie niet verder verwerkt.

Aan de functies van de onderwateroever wordt in Technisch Rapport 9 een beschouwing gewijd.

### 4.2 Geografische inventarisatie

In de eerste fase van het onderzoek is handmatig een oppervlakkige inventarisatie verricht om een indruk te krijgen over de aanwezige functies. Deze informatie is vastgelegd op geschematiseerde kaarten. Behalve het ruimtebeslag

is ook bepaald; over welke afstanden langs de kust de diverse functies voorkomen.

Voor een nauwkeurige analyse van de verliezen aan belangen en waarden in het duingebied waaraan in de beleidsanalyse behoefte is, zijn de gegevens uit deze inventarisatie slechts ten dele geschikt: ze zijn te globaal ten aanzien van de beschrijving van de functies. Daarbij is een geautomatiseerde analyse met de beschikbare functiekaarten niet mogelijk. Een aanvullende analyse van de functies in het duingebied moest dan ook plaatsvinden en aan de volgende eisen voldoen:

1. Gebaseerd zijn op gedetailleerde informatie welke recht doet aan de verschillen in functies, belangen en waarden in het duingebied.
2. Voldoende gedetailleerd de gevolgen van het kustgedrag voor de verschillende functies kunnen weergeven (een hoog oplossend vermogen).
3. Het leveren van een databestand op basis van de gedetailleerde functie-informatie. Met dit bestand kunnen geautomatiseerde exercities worden uitgevoerd ten behoeve van de beleidsanalyse.

Vanuit deze eisen is een gedetailleerde inventarisatie van de functies in het duingebied verricht en een databestand aangemaakt. Hiervoor werd gebruik gemaakt van een geografisch informatiesysteem (GIS). Met dit GIS is 20780 hectare van de kuststrook geïnventariseerd en worden de functies die in deze zone voorkomen in een tweetal functiekaarten onderverdeeld, te weten:

## **NATUUR**

De functiekaart NATUUR bestaat uit een vijftal natuurwaardingsklassen. Deze zijn opgesteld aan de hand van biotische en abiotische landschapkenmerken.

## **NIET-NATUUR**

De functiekaart NIET-NATUUR is onderverdeeld in de hoofdfuncties Drinkwaterwinning, Recreatie, Woongebied, Industrie + bedrijven en Overige (parkeerterreinen en havens)

Van de 20780 ha geïnventariseerde duinenkust wordt door het beleidsanalytisch model KUSTBEL 13588 ha gebruikt voor de doorberekening van de diverse beleidsopties. Op basis van dit duinareaal worden in dit onderhavige rapport de arealen van de functies als wel de kustlengtes waarachter de functies liggen, gepresenteerd. Tabel 4.1 toont het areaal en het aantal kilometer kust-

lengte per hoofdfunctie voor de geïnventariseerde duinen-  
kust.

SECTOR	oppervlakte hoofdfuncties [in hectare]						kustlengte per hoofdfunctie [in km]					
	N	D	R	W	IB	OV	N	D	R	W	IB	OV
1	182	0	90	40	0	130	4	0	3	2	0	4
2	413	100	170	184	0	190	9	4	6	10	0	7
3	648	319	55	190	0	75	14	7	3	7	0	3
4	366	100	65	15	0	40	7	3	3	0	1	1
5	480	0	90	120	0	155	10	0	3	7	0	4
6	711	69	145	40	0	195	13	4	1	3	0	2
7	552	0	15	105	0	15	10	0	2	4	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	830	204	130	358	0	312	18	5	6	14	0	16
11	1414	588	65	260	5	160	29	18	4	11	1	10
12	1318	377	125	270	40	135	27	9	0	13	1	11
13	557	115	0	183	45	40	12	3	0	7	3	2
14	859	30	65	180	70	173	19	2	4	14	3	13
15	1848	143	30	155	0	105	24	2	2	8	0	8
16	691	0	75	75	0	15	13	0	3	4	0	1
17	1273	50	115	0	0	255	18	0	4	0	0	7
18	1074	165	190	115	0	95	17	7	5	6	0	5
19	372	45	0	80	0	0	6	1	0	1	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DELTA	3352	588	630	694	0	800	67	18	21	33	1	22
HOLLAND	4978	1314	385	1251	160	820	105	37	14	59	8	52
WADDEN	5258	403	410	425	0	470	78	10	14	19	0	21
NED.KUST	13588	2305	1425	2370	160	2090	250	65	49	111	9	95

Tabel 4.1: Areaal en het aantal kilometer kustlengte per hoofdfunctie voor de geïnventariseerde duinenkust (13588 ha). De hoofdfuncties D, R, W, IB en OV komen altijd in combinatie voor met de hoofdfunctie N. Dit leidt tot een (gedeeltelijke) dubbeltelling van het areaal. Betekenis codering:

N Natuur                      D Drinkwaterwinning                      R Recreatie  
W Wonen                      IB Industrie + bedrijven                      OV Overige functies

### 4.3 Beleidsmatige inventarisatie

Voor de presentatie van beleidsvarianten is ook een inventarisatie gemaakt van de planologische en beleidsmatige status van de functies, waaronder ook wordt verstaan de natuur- en landschapsfunctie. Hierbij is tevens aandacht besteed aan het geldend beleid van de diverse beheerders. Nagegaan is, in welke mate behoud, consolidatie, versterking of terughoudendheid wordt voorgestaan. Via deze inventarisatie (uit structuurschema's, beleidsplannen en beleidsadviezen, en uit streek- en bestemmingsplan-

nen) is het gevestigde belang van diverse functies in de kustverdedigingsstrook gedestilleerd.

De activiteiten en belangen kunnen in een vijftal sectoren van beleid worden weergegeven. Bij elk van deze beleidssectoren is aangegeven, welke nota's geraadpleegd zijn:

### **1. Wonen en industriële bedrijvigheid:**

- Vierde Nota Ruimtelijke Ordening,
- Structuurschema Zeehavens,
- Structuurschema Buisleidingen,
- Structuurschema Electriciteitsvoorziening,
- Streekplan Zuid-Holland West.

### **2. Natuur en landschap:**

- Structuurschets Landelijke Gebieden,
- Structuurschema Natuur- en Landschapsbehoud,
- Nota Nationale Parken,
- Eindadvies Nationale Landschapsparken,
- Advies van de Natuurbeschermingsraad,
- Concept Nationaal Natuurbeleidsplan.

### **3. Recreatie:**

- Structuurschema Openluchtrecreatie.

### **4. Drinkwaterwinning:**

- Structuurschema Drink- en Industriewatervoorziening.

### **5. Militaire terreinen:**

- Structuurschema Militaire Terreinen.

Waar in deze nota's gewag gemaakt wordt van specifieke locaties aan de kust, werd deze informatie vergeleken met en zonodig verwerkt in de eerder uitgevoerde geografische inventarisaties.

Dit geldt met name voor de sector natuur en landschap, waar bijvoorbeeld de status "Nationaal Park" of het beheer door of eigendom van een instelling tot natuurbehoud reden was, de kwalificaties van gebieden nog eens tegen het licht te houden. In de Structuurschets Landelijke Gebieden is aan het duingebied de hoofdfunctie natuur toegekend. Conform het meerjarenprogramma Natuur- en Landschapsbehoud 1988-1992 is de minister van Landbouw en Visserij voornemens, het instrument van aanwijzing tot beschermd natuurgebied als bedoeld in de Natuurbeschermingswet versterkt toe te passen. De Natuurbeschermingsraad adviseert de minister hieraan hoge prioriteit toe te kennen.

De inventarisatie van de beleidssector natuur en land-

schap leert, dat nagenoeg elk deel van het duingebied wel valt onder een van de volgende categorieën: Nationaal Park, potentieel Nationaal Park, de Natuurbeschermingswet, Staatsnatuurmonument, beschermd natuurmonument, in beheer of eigendom van de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer een Provinciale Stichting Landschap of een andere natuurbeschermingsorganisatie.

Uit de nota's die de sector wonen en industriële bedrijvigheid beslaan, is gepoogd, een indruk te krijgen over de "hardheid" van dergelijke locaties langs de kust.

De Vierde Nota Ruimtelijke Ordening legt het accent mede op gedane investeringen en de gunstige locatie van de economische bedrijvigheid in ons land. Met name wordt het ontwikkelen van kansen en potenties voorgestaan. Hiermee wordt onder andere zowel bedoeld op de toekomstige internationalisering, die een sterke concurrentiepositie vereist, als op een hoogwaardig stedelijk woonmilieu. Het grote belang van bebouwde agglomeraties, havens en industrie aan de kust wordt hiermee duidelijk aangegeven. Er wordt zelfs gesteld, dat waar aaneengesloten bebouwing aan de kust voorkomt, dit zeker zijn invloed zal hebben op het kustverdedigingsbeleid.

In het structuurschema Zeehavens wordt bij uitbreidingen van het zeehavenareaal prioriteit gegeven aan concentratie in reeds bestaande havengebieden en niet aan nieuwe locaties aan de kust.

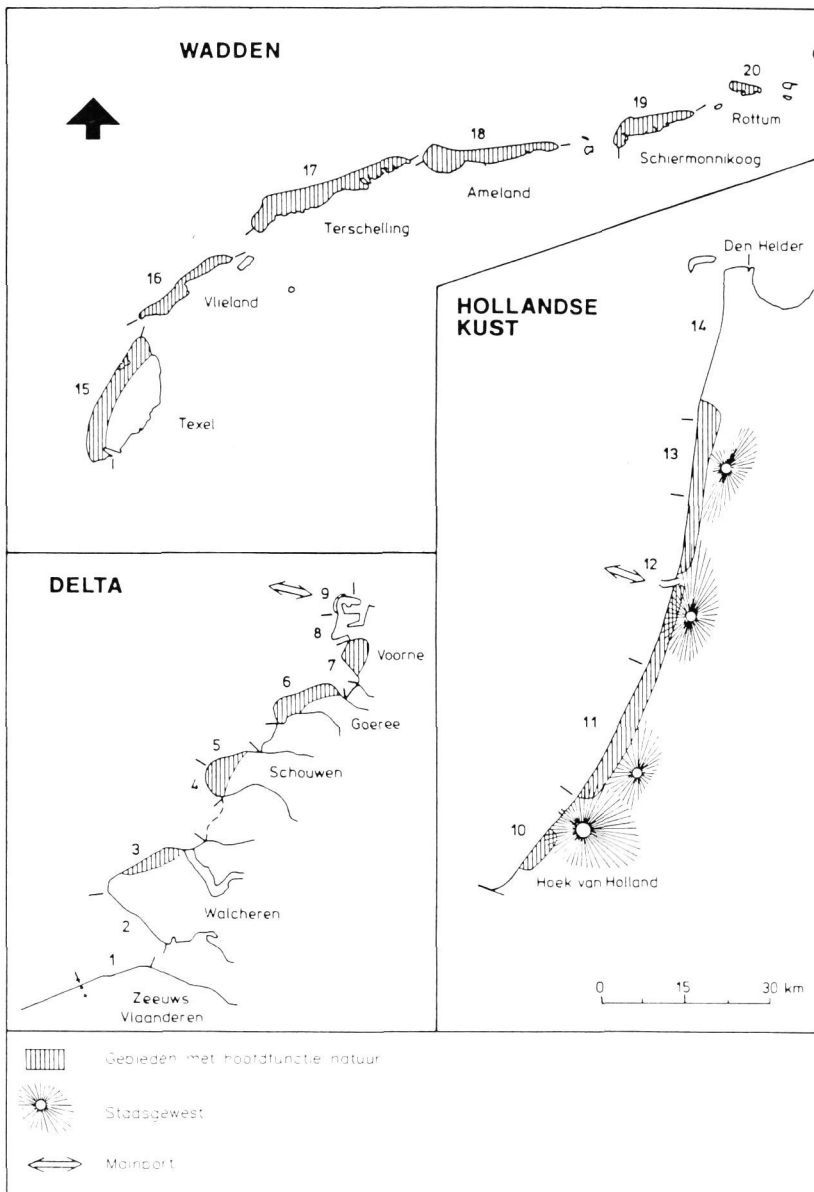
Voor de aanlanding van buisleidingen van het Continentale Plat zijn vier locaties gereserveerd: Warffum, Callants-oog, de IJmond en de omgeving van Rijnmond.

Voor wat betreft de recreatie wordt langs de gehele kust een terughoudend beleid voor de verblijfsrecreatie voorgestaan.

Recreatief medegebruik van de duinen kan ontwikkeld worden in de regio Holland. In de Vierde Nota Ruimtelijke Ordening wordt met name voor deze regio de behoefte aan een toename van de recreatiemogelijkheden geuit. Hierbij kunnen strand en duin een grote rol spelen. Dagrecreatie vindt hoofdzakelijk op het strand plaats in de buurt van bebouwde agglomeraties.

Terschelling, Texel en de duinen bij Bergen zijn aangeduid om tot Nationaal Landschap te kunnen worden ontwikkeld.

Drinkwaterwinning vindt plaats op verschillende locaties die in de meeste gevallen nauw aansluiten bij, of een onderdeel vormen van gebieden met natuurfunctie.



Figuur 4.1 Integratiekaart Vierde Nota Ruimtelijke Ordening

Gezien het gevaar voor verzilting en eutrofiëring en vanwege de waarde die het duingebied heeft uit oogpunt van natuur, zal de onttrekking niet zomaar worden uitgebreid. Men lijkt in het duingebied bijna overal aan de grens van de onttrekkingsmogelijkheden te zijn.

In het structuurschema Militaire Terreinen worden enige schiet- en oefenterreinen in en om het Waddengebied genoemd. Voorts wordt de aandacht gevestigd op de belangen van de Koninklijke Marine met betrekking tot de Razende Bol en de Noorderhaaks.

In streekplannen worden functies en belangen regionaal ingepast. Hier vindt de onderlinge schikking van de functies plaats. Voor wat betreft de in de kustverdedigingsstrook gevestigde belangen sluiten zij aan op wat er in de bovengenoemde nota's werd gevonden.

Speciale aandacht is nog besteed aan het uit bestemmingsplannen inventariseren van de landwaartse grens tussen de bestemming Zeewering, Waterstaatsbelang of dergelijke enerzijds en andere bestemmingen anderzijds. Waar deze grens gevonden werd, is hij aangegeven in de geografische inventarisatie om mee opgenomen te worden in het beleidsanalytisch model. Waar er in streek- en bestemmingsplannen van het kustverdedigingsbelang (zeewering, waterstaatsdoeleinden, o.d.) gewag werd gemaakt, werd dit gerespecteerd en werden met name in bestemmingsplannen andere belangen veelal met voorschriften geconfronteerd.

#### **4.4 Conclusies**

Met de resultaten van de geografische inventarisatie kan berekend worden, welke oppervlakten aan functies verloren kunnen gaan bij bepaalde kustlijnontwikkelingen/beleidsopstellingen. Uit de afstanden waarover bepaalde functies zich langs de kust bevinden, kan worden afgeleid hoeveel men aan maatregelen moet nemen (hoeveel kilometer duinenkust tegen kustachteruitgang moet worden beschermd), als areaalverlies van functies of combinaties door kustafslag moet worden vermeden.

De beleidsmatige inventarisatie heeft een indruk van de maatschappelijke waardering van de functies en belangen in het Nederlandse duingebied opgeleverd.

Bij het opstellen van alternatieven voor een toekomstig kustverdedigingsbeleid moet in hoge mate aandacht worden geschonken aan het grote belang van de duinen als

natuurgebied en aan kustlocaties met aaneengesloten woonbebouwing en een hoge economische en maatschappelijke waarde. De functie natuur komt langs het gehele onbebouwde gedeelte van de duinkust voor. Het natuurbelang staat toe, een flexibel kustverdedigingsbeleid te voeren.

In de Vierde Nota Ruimtelijke Ordening wordt aan kustlocaties met aaneengesloten woonbebouwing en aan industriële vestigingen langs de kust een zo hoge maatschappelijke en economische waarde toegekend, dat hiermee bij het toekomstige kustverdedigingsbeleid zeker rekening gehouden zal moeten worden. Ca 40 km van onze kust worden in beslag genomen door woonbebouwing en economische bedrijvigheid.

Vanzelfsprekend mogen andere belangen niet verwaarloosd worden. Vooral in de buurt van bebouwde agglomeraties is de recreatiedruk op de stranden hoog. Voor verblijfsrecreatie in de duinen worden een terughoudend beleid gevoerd. De drinkwaterwinning (aanwezig over ca. 55 km) lijkt geen aantasting door kustachteruitgang te kunnen lijden.



## **5. KUSTVOORSPELLING**

### **Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990 - 2090**

#### **5.1 Doel van de studie**

Het beoogde resultaat van deze studie is een voorspelling te geven van de ligging van de kustlijn in 1990, 1995, 2000, 2010, 2020, 2050 en 2090. Niet alleen het verlangde onderscheidend vermogen in de tijd is groot, ook het verlangde ruimtelijk oplossend vermogen is hoog: van de orde één kilometer. Deze vraagstelling is vooral bepaald door de eisen die de beleidsanalyse stelt; zij is niet ingegeven door de mogelijkheden die de technische kennis van het kustgedrag biedt. De technische haalbaarheid van de voorspelling wordt enigszins vergroot omdat bij de voorspelling van de kustligging er in eerste aanleg van kan worden uitgegaan dat het huidige kustbeheer wordt voortgezet, dat er geen grote civieltechnische ingrepen worden uitgevoerd, en dat de huidige stijgingssnelheid van de zeespiegel gehandhaafd blijft. Naast deze "basisvoorspelling" dienen ook voorspellingen te worden gedaan voor scenario's met hogere stijgingssnelheden van de zeespiegel en ongunstiger meteorologische omstandigheden. De voorspellingen dienen te worden gebaseerd op een optimale combinatie van de fenomenologische kennis en de huidige fysische proceskennis.

#### **5.2 Methode van aanpak**

Om in een vroeg stadium resultaten te kunnen geven ten behoeve van een eerste beleidsanalytische uitwerking, is de studie gefaseerd aangepakt, zodanig dat de eerste fase reeds resulteerde in een voorspelling van de ontwikkeling van de kustlijn met de gewenste oplossing in tijd en ruimte.

In twee daaropvolgende fasen zijn de voorspellingen verbeterd en verder onderbouwd. Alle drie fasen zijn gebaseerd op een extrapolatie van de waargenomen ontwikkelingen van het Nederlandse kuststelsel. In Fase 1 is dit rechttoe-rechtaan gedaan door extrapolatie van de lineaire trend, gebaseerd op de tijdreeksen van de kustpositie gemiddeld over morfologisch uniforme segmenten. In de volgende fase (Fase 2) zijn de voorspellingen gedetailleerd in ruimte en tijd en gekorrigeerd voor trendveranderingen en (quasi-)periodieke effecten door gebruik te ma-

ken van fenomenologische kennis. De definitieve extrapolatie is uiteindelijk mede gebaseerd op en onderbouwd via een uiteenrafeling en kwantificering van de onderliggende fysische processen (Fase 3). Op grond van fysische proceskennis zijn hiervoor zg. conceptuele modellen voor de ontwikkeling van het Nederlandse kuststelsel voorgesteld. Het uiteindelijke voorspelresultaat is gebaseerd op een integratie van de resultaten van de drie fasen.

### 5.3 Grootschalige ontwikkeling van het Nederlandse kuststelsel

De Nederlandse kust met haar estuaria en het Waddengebied heeft zich in een sedimentrijke omgeving in de loop van vele eeuwen vrijelijk ("autonoom") kunnen ontwikkelen. Sinds omstreeks 1000 j.n.C begint de mens -eerst marginaal- in het stelsel in te grijpen. Maar, sinds een eeuw is de invloed van menselijke ingrepen duidelijk sterker geworden. In deze periode zijn belangrijke zeehavens tot ontwikkeling gekomen, grote afsluitingswerken uitgevoerd, duinkusten en zeedijken versterkt (Deltawet). Gerelateerd aan deze ontwikkelingen zijn de winning van zand uit de estuaria en de Waddenzee, en het verdiepings- en onderhoudsbaggerwerk in de haventoeegangseulen.

Lokatie	Onderhoudsbaggeren	Zandwinning <sup>1</sup>	Strandsuppleties
Eems-Dollard <sup>2</sup>	14-19	5-5,5	-
Waddenzee-oost	0,1	0,3	-
Waddenzee-west	0,3	3,6	0,5
Hollandse kust	2,5-6,5	1-2	0,5-1,5
Rotterdamse Waterweg <sup>3</sup>	20-25	1-2	1-2
Voordelta, Grevelingen	0,1	-	0,7
Oosterschelde	-	-	-
Westerschelde <sup>4</sup>	26-36	4-5	0,1

1 inclusief suppletiezand

2 inclusief Duitse activiteiten

3 totale haven- en toegangseulensysteem

4 inclusief Belgische activiteiten

**Tabel 5.1 Gemiddelde jaarlijkse sedimentstromen (miljoenen kubieke meter) door menselijke activiteiten in de laatste 10 a 15 jaar (NB: het onderhoudsbaggerwerk resulteert in de regel slechts in verplaatsingen binnen het kuststelsel).**

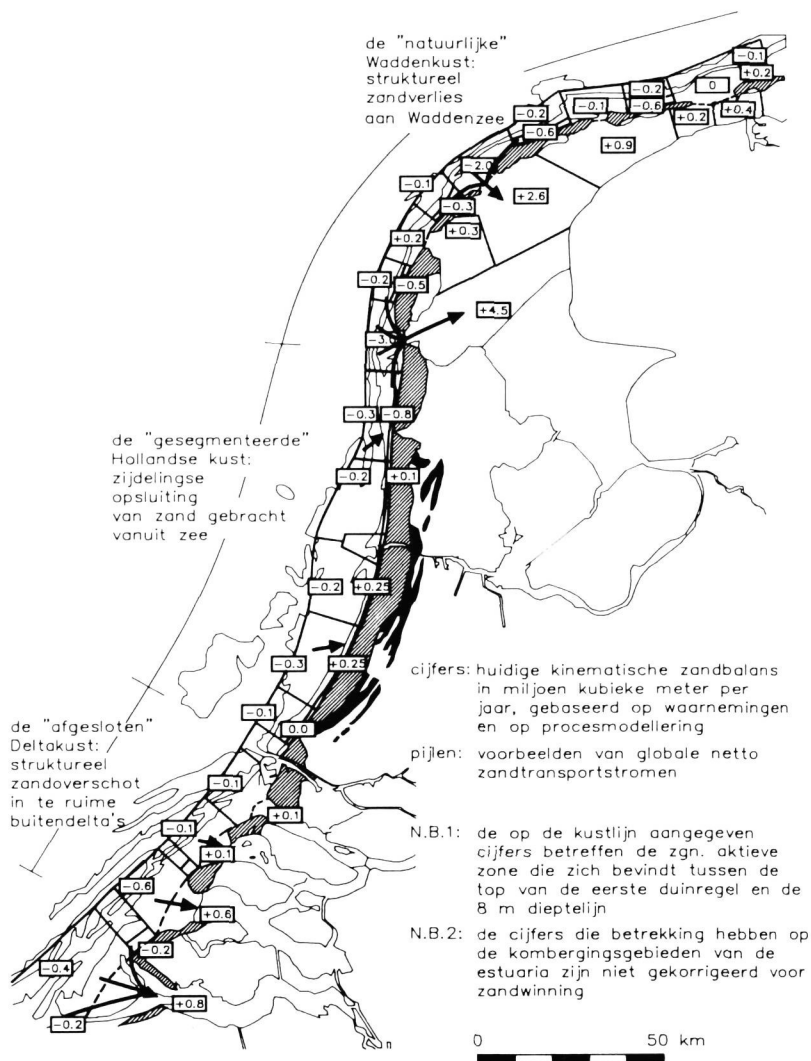
Een bijzondere vorm van sedimentverlies vindt plaats in het Waddengebied als gevolg van bodemdaling door gaswinning.

De door menselijke activiteiten verzette hoeveelheden sediment worden in Tabel 5.1 samengevat. Als we deze hoeveelheden vergelijken met de huidige balanscijfers (Figuur 5.1) dan blijkt dat de menselijke ingrepen niet klein zijn ten opzichte van de autonome ontwikkelingen. Het blijkt dat op grotere tijd- en ruimteschaal gezien, de werken en activiteiten lokale verstoringen zijn binnen een dynamisch, autonoom quasi-evenwichtssysteem, dat zich nog veelal binnen onze tijdshorizon aanpast aan zich - door menselijke activiteiten geïnduceerde - wijzigende geometrische en/of hydraulische omstandigheden. Naast deze invloeden blijken er voortdurende effecten van de zeespiegelstijging te spelen.

#### **5.4 Extrapolatie waargenomen ontwikkeling kustlijn (Fase 1)**

Het bovengegeven uitgangspunt is, dat op grotere tijd- en ruimteschaal gezien (langer dan 10 jaar, groter dan 10 km) wordt verondersteld, dat het Nederlandse kuststelsel zich min of meer autonoom ontwikkelt. Eveneens wordt er vanuit gegaan, dat de trend in de autonome ontwikkeling duidelijk blijkt uit de bestaande gegevens van de kustlijnligging over de laatste 140 jaar, en uit meer globale observaties over de laatste 2000 jaar. Op grond hiervan wordt verondersteld, dat een extrapolatie van het meer grootschalige kustgedrag -bij ongewijzigde grootschalige hydraulische en geometrische kondities- over de komende 100 jaar realistisch is. In Fase 1 is daarom een recht-toe-rechtaan extrapolatie uitgevoerd via lineaire regressie van de tijdreeksen van de kustpositie (de "bliksemgrafieken"). Eventuele aanwezige (quasi-)periodieke fluctuaties zijn in rekening gebracht door het zg. voorspellingsinterval te bepalen.

De extrapolaties zijn uitgevoerd na middeling van de kustlijnligging over segmenten, die zo zijn gekozen dat er over het segment sprake is van een min of meer uniform gedrag. In totaal zijn er 56 segmenten gekozen. Met behulp van het voorspellingsinterval kon worden aangegeven binnen welke marges de voorspellingen zich zullen bevinden. Dit heeft geleid tot een zogenaamde "ongunstige" voorspelling, d.w.z. de minst gunstige onder- of bovengrens van de voorspellingsresultaten.



figuur 5.1 Huidige kinematische zandbalans in miljoen kubieke meter per jaar, gebaseerd op waarnemingen en op procesmodellering

## 5.5 Fenomenologische kennis (Fase 2)

In Fase 2 van de studie zijn de resultaten van de voorspelling van de kustontwikkeling volgens de lineaire regressie in ruimte en tijd gedetailleerd en gekorrigeerd daar waar een gegrond vermoeden bestaat dat er sprake is van een verandering of breuk in de trend. Daarbij is rekening gehouden met de ruimtelijke samenhang van het kustgedrag in langsrichting. Daarnaast zijn (quasi-) periodieke effecten expliciet in rekening gebracht. Deze niet-lineaire voorspellingen zijn vooral gebaseerd op fenomenologische kennis, die onder meer is opgebouwd door naar verklarin-

gen te zoeken voor het kustgedrag zoals de laatste 140 jaar zijn geobserveerd. Bij de beschrijving van het kustgedrag zijn ook betrokken de onlangs ter beschikking gekomen sedimentbalansgegevens van de Hollandse kust over de waarnemingsperiode van de laatste 21 jaar.

Verklaringen voor het kustgedrag hebben geleid tot de konstatering dat effecten die een rol van meer of minder betekenis spelen zijn: kromming van de kustlijn, zandvraag of zandoverschot van delta en kombergingsgebied van een estuarium, (quasi-)periodieke kustbewegingen geïnitieerd door deltabewegingen, menselijke ingrepen, windtransport, resistente lagen in de onderwateroever.

De gehanteerde voorspelmethode lopen qua methodiek enigszins uiteen. De methodiek varieert van trendschattingen op basis van kortere en langere tijdperioden, waaraan de geschatte periodiciteit van verschijnselen (ook langer dan de observatie-periode) is toegevoegd, tot puur statistisch bepaalde periodiciteit van de verschijnselen. De presentatie van de resultaten is geüniformeerd. Het resultaat van Fase 2 is een voorspelling met groot detail in ruimte en tijd; voor elke cel (elke kilometer, zie Figuur 2.1) langs de kust is op zeven voorspelmomenten de kustligging aangegeven. Dit grote detail werd weliswaar nodig geacht voor de beleidsanalyse, maar het zal duidelijk zijn dat de nauwkeurigheid van de voorspellingen sterk afneemt, naarmate de voorspeltijdstippen verder voor ons liggen.

## **5.6    Konceptuele modellen voor de           grootschalige kustontwikkeling (Fase 3)**

In Fase 3 is de huidige kennis van de kustmorfologische processen geïnventariseerd en is nagegaan hoe deze kennis kan worden gebruikt voor de voorspellingen. Met fysisch-theoretische en fysisch-empirische modelconcepten zijn een tweetal konceptuele modellen opgesteld. Onder een konceptueel model wordt verstaan een samenhangende beschrijving van fysische processen die de ontwikkeling van het kuststelsel bepalen. Met een konceptueel model moet het mogelijk zijn niet alleen het huidige gedrag van het kuststelsel te begrijpen, maar ook dat van het verleden te rekonstrueren en dat van de toekomst te voorspellen.

Er wordt van uitgegaan dat het Nederlandse kuststelsel opgedeeld kan worden in drie hoofdsystemen, die weliswaar onderling samenhangen omdat ze elkaars randvoor-

waarden bepalen, maar die wat de onderliggende fysische processen betreft als autonoom gezien kunnen worden. De hoofdsystemen zijn (zie Figuur 2.1):

- de Hollandse kust;
- de Waddeneilanden en de Waddenzee;
- de Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden en delta.

Deze hoofdsystemen zijn in twee categorieën in te delen, t.w. de categorie gesloten kust en de categorie door estuaria onderbroken kust. Voor beide categorieën is een conceptueel model opgesteld, waarbij is voortgeborduurd op de resultaten behaald in de eerste fase van het project "Kustgenese". De conceptuele modellen hebben betrekking op de grootschalige (tijdschaal 10 jaar, ruimteschaal 10 km) ontwikkeling van een hoofdsysteem in het totale Nederlandse kustsysteem.

### **De gesloten Hollandse kust: conceptueel model**

In essentie beschrijft het conceptuele model voor de gesloten kust niet alleen de ontwikkeling van de kustlijn, maar ook die van het kustprofiel op dieper water. Het gaat hierbij om de over enkele jaren en over een grotere kustlengte gemiddelde ligging en profielvorm. Verder wordt de gesloten kust gedefinieerd als een kust waarlangs de autonome fysische processen slechts langzaam variëren.

De fysische grondgedachten van het model zijn:

- 1 Er bestaat een hoogdynamische profieldeel (de actieve zone) die gemiddeld over zijn dynamische gedrag (brandingsruggen, duinafslag) in eerste benadering vormvast is en zijn relatieve positie (in verticale zin) ten opzichte van gemiddeld zeenivo behoudt. De respons op hydrodynamische kondities, waaronder de zeespiegelrijzing, is min of meer instantaan; morfologisch gezien is er sprake van een sterke dynamische koppeling.
- 2 Er wordt aangenomen dat de ontwikkeling van het profiel van de diepere onderwateroever vooral wordt bepaald door de invloed die de lokale waterdiepte heeft op de hydrodynamische kondities. De respons op bijv. de zeespiegelrijzing is daardoor indirect en relatief traag.

Met dit conceptuele model zijn de onderliggende fysische processen voor de kustontwikkeling uiteengezet; kort samengevat zijn dit: het Bruunefekt (direct effect van zeespiegelrijzing), het dwarstransport vanaf de zeebodem en de onderzeese oever, het langstransport (inklusief indirecte effecten van zeespiegelrijzing) in de actieve zone en

verlies door duinvorming. De grootschalige extrapolatie van de kustlijnontwikkeling is uiteindelijk gebaseerd op en onderbouwd met dit model.

### **De Waddenkust en -zee en de Zeeuwse delta: conceptueel model**

De karakteristieke vormen van estuaria die dynamisch gezien in evenwicht zijn, zijn het resultaat van een evenwicht tussen de erosieve capaciteit van de het estuarium in- en uittredende stromingen en de neiging tot sedimentatie van door de stroming getransporteerd sediment. Min of meer onafhankelijke randvoorwaarden aan het systeem worden gevormd door de getijvariaties op zee en door de geometrie en bodemeigenschappen van het achterland. De morfologische processen in deze gebieden zijn complex (vergelijk bijv. de geometrie van een Waddengebied en de Zeeuwse delta).

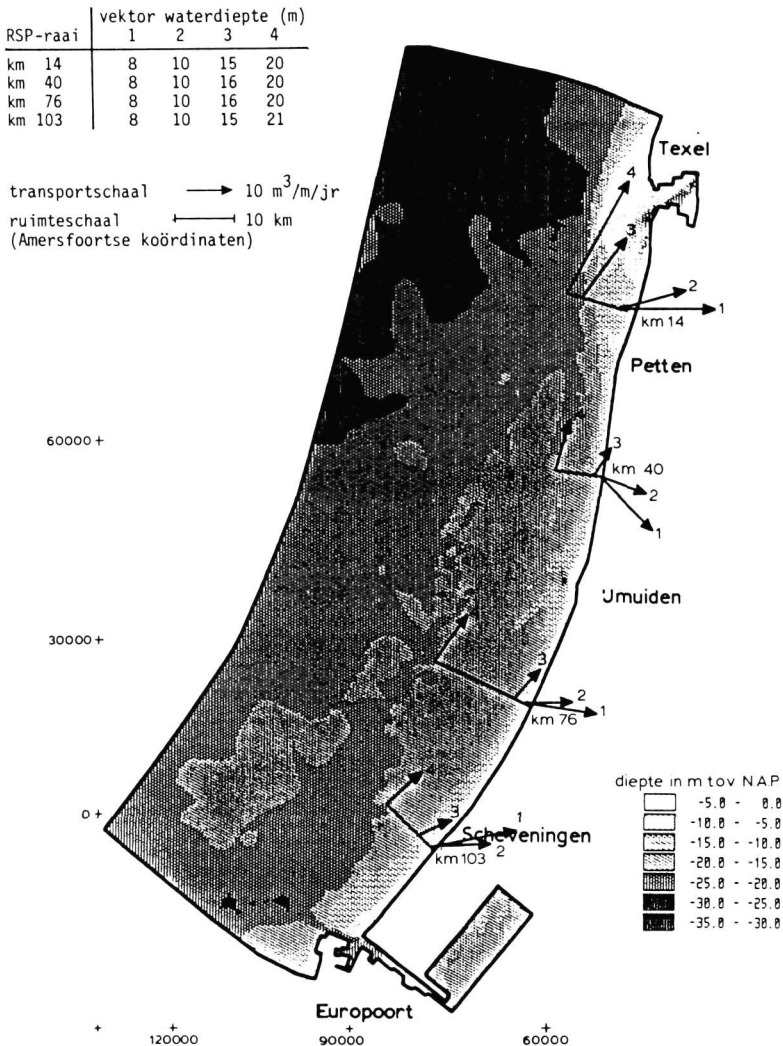
Ondanks de complexiteit van de morfologische processen blijkt dat er op grotere tijd- en ruimteschaal gezien (quasi-)evenwichtsrelaties bestaan voor estuaria. Zo zijn er relaties vastgesteld tussen verschillende geometrische grootheden en het getijvolume (als maat voor de hydraulische energie). Deze relaties, met name de inhoudsrelaties voor de kom en de buitendelta, kunnen gebruikt worden om de gevolgen voor de netto sedimentbewegingen te schatten als het dynamische evenwicht wordt verstoord. In dit verband kunnen de volgende, het evenwicht verstorende effecten, genoemd worden:

- relatieve zeespiegelrijzing;
- verlanding of afslag langs de randen van het komberingsgebied;
- zandwinning in de vloedkom of buitendelta;
- afsluitingswerken;
- bodemdaling door gaswinning.

### **Kwantificering van de conceptuele modellen**

Als onderdeel van de kwantificering van de maatgevend veronderstelde processen die met de conceptuele modellen worden beschreven, is een fysisch-mathematisch model gebouwd waarmee het initiële sedimenttransportbeeld langs de gehele Hollandse kust kan worden beschreven. De belangrijkste resultaten kunnen gepresenteerd worden in de vorm van een vektorplot van de netto (over het jaar

gemiddelde) sedimenttransport-stromen op de onderzee-  
se oever (Figuur 5.2).



**figuur 5.2** Netto sedimenttransporten op de onderzeese oever van de Hollandse kust

Hieruit blijkt onder andere dat er een netto kustwaarts gericht transport bestaat aan de voet van de actieve zone met een niet verwaarloosbare grootte. Gemiddeld resulteert dit bij afwezigheid van overige effecten in een kustaan-groei van ongeveer 0,5 m per jaar. Met behulp van de resultaten van het conceptuele model is een grootschalige dynamische sedimentbalans opgesteld. Verifikatie aan de beschikbare waarnemingen leverde bevredigende resultaten op.

Een tweede kwantificering die een rol speelt bij de onderbouwing van de voorspelling betreft de kwantificering van de netto sedimentbewegingen in en rond de Waddenzee. Voor verschillende voorspelmomenten is voor twee karakteristieke vloedkommen van de westelijke Waddenzee -



het Marsdiep en het Vlie - een schatting van de zandvraag gegeven in Tabel 5.2.

zandvraag bepaald door:	MARSDIEP	VLIE
huidige zeespiegelrijzing	1,2	1,1
opp. afname door verlanding	0,8	0,7
zandwinning	0,5	0,8
afsluitingswerken/baggeren	1,1→0,7→0	-
gaswinning	-	0→0,1→0
totale vraag	3,6→3,2→2,5	2,6→2,7→2,6
extra vraag bij zeespiegelrijzing van 0,6 m/eeuw	0→0,6→2,6	0→0,5→2,6

**Tabel 5.2 Opbouw van de toekomstige (1990→2000→2100) netto zandvraag van de vloedkommen Marsdiep en Vlie (in miljoenen kubieke meters per jaar)**

Tenslotte speelt ook de kwantificering van de netto sedimentbewegingen in en rond de Zeeuwse delta een rol bij de onderbouwing van de voorspelling. Gebaseerd op het conceptuele model voor quasi-evenwicht in een estuarium is in Tabel 5.3 de volgende totaalbalans voor de Westerschelde en Oosterschelde gegeven:

zandvraag bepaald door:	WESTERSCHELDE	OOSTERSCHELDE
huidige zeespiegelrijzing	0,5	0,6
opp. afname door verlanding	0	0
zandwinning	1,6	0
afsluitingswerken/baggeren	-1,3→-1→0	-3,5→-2,8→-0,4
totale vraag	0,8→1,1→2,1	-2,9→-2,4→+ 0,2
extra vraag bij zeespiegelrijzing van 0,6 m/eeuw	0→0,4→1,7	0

**Tabel 5.3 Opbouw van de toekomstige (1990→2000→2100) netto zandvraag van de Westerschelde en de Oosterschelde (in miljoenen kubieke meters per jaar)**

Opgemerkt dient te worden dat de zandvraag of het overschot initieel is geschat uit het verschil van de actuele situatie en de quasi-evenwichts- situatie. De snelheid waarmee het systeem in werkelijkheid reageert om tot evenwicht te komen is uiteindelijk bepalend voor bijvoorbeeld het verlies van zand (Walcheren, Texel) of de winst (Goeree) aan zand van de aangrenzende kustdelen. Voor

de tijdschaal van dit relaxatieproces zijn schattingen gemaakt, zodat de zandvraag als functie van de tijd kon worden afgeleid.

## **5.7 Twee-lijn modellering ontwikkeling Hollandse kustlijn (Fase 3)**

Teneinde ook op meer gedetailleerde tijd- en ruimteschaal een via fysische proceskennis onderbouwde voorspelling te verkrijgen is de zogenaamde "twee-lijn" modellerings-techniek gebruikt. Hierin wordt het kuststelsel geschematiseerd tot een "strandlijn", die representatief wordt gesteld voor de zone van NAP +15 m tot NAP -1 m, en een "vooroeverlijn", die representatief wordt gesteld voor de zone van NAP -1 m tot NAP -5 m.

Bij de gebruikelijke toepassing van de "kustlijn"-techniek wordt in principe slechts langstransport van zand door golfgedreven brandingsstroom in rekening gebracht. Bijzondere uitbreidingen voor deze studie ten opzichte van de gebruikelijke toepassing betreffen het in rekening brengen van de volgende effecten:

- refraktie-, diffractie- en afschermingseffecten op de heersende golfkondities in de nabijheid van havenhoofden;
- langs- en dwarstransport van zand door de getijstromingen, waarbij gebruik is gemaakt van een grootschalig getijmodel voor de Hollandse kust met een hoog oplossend vermogen nabij de havenhoofden.

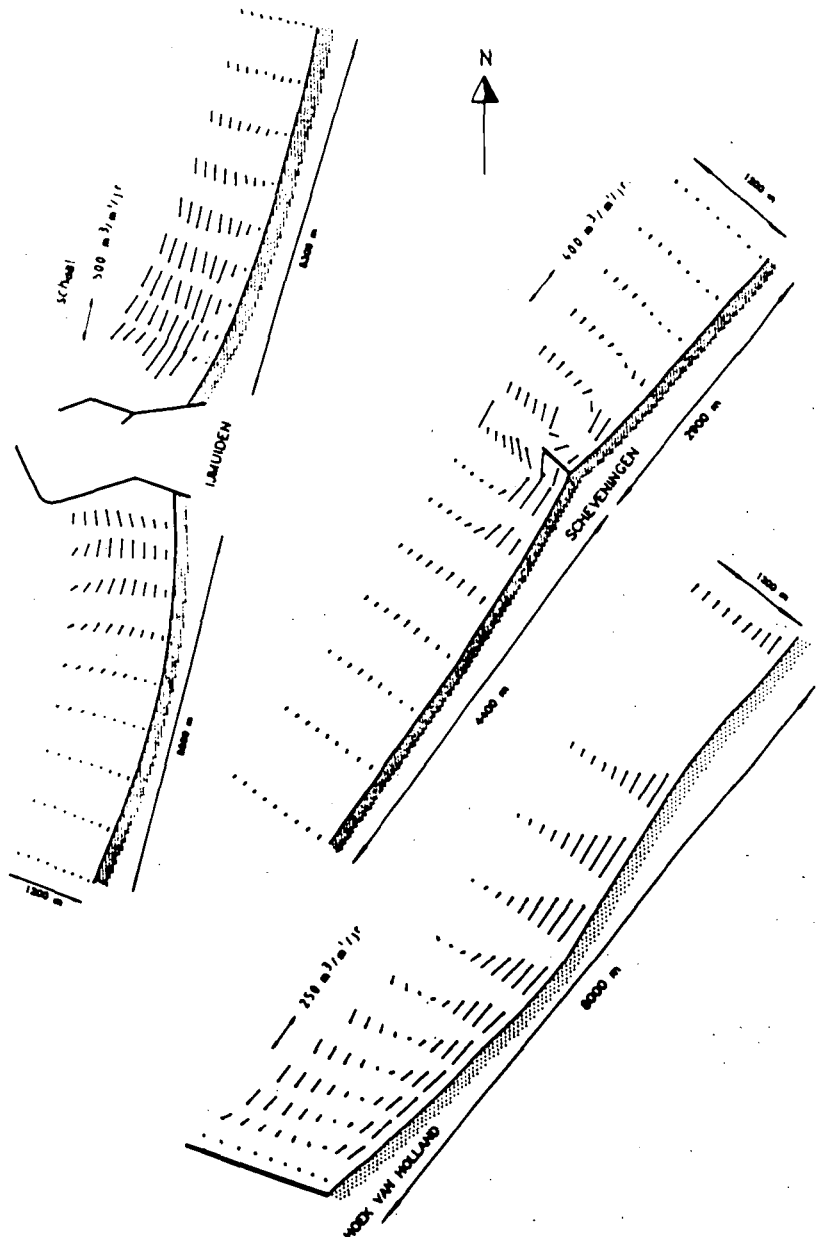
De berekende zandtransporten zijn weergegeven in Figuur 5.3. Behalve bij de haven van Scheveningen is het berekende transport in de gehele beschouwde kustzone praktisch evenwijdig aan de kust gericht.

De brandingsstroomtransporten zijn berekend op grond van het golfklimaat. De nauwkeurigheid van de uitkomsten wordt negatief beïnvloed door het ontbreken van essentiële gegevens, zoals golfrichtingsinformatie.

De snelheid waarmee de kust reageert op een instationaire situatie wordt in de kustlijn modelleringstechniek bepaald aan de hand van zogenaamde kustkonstanten. Deze werden volgens twee onafhankelijke methoden bepaald (uit golfgegevens en uit de ligging van de strand- en vooroeverlijn over de afgelopen 15 jaar).

Tenslotte is het eindmodel -waarmee de kustligging wordt berekend- gekalibreerd aan de hand van de gegevens uit het JARKUS-bestand over de laatste 15 jaar. Met het gekalibreerde model zijn voorspellingen voor de komende 30

jaar gemaakt in het gebied van Hoek van Holland tot Cal-  
lantsoog. De resultaten van deze studie zijn geïntegreerd  
in de uiteindelijke voorspellingen.



figuur 5.3 Resultaten getijtransportberekeningen bij de haven

## 5.8 Grootschalig model voor de ontwikkeling van de Nederlandse kust

Met behulp van de twee conceptuele modellen is voor ieder van de drie eerder gedefinieerde hoofdsystemen binnen het Nederlandse kuststelsel een ontwikkelingsmodel opgesteld. Voor de beschrijving van de ontwikkeling van de gesloten Hollandse kust en van die kustdelen van

de Wadden-, de Zeeuwse en de Zuid-Hollandse eilanden die buiten het directe invloedsgebied van de estuariummonding liggen is hierbij gebruik gemaakt van het conceptuele model voor de uniforme kust. Voor de beschrijving van de ontwikkeling van de estuaria zelf -inclusief de monding en buitendelta- is gebruik gemaakt van het conceptuele estuariummodel.

Om tot een integraal model voor de ontwikkeling van het Nederlandse kuststelsel te komen moest een relatie gelegd worden tussen de hoofdsystemen. Op dit punt ontbreekt het aan voldoende proceskennis en waarnemingsmateriaal om tot een wetenschappelijk goed onderbouwde beschrijving te komen. Op grond van de huidige proceskennis is gekomen tot een koppeling van de hoofdsystemen die consistent is met het beschikbare waarnemingsmateriaal, t.w. de kustlijnveranderingen en de sedimentbalansgegevens.

Een belangrijke veronderstelling die moest worden gedaan betreft de relatie tussen de zandvraag van het estuariumstelsel binnen de kustlijn en de zandtoelevering van de buitendelta en aangrenzende kustdelen en zeebodem. Hiervoor is een model aangenomen met als hoofdkenmerk dat de buitendelta instantaan als zandbuffer kan fungeren maar dat uiteindelijk de aangrenzende kust en zeebodem zand toelevert in overeenstemming met de aldaar door hydraulische (golven, getij, windstroming) en geometrische (strandprofiel, strandhoofden, weringen) condities bepaalde transportcapaciteit.

In deze studie is de toeleveringscapaciteit van de aangrenzende kustdelen gerepresenteerd middels de gradiënt in het netto langtransport. Het zijn vooral de mechanismen achter deze langtransportgradiënt die de verschillende kustsecties zich van elkaar doen onderscheiden. De ontwikkeling van de kustlijn zelf is verder volledig beschreven door gebruik te maken van het conceptuele model voor de uniforme kust, waarbij dus de invloed van de estuaria zit opgesloten in de netto langtransportgradiënt.

Bij de toepassingen van het conceptuele model op de ontwikkeling van een kustsectie wordt onderscheid gemaakt in drie categorieën kustsecties:

1. de autonoom bepaalde, uniforme kustsectie: hierbij wordt de ontwikkeling uitsluitend bepaald door processen zoals die zouden optreden als de sectie oneindig lang zou zijn, dus zonder invloed van lange

- havenmonden of processen in naast gelegen kustsekties, buitendelta's of estuariummondingen;
2. de quasi-autonoom bepaalde, uniforme kustsectie: hierbij wordt de ontwikkeling bepaald als bij de eerste categorie met uitzondering van de langstransportgradiënten in de actieve zone. Die gradiënten worden beïnvloed (via gedeeltelijke of volledige blokkering van het langstransport) door havendammen;
  3. de niet-autonoom bepaalde, uniforme kustsectie: hierbij wordt de ontwikkeling mede bepaald onder invloed van nabij gelegen estuariummondingen. Deze invloed wordt uitgedrukt in langstransportgradiënten, die een orde groter zijn dan voor de autonoom bepaalde kustsekties.

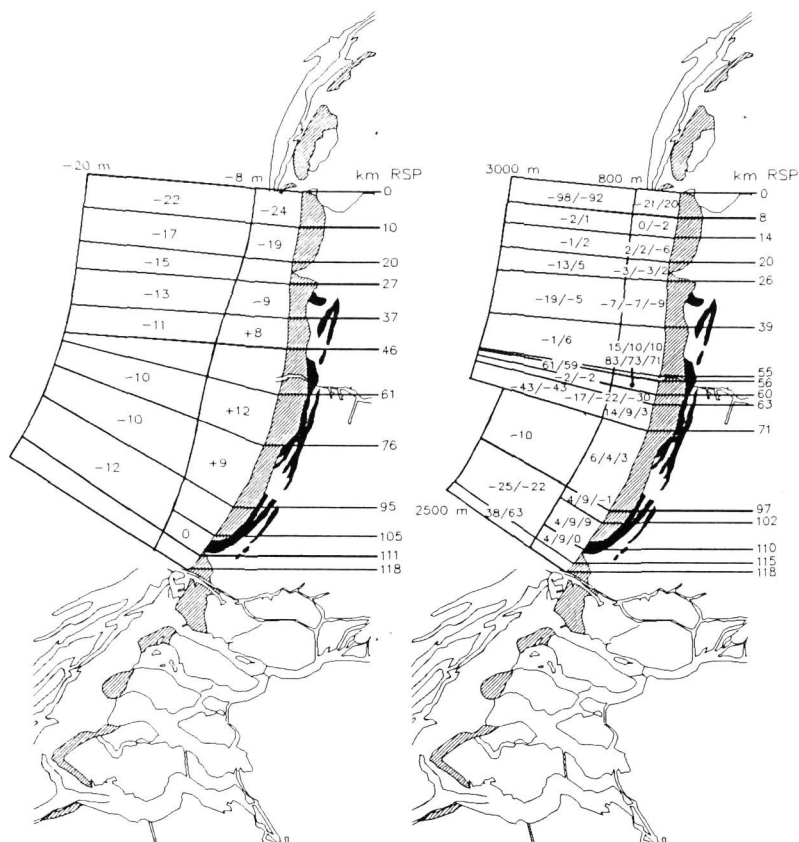
Met betrekking tot de eerste twee categorieën kustsekties is voor de schattingen van de kwantitatieve procesbijdragen gebruik gemaakt van de kwantificering van de sedimenttransporten langs de Hollandse kust. Voor de laatste categorie volgen deze per definitie niet uit deze kwantificering, en moest deels teruggevallen worden op kalibratie aan de hand van de waargenomen ontwikkeling.

## **5.9 Voorspelling grootschalige kustlijnontwikkeling**

Met het ontwikkelingsmodel voor de kust is eerst een rekonstruktie gemaakt van de ontwikkeling van de kustlijn sinds circa 1850. Deze rekonstruktie heeft betrekking op de ontwikkeling van de kust- en dieptelijnen gemiddeld bezien over in langsrichting min of meer uniforme kustsekties. Eén van de resultaten van de rekonstruktie betreft de vergelijking met de waargenomen sedimentbalans voor de Hollandse kust. De globale overeenkomst (zie Figuur 5.4) tussen de waargenomen sedimentbalansgegevens en de deels voorspelde en deels gerekonstrueerde sedimentbalans kan -gelet op de nauwkeurigheid van de lodingscijfers- bevredigend genoemd worden.

De ook op andere aspecten bereikte globale overeenstemming tussen waarnemingen en rekonstruktie over grotere tijd- en ruimteschaal gezien leidt tot de voorzichtige conclusie dat het conceptuele model gebruikt kan worden voor voorspellingen. Echter, het door estuariummondingen beïnvloed gedrag van aangrenzende kustsekties wordt wellicht kwalitatief begrepen, maar kan niet echt gebaseerd worden op te kwantificeren processen.

inhoudsveranderingen in  $m^3/m/jr$



kombinatie van voorspelling en rekonstruktie met het conceptuele model voor uniforme kustsecties

x/y/z:  
 waarnemingen volgens Jarkus- en doorloedingenbestand van 1965-1985;  
 x: verschil 1965-1985  
 y: lineaire trend '65-'70-'75-'80-'85  
 z: geschatte trend '70-'75-'80-'85

**figuur 5.4** Vergelijking van waargenomen en gemodelleerde sedimentbalans van de Hollandse kust

De voorspelling van de grootschalige ontwikkeling van de kustlijn is uitgevoerd voor verschillende scenario's van hydraulische randvoorwaarden enerzijds (3 hydro-meteo scenario's) en van procesgedrag anderzijds (2 procesgedragscenario's). De matrix van zes scenario's is als volgt:

	verwacht procesgedrag	ongunstig procesgedrag
zeespiegelrijzing van 0,2 m/eeuw	Av	Ao
zeespiegelrijzing van 0,6 m/eeuw	Bv	Bo
zeespiegelrijzing van 0,85 m/eeuw & windsterkte- en richtingsverandering	Cv	Co

**Tabel 5.4:** Scenario's voor de kustliggingsvoorspelling

Scenario Av (gemiddeld procesgedrag met een zeespiegelrijzingsnelheid van 0,2 m per eeuw) kan beschouwd worden als het scenario waaronder de recente kustontwikkeling zich afspeelt. De uitgangspunten bij de voorspellingen voor de grootschalige ontwikkeling van de kustlijn voor dit scenario zijn als volgt:

- de trend van de grootschalige ontwikkeling zal voor de voornamelijk autonoom bepaalde kustsecties globaal gelijk zijn aan die over de periode vanaf 1850;
- de trend van de grootschalige ontwikkeling zal voor de voornamelijk quasi-autonoom bepaalde kustsecties bepaald worden door de randvoorwaarden die door de geometrie van de havendammen en het baggeronderhoudswerk in de toegangseulen gesteld worden;
- de trend van de grootschalige ontwikkeling zal voor de voornamelijk niet-autonoom bepaalde kustsecties waarschijnlijk (maar niet zeker op grond van de huidige kennis) globaal gelijk zijn aan die van het langjarig gemiddelde over de kustlijnwaarnemingsperiode vanaf 1850.

Op grond van deze uitgangspunten is een voorspelling gemaakt, geldend voor het scenario Av, die per kustsectie is weergegeven in Tabel 5.5. Hieraan is toegevoegd de additionele kustlijnverplaatsing die zal optreden voor de scenario's Bv en Cv.

rijzingsnelheid van de zeespiegel				
celno.	celno. uniforme deel	0,2 m/eeuw kustlijnverpl. (m/jr)	0,6 m/eeuw extra verpl. (m/jr)	0,85 m/eeuw & wind extra verpl. (m/jr)
1- 15	Zeeuws Vlaanderen (-)	-1,1	-0,4	-1,1
16- 47	Walcheren 33- 41	-1,1	-0,4	-1,1
48- 64	Schouwen 54- 59	1,5	-0,3	-0,8
65- 81	Goeree 68- 76	-0,7	-0,3	-0,9
82- 91	Voorne (-)	-0,7	-0,3	-0,9
109-125	HvH-Scheveningen 116-122	-0,1	-0,2	-0,4
129-151	Sch-Noordwijk 132-151	0,3	-0,2	-0,5
152-170	Noordwijk-IJmuiden 152-163	0,4	-0,2	-0,5
172-190	IJmuiden-Egmond 181-190	0,2	-0,2	-0,4
191-201	Egmond-Groet 191-200	-0,5	-0,2	-0,7
207-216	Petten-Gr Keeten 210-216	-0,9	-0,2	-0,9
217-226	Gr Keeten-Den Hel 217-226	-1,1	-0,3	-1,0
233-260	Texel 242-257	-1,6	-0,5	-1,6
261-280	Vlieland 266-270	-1,9	-0,6	-1,9
281-310	Terschelling 291-298	-1,9	-0,6	-1,9
311-334	Ameland 320-328	-2,2	-0,6	-2,0
335-349	Schiermonnikoog 337-340	3,9	-1,1	-2,6

**Tabel 5.5: Voorspelling van de gemiddelde kustlijnverplaatsing van uniforme kustsecties volgens de scenario's Av, Bv en Cv.**

Bij de voorspelling van de kustlijnligging voor de scenario's Bv en Cv wordt bij de autonoom bepaalde sekties allereerst het directe effect van de zeespiegelrijzing middels het -overigens geringe- Bruuneeffekt in rekening gebracht. Bij de niet-autonoom bepaalde sekties wordt hiernaast ook nog het indirecte effect van de zeespiegelrijzing (vergroting van de zandvraag in het nabijgelegen estuarium) meegenomen in een vergroting van de langstransportgradiënten met respectievelijk 10% en 20% voor een zeespiegelrijzing van 0,6 m/eeuw respectievelijk 0,85 m/eeuw.

Tenslotte wordt voor het scenario Cv (d.i. inclusief verandering in wind-, getij-, en golfklimaat) bij alle sekties aangenomen dat door de verandering van het golf- en getijklimaat de langstransportgradiënten en de dwarstransportgradiënten 20% ongunstiger worden.

Naast bovengegeven voorspelling van de kustlijnligging is een voorspelling gemaakt voor een scenario's Ao, Bo en Co (ongunstig procesgedrag; waarbij ongunstig staat voor een systematisch andere trend dan geschat). Hierbij is voor alle sekties aangenomen dat de systematische onnauwkeurigheid in de transportschattingen leidt tot 20% ongunstiger langstransportgradiënten en dwarstransportgradiënten. Hiermee wordt een indruk verkregen van de nauwkeurigheid die moet worden toegekend aan de kustlijnvoorspelling volgens het scenario gebaseerd op het verwachte procesgedrag.

## **5.10 Voorspelling gedetailleerde kustlijnontwikkeling**

Op de bovenbeschreven schaal kon tot een integratie gekomen worden van de resultaten uit Fase 1, 2 en 3. Hierbij is -op grond van alle beschikbare feiten- tot een keuze gekomen welke voorspelling moest worden gehanteerd voor de "basisvoorspelling" (scenario Av). De voorspellingen voor de overige scenario's zijn uitsluitend gebaseerd op de Fase 3 resultaten, waarbij de voornaamste overweging is dat hierbij een doorzichtige, consistente methodiek is gebruikt (overigens op zich ook een "best guess"). Echter, het ruimtelijke en temporeel oplossend vermogen is onvoldoende voor de beleidsanalyse. Daarom is voor een gedetailleerde voorspelling uitgegaan van de gedetailleerde, vooral fenomenologische voorspellingen van Fase 2, die overigens alleen voor de huidige stijging van de zeespiegel zijn uitgevoerd. De wijze nu waarop de resultaten zijn geïntegreerd is globaal als volgt geweest. Voor de



betreffende kustsecties wordt de over elke beschouwde periode ruimte- en tijdgemiddelde trend gekorrigeerd met de nominale verschilwaarde ten opzichte van de ruimtegemiddelde trend over 1990-2090 volgens Fase 3. De uit Fase 2 voorspelde ruimtelijke en tijdsvariaties blijven ten opzichte van deze trends ongewijzigd. Voor de aansluitingen met de naastgelegen niet-gesloten kustsecties is dezelfde nominale verschilwaarde gehanteerd.

## 5.11 Conclusies

De gepresenteerde kustvoorspellingsmethode is voornamelijk gebaseerd op recente kennis van onderliggende fysische processen van kustsystemen in het algemeen en dat van het Nederlandse kuststelsel in het bijzonder. Deze kennis stelt ons niet in staat met voldoende nauwkeurigheid een voorspelling te doen op de meest gedetailleerde (reken)schaal die verlangd wordt voor de beleidsanalyse. Op korte termijn (1990 à 2000) en/of op grotere tijd- en ruimte schaal (>10 jaar, >10 km) lijkt dit wel haalbaar, met name als uitgegaan wordt van het hydro-meteo scenario gelijk aan de huidige kondities. De resultaten van de voorspelling zijn vermeld in Tabel 5.5 en -in meer detail- in een Appendix bij het rapport. Om de effecten van de onnauwkeurigheid van de gedetailleerde voorspelling op de beleidsanalytische resultaten te kunnen afschatten zijn ook ongunstige onder- en bovengrenzen vastgesteld. Gekonkludeerd kan worden dat deze exercitie heeft geleid tot een beter zicht op de feitelijke lakunes in de huidige kennis over de kustontwikkeling. De resultaten van deze studie kunnen derhalve zeker gebruikt worden als richtinggevend voor nadere studies in het kader van het project Kustgenese.



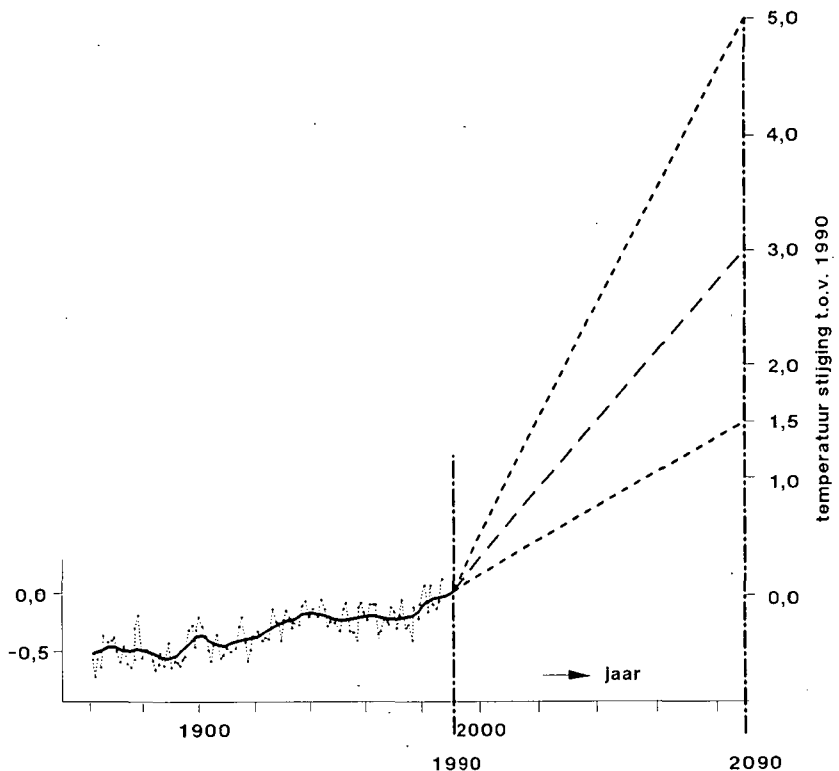
## 6. ZEESPIEGELRIJZING

### Hydro-meteo scenario's

#### 6.1 Veranderingen in hydraulische omstandigheden en oorzaken daarvan

Eerst worden hier de belangrijkste opgetreden veranderingen in het verleden weergegeven en is vervolgens ingegaan op de toekomstige veranderingen.

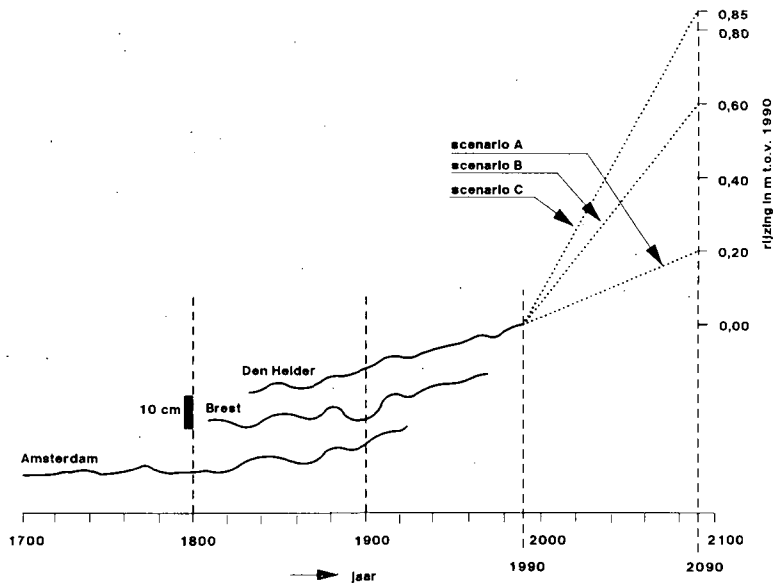
Figuur 6.1 geeft een beeld van de temperatuurstijging in het verleden. Over de afgelopen 100 jaar bedraagt deze ongeveer een halve graad. Het is nog niet bewezen dat deze stijging geheel of gedeeltelijk te wijten is aan het broeikaseffect; wel is dit aannemelijk. Tevens staat in deze figuur de verwachte temperatuurstijging gegeven tot 2090 met onder en bovengrens.



figuur 6.1: Verloop gemiddelde mondiale temperatuur, met het verwachte verloop tot 2090

In figuur 6.2 staat voor een aantal stations met zeer lange reeksen de gefilterde gemiddelde zeespiegel weergegeven over de afgelopen periode. Hierbij valt op (zie Amsterdam en Brest), dat er zich een knik voordoet tussen 1850 en 1900 en dat de relatieve zeespiegelrijzing vóór deze knik minder of zelfs nul is geweest. Een verklaring hier-

voor is niet te geven, wel is duidelijk, dat dit nog niet veroorzaakt kan zijn door het broeikas effect; daarvoor ligt de knik te vroeg. Geconcludeerd mag worden (dit volgt ook uit geologisch onderzoek), dat er zich in het verleden fluctuaties hebben voorgedaan in de relatieve zeespiegel en dat deze ook in de toekomst denkbaar zijn (ook zonder broeikas effect).



figuur 6.2: Gemiddelde relatieve zeespiegelrijzing te Amsterdam, Brest en Den Helder, met het verwachte verloop tot 2090

Wat betreft de toekomstige veranderingen moeten we aannemen, dat deze heel wat groter kunnen zijn dan die, welke zijn opgetreden in het nabije verleden. Dit is grotendeels te wijten aan het menselijke handelen, waardoor ecologie en klimaat aangetast worden. Voor het klimaat is vooral de uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere sporengassen zoals N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub> en de CFK's van belang. Deze gassen veroorzaken een versterking van het zgn. broeikas effect. De kwantitatieve uitspraken over de te verwachten gemiddelde temperatuurstijging lopen nogal uiteen nl. tussen de 1,5 en de 4,5 graden stijging voor de komende eeuw, met als verwachtingswaarde een gemiddelde stijging van 3 graden. Door deze temperatuurstijging zullen ook het klimaat en daaraan gerelateerde grootheden veranderen (zoals depressiebanen en stormfrequenties).

De cruciale vraag voor Nederland is : "Gaat de gemiddelde zeespiegel extra stijgen en zo ja hoeveel?" De in tabel 6.1 staande effecten spelen hierbij een rol. De genoemde thermische expansie houdt in het uitzetten van het oceaanaanwater t.g.v. de temperatuurstijging van het water.

Opmerkelijk is verder de verwachte zeespiegeldaling door toename van de ijshoeveelheid op Antarctica. Door een temperatuurstijging zal namelijk de luchtvochtigheid, en daarmee de neerslag (sneeuw) op Antarctica toenemen, terwijl er vanwege de zeer lage temperaturen nog steeds nauwelijks tot niets smelt.

Enkele jaren geleden liepen de schattingen nog uiteen tussen de 0 en de 3,5 meter rijzing voor de komende eeuw. In wetenschappelijke kringen spreekt men op dit ogenblik over schattingen tussen de 0 en de 1,5 meter. In zijn meest recente werk geeft Oerlemans een rijzing van 56 cm voor de komende 100 jaar als beste schatting; met de bodemdaling erbij geeft dit ongeveer 62 cm. Voor deze studie zijn de getallen aangehouden van het Tweede advies van de Gezondheidsraad "CO<sub>2</sub>-problematiek, etc.", welke eveneens gehanteerd zijn in de Memorie van Toelichting 1987 van Verkeer en Waterstaat, nl. 35 á 85 cm rijzing voor de komende eeuw, met als gemiddelde 60 cm.

	afgelopen eeuw		komende eeuw	
	gem. schatting	lage schatting	gem. schatting	hoge schatting
Smelten gletschers	5	15	20	25
Thermische expansie	5	20	30	40
Af/toename Noordpool	0	0	0	0
Af/toename Groenland	2	0	5	10
Af/toename Antarctica	0	-5	-2	0
Bodemdaling Nederland	6	4	6	8
Rel. zeespiegelrijzing		34	59	83

**Tabel 6.1: Relatieve zeespiegelrijzing in Nederland over de afgelopen en komende 100 jaar in cm.**

## 6.2 Probleemstelling

Ten behoeve van de voorbereiding van de nota Kustverdediging moet worden onderzocht wat het mogelijke kustgedrag is in de toekomst en wat de daaruit voortvloeiende consequenties zijn voor de veiligheid tegen overstromen en voor het gebruik van de kustgebieden. Een belangrijke vraag hierbij is of in de toekomst (de komende 100 jaar) de hydraulische omstandigheden gelijk blijven en zo nee, hoe ze zullen veranderen. Uitgaande van de huidige kennis over het zogenaamde broeikas-effect is het zeer waarschijnlijk dat de hydraulische omstandigheden zullen ver-

anderen. Het doel van het Technisch Rapport 6 is om deze hydraulische omstandigheden en de veranderingen daarin aan te geven t.b.v. de beoordeling van een aantal in de nota kustverdediging onderzochte aspecten, zoals veiligheid, ontwerp en beheer van de waterkeringen en ontwikkeling van de onderwateroever.

De voor de beoordeling van het kuststelsel gebruikte methodieken zijn in drie groepen te verdelen, nl:

- Groep I: die, welke nodig zijn voor de berekening van de (geleidelijke) morfologische verandering van de kust,
- Groep II: die, welke nodig zijn om te toetsen of op een gegeven moment een gedeelte van de "zachte" kust nog voldoet aan de gestelde veiligheid
- Groep III die, welke nodig zijn voor het bepalen van het ontwerp en de veiligheid van waterkeringen, die worden gevormd door zeedijken, havengebieden en strandmuren (harde constructies).

Voor groep I zijn benodigd:

- simultane kansdichtheidsfuncties van golfhoogte, periode en -richting.
- idem voor laagfrequente golven
- stromingen en waterstanden gedurende een gemiddelde getijcyclus.

Voor groep II zijn nodig:

- rekenpeil = ontwerppeil plus tweederde van de decimeterhoogte.
- golfhoogte als functie van de waterstand.
- golfperiode bij het rekenpeil.

Voor groep III zijn vereist:

- basispeilen en ontwerppeilen.
- golfhoogte onder extreme omstandigheden.
- lange golven, bui-oscillaties.

### **6.3 Veranderingen in de hydraulische randvoorwaarden**

- Gemiddelde zeespiegel: zie onder 6.1.

- Gemiddeld hoog en laag water

Door antropogene (verdieping vaargeulen, Deltawerken, afsluitingen etc.) en natuurlijke oorzaken is het gemiddeld hoog- en laagwater veranderd. De veranderingen over de laatste 100 jaar komen voor de Nederlandse kust neer op zo'n +5 cm extra t.o.v. de zeespiegelrijzing voor gemiddeld hoogwater, en -5 cm "extra" voor gemiddeld laagwater. Voor de komende 100 jaar wordt hier aangenomen dat deze trend zal aanhouden.

– Windkracht en -richting

Het windklimaat is de afgelopen 100 jaar niet constant geweest. Variaties in de gemiddelde windrichting van tien graden zijn aangetoond. Ook het aantal stormen per decade kan sterk variëren. Wat betreft de verandering van de windsnelheid en de windrichting in de komende 100 jaar, veronderstellen we, dat in het ongunstige geval de windsnelheid met 10% zal toenemen en de windrichting met 10 graden zal wijzigen.

– Extreme waterstanden

De extreme waterstanden worden hoger door zeespiegelrijzing, vergroting van het tijverschil en eventueel door een toename van de stormfrequentie. Verwacht wordt een rijzing van 65 cm voor de komende eeuw die in het ongunstige geval kan oplopen tot 150 cm (zie ook tabel 6.2). Uitgaande van een kwadratisch verband en een toename van de windkracht met 10% zal de opzet met 20% toenemen.

– Gemiddelde golfcondities

Met behulp van de beschikbare klimaatprogrammatuur is voor een zevental stations langs de kust een, op de huidige vraagstelling toegesneden, simultane kansverdeling gemaakt van golfhoogte, -periode en -richting en later eveneens voor het laagfrequente gedeelte van het spectrum. Voor de doeleinden van de nota kustverdediging is het voldoende rekening te houden met (langzame) variaties van tien graden in de golfrichting op diep water en variatie in de golfhoogte van 10%.

– Extreme golfcondities

In een aantal toepassingen blijkt de afhankelijkheid van de golfhoogte, als functie van de waterstand, relevant te zijn, onder andere bij dijkhoogten en duinafslag. In extreme situaties zijn voor ontwerphoogten van dijken etc. ook buistoten en bui-oscillaties van belang. In de golfhoogte - waterstands - statistiek heeft 10% verandering in de windkracht 8% verandering in de golfhoogte tot gevolg.

## 6.4 Scenario's randvoorwaarden

Om te komen tot een beoordeling van het toekomstige kustgedrag en de toekomstige kustveiligheid is men geïnteresseerd in een consistente set van alle van belang zijnde parameters. Met consistent wordt hier bedoeld, dat de verschillende parameters (randvoorwaarden voor een be-

paalde methodiek) bij elkaar moeten passen; bij een hogere windsnelheid hoort een hogere opzet (en een hoger basispeil) en een hogere inkomende golf. Zo'n set is in het vervolg scenario genoemd.

Het is nu nog mogelijk om vele scenario's op te stellen.

Ten behoeve van de nota kustverdediging is gekozen voor slechts drie scenario's namelijk :

- het "Beleids scenario", met de tot op dit moment gehanteerde waarden,
- het "Anticiperend scenario", met de beste schattingen van dit moment en
- het "Ongunstig scenario", met ongunstige schattingen.

Als uitgangspunt is genomen, dat de kans dat de toekomstige situatie gunstiger uitkomt dan in het ongunstige scenario, niet te groot of te klein mag zijn.

In statistische termen is dit als volgt vertaald:

Wat betreft de hydraulische randvoorwaarden zijn met name drie, als onafhankelijk te beschouwen, parameters van belang (verder basisparameters genoemd) nl:

- de relatieve zeespiegelrijzing,
- de verandering van windkracht en
- de verandering van windrichting.

Wat betreft deze parameters zijn voor het anticiperende scenario de verwachtingswaarden genomen en voor het ongunstige scenario de verwachtingswaarden plus één maal de standaardafwijking. Het beleids scenario geeft de tot voor kort gehanteerde getallen (tabel 6.2). De scenario's A ,B en C staan voor wat betreft de zeespiegelrijzing ook weergegeven in figuur 6.2 De scenario's zijn lineair geïnterpoleerd tussen de huidige situatie (1990) en de voorspelde waarden voor 2090.

De werkelijke krommen tot 2090 zullen meer de vorm van een e-macht vertonen, echter gezien alle onzekerheden voldoet de lineaire benadering. Deze scenario's worden als randvoorwaarden gebruikt voor de, in het begin genoemde, drie groepen methodieken. Voor groep I zijn vooral de basisparameters, gemiddelde zeespiegel, windrichting en gemiddelde windkracht van belang en de afgeleide parameter golfrichting. De kans dat de toekomstige situatie nog ongunstiger uitkomt dan het ongunstige scenario is 5 à 15%. Voor de groepen II en III zijn de belangrijkste basisparameters de gem. zeespiegel en de windkracht ( verandering in de windrichting speelt hierbij gemiddeld voor de kust geen rol), en de afgeleide parameters ontwerppeil en significante ontwerpgolfhoogte en -periode. De bovengenoemde kans komt in dit geval op 10 à 15%.



	A Beleids scenario	B Anticiperend scenario	C Ongunstig scenario
<b>Basis parameters:</b>			
Gem. Zeespiegel	+ 20 cm	+ 60 cm	+ 85 cm
Windkracht	0	0	+ 10%
Windrichting	0	0	+ 10 gr
Gem. hoogwater	+ 20 cm	+ 65 cm	+ 90 cm
Gem. laagwater	+ 20 cm	+ 55 cm	+ 80 cm
<b>Afgeleide parameters:</b>			
Ontwerppeil	+ 20 cm	+ 65 cm	+ 150 cm
Significante golfhoogte op de 20 m lijn <sup>1</sup>	0	0	+ 10%
Significante ontwerp golfhoogte op de 20 m lijn <sup>2</sup>	0	0	+ 8%
Golfperiode behorende bij de ontwerpgolf op de 20 m lijn <sup>2</sup>	0	0	+ 1 s
Golfrichting	0	0	10 gr <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Voor toepassingen onder gemiddelde omstandigheden.

<sup>2</sup> Voor toepassingen onder extreme omstandigheden

<sup>3</sup> Verdraaiing in ongunstige zin

**Tabel 6.2: Scenario's nota kustverdediging voor 2090, veranderingen t.o.v. de waarden in 1990**



## 7. DUINEN ALS WATERKERING

### Invloed van kustgedrag op veiligheid

De veiligheidsbeschouwing van de duinenkust is gebaseerd op de beoordelingsmethodiek die ontwikkeld is door de TAW en vastgelegd is in de Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering. Volgens deze methode is een duinwaterkering veilig als de kans op onderlopen van het achterliggende polderland t.g.v. een duin doorbraak kleiner is dan een vastgelegde kans (deze is in de regel 1/10 van de kans op een "Delta-storm"). Afslag van het duingebied zelf wordt dus niet als een veiligheidsprobleem gezien.

In de jaren 1983 en 1984 is een algehele veiligheidstoetsing van de duinenkust uitgevoerd. Naar aanleiding van deze toetsing zijn die duinvakken verzwaard die niet aan de eisen voldeden. Deze verzwaringen zijn veelal zodanig uitgevoerd dat het desbetreffende vak tot ca. 2000 voldoet aan de veiligheidseisen.

Inmiddels is gebleken dat in een beperkt aantal gevallen de erosie iets sneller gaat dan verwacht. Ook is in een aantal gevallen bewust gekozen voor een verzwaring met een kortere levensduur. Het grootste deel van de marginaal veilige duinen zal rond 2000 niet meer aan de veiligheidseisen voldoen, zodat werken noodzakelijk zijn. Onder "marginaal veilig" wordt in dit verband verstaan duinen die regelmatig verzwaard moeten worden om aan de veiligheidseisen te blijven voldoen.

Toetsing op veiligheid is bij een dynamische kust frequent nodig. Hiervoor zijn de benodigde instrumenten beschikbaar. Mits voldoende kustmetingen beschikbaar zijn, zal dit geen groot probleem in de toekomst opleveren.

De invloed van de zeespiegelrijzing op de veiligheid is het eerstvolgende decennium niet groot. In de wat verdere toekomst heeft de zeespiegelrijzing vooral invloed op de kustachteruitgang, en daardoor indirect op de veiligheid. Door versnelde zeespiegelrijzing wordt versneld het fundament onder de waterkering weggehaald.

De veiligheid van een duinenkust kan worden vergroot door het aanbrengen van zand. Dit kan aan de zeezijde of aan de landzijde gebeuren. Bij landwaartse verzwaring hoeft het minste zand te worden aangebracht, maar dit gaat ten koste van landverlies. Bij zeewaartse verzwaring is het aanbrengen van zand boven de laagwaterlijn het effectiefst voor handhaving van de veiligheid op korte termijn.

Geconcludeerd kan worden dat, technisch gezien, het handhaven van de veiligheid bij alle alternatieven goed

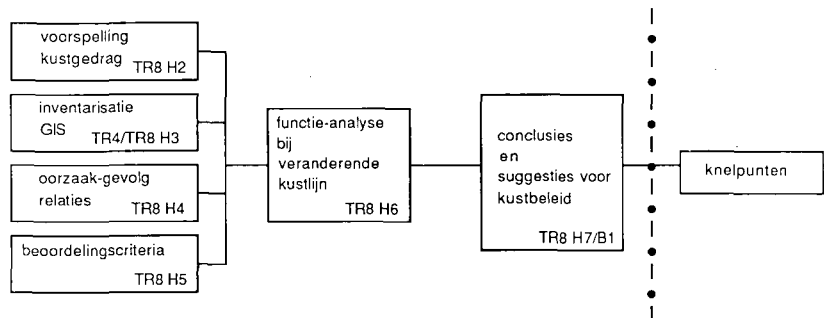
mogelijk is. Bij retirerende alternatieven gaat dit ten koste van de overige functies in het duingebied en eventueel ten koste van de functies in het polderland, direct achter de duinstrook.

## 8. DUINFUNCTIES

### Invloed van kustgedrag

#### 8.1 Inleiding

Het rapport verschaft een onderbouwing voor de beleidsanalyse voor wat betreft de invloed op duinfuncties van effecten die het gevolg zijn van kustachteruitgang. In het rapport ligt de nadruk op de functie natuur. Op grond van beoordelingscriteria zijn natuurklassen opgesteld die in de beleidsanalyse zijn gehanteerd bij de berekening van verliezen aan de functie natuur. Aan de hand van de berekende verliezen bij een voorspeld kustgedrag worden suggesties gegeven voor een natuurvriendelijk kustbeleid. De functie-analyse is schematisch weergegeven in Figuur 8.1.



figuur 8.1 Methodiek van de functie-analyse (TR=technisch rapport, H=hoofdstuk, B=bijlage)

#### 8.2 Voorspelling kustontwikkeling 1990-2090

Er is uitgegaan van één beleidsalternatief, kustlijn retiremen met behoud van veiligheid, en van een scenario met 20cm zeespiegelrijzing en ongunstig morfologisch procesgedrag. Voor de voorspelling van de kustontwikkeling tot 2090 is uitgegaan van de gegevens d.d. 04-01-1989. Dit zijn niet de uiteindelijke derde fase voorspellingen: door de tijdsdruk konden deze niet meer worden verwerkt.

#### 8.3 Inventarisatie met een geografisch informatiesysteem (GIS)

Om een berekening te kunnen maken van de gevolgen van kustachteruitgang voor duinfuncties is een inventarisatie uitgevoerd met behulp van een geografisch informatiesysteem. De functie-informatie is verkregen van bestaan-

de kaarten (schaal 1:25000). Deze zijn verrasterd tot zogenaamde basiskaarten en vervolgens in het geografisch informatiesysteem opgeslagen (zie TECHNISCH RAPPORT 4 "Inventarisatie duinfuncties"). De basiskaarten bevatten informatie over de niet-natuurfuncties en over de natuurkenmerken geomorfologie en grondwater (abiotiek) en vegetatie (biotiek). Ze zijn verwerkt tot afgeleide kaarten. De gegevens uit het geografisch informatiesysteem zijn tevens gebruikt in het systeemanalytisch model voor de beleidsanalyse.

## 8.4 Effecten van kustachteruitgang op duinfuncties

Oorzaak-gevolg relaties geven aan welke duinfuncties door effecten van kustachteruitgang worden beïnvloed. In eerste instantie zijn er acht effecten van kustachteruitgang onderkend. Deze kunnen leiden tot drie soorten gevolgen: landverlies, functieverlies en potentiëel landverlies. Doordat sommige effecten een geringe of onduidelijke invloed op duinfuncties hebben of doordat deze invloed vanwege het ontbreken van gegevens niet kan worden vastgesteld, zijn niet alle effecten beschouwd. Van de effecten zijn er vier in het systeemanalytisch model en drie in de functieanalyse beschouwd (zie Tabel 8.1). De effecten van kustachteruitgang zijn:

1. **Landverlies.** Verlies van land door kustachteruitgang. Landverlies heeft invloed op alle natuurkenmerken. Deze invloed hoeft niet altijd negatief te zijn. Alle niet-natuurfuncties zijn gevoelig voor landverlies.
2. **Overschuiving.** Het opnieuw in profiel brengen van de zeereep na landverlies. De meeste natuurkenmerken zijn gevoelig voor overschuiving. Alle niet-natuurfuncties zijn gevoelig voor overschuiving, behalve de functies vanggebied bij drinkwaterwinning en militair areaal.
3. **Overstuiving.** Wegstuiven van zand uit de zeereep landinwaarts. De meeste natuurkenmerken zijn ervoor gevoelig. De invloed kan negatief zijn wanneer bijvoorbeeld oudere, kalkarme vegetaties overstoven worden met vers, kalkrijk zand, of wanneer een vochtige duinvallei dichtstuift. De meeste niet-natuurfuncties zijn eveneens gevoelig voor overstuiving.

**4. Grondwaterstandsdeling.** Verlaging van het freatisch grondwater tengevolge van kustachteruitgang.

De meeste natuur is hier gevoelig voor, vooral duinmoerassen die een hoge natuurwaarde hebben. Bij bepaalde vegetatietypen hoort een kenmerkende grondwaterstand. Daalt deze, dan ondervindt het vegetatietype daarvan schade. Er wordt niet ingegaan op de potentiële ontwikkelingen wanneer natuur verdroogt of minder vochtig wordt; alleen het verlies aan actuele natuur wordt gesignaleerd. Van de niet-natuurfuncties is waterwinning het gevoeligst voor grondwaterstandsdeling (afname van de zoetwatervoorraad).

**5. Verplaatsing zoet-zout grensvlak.** Verplaatsing van het grensvlak zout-zoet water in de diepere ondergrond bij het opnieuw instellen van een geohydrologisch evenwicht na een grondwaterstandsdeling.

Op de natuurfuncties heeft dit geen invloed. Van de niet-natuurfuncties wordt in het bijzonder de waterwinning beïnvloed, vooral de diepe winningen (verzilting van winputten).

**6. Inundatie.** Overstroming van land door de zee.

Alle natuurkenmerken zijn hiervoor gevoelig. Het effect is nadelig, behalve bijvoorbeeld bij onvolledig afgesnoerde strandvlaktes (i.e. strandvlaktes die door een nieuw ontstane duinenrij gedeeltelijk van de zee worden afgeschermd) of bij sluffers waar al enige invloed van de zee is. Alle niet-natuurfuncties zijn eveneens gevoelig voor inundatie. Er wordt van uitgegaan dat de beheerder inundatie zal voorkomen.

**7. Zout-spray.** Landwaartse verplaatsing van de zône met inwaai van zouten uit zee.

Natuur is hier gevoelig voor, behalve waarschijnlijk het abiotische natuurkenmerk geomorfologie.

**8. Ligging in de afslagzône.** Potentieel landverlies dat pas optreedt bij kustachteruitgang tijdens een storm met een herhalingstijd van 500 jaar.

Het betreft hier dus een risico voor landverlies. Alle niet-natuurfuncties zijn risico gevoelig. Omdat de afslagzône als hoofdfunctie zeewering heeft en natuur hier slechts een nevenfunctie is, wordt natuur ongevoelig geacht voor dit risico.

In Tabel 8.1 is aangegeven of de in dit rapport beschouwde effecten van kustachteruitgang van invloed zijn op de geïnventariseerde natuurkenmerken.

	Effecten		
	1	2	4
Natuurkenmerken			
a. Abiotische kenmerken			
Geomorfologie	+	+	+/-
Grondwater	+	+/-	+
b. Biotische kenmerken			
Vegetatie (droog)	+	+	-
Vegetatie (vochtig-nat)	+	+	+

- 1 = landverlies  
2 = overschuiving  
4 = grondwaterstandsaling  
+ = gevolg te verwachten  
+/- = minder duidelijk of minder belangrijk gevolg  
- = geen gevolg te verwachten/gevolg onbekend

**Tabel 8.1: Relatie tussen effecten die optreden ten gevolge van kustachteruitgang en natuurkenmerken.**

## 8.5 Beoordelingscriteria

Het gehele kustgebied is een voor NW-Europa waardevol, uniek en grootschalig natuurgebied. Op kleinere schaal zijn er verschillen in natuurwaarden. Bij de beoordeling van natuur en landschap staan het behoud en herstel van natuurlijke processen die van belang zijn voor de rijkdom aan levensgemeenschappen langs de kust en in de duinen voorop. Dit leidt tot de volgende overwegingen:

- moeilijk vervangbare, oudere structuren worden hoger gewaardeerd dan jonge dynamische milieus;
- voedselarm wordt hoger gewaardeerd dan voedselrijk;
- vochtig wordt hoger gewaardeerd dan droog;
- primaire duinvormen worden hoger gewaardeerd dan secundaire;
- volledige landschappen worden hoger gewaardeerd dan niet volledige. Hierbij moet worden bedacht dat een combinatie van op zich zelf niet zeldzame landschapselementen als combinatie wel waarde kan hebben.

Op grond van de volgende beoordelingscriteria is een eenvoudige kwantitatieve waardering van biotische en abiotische elementen opgesteld:

1. **soortenrijkdom:** voorkomen van kenmerkende en zeldzame plante- of diersoorten;
2. **zeldzaamheid:** hier is rekening gehouden met een



aantal algemeen voorkomende typen van bedreigingen van duinecosystemen;

3. **vervangbaarheid/mate van rijpheid en ontwikkeling:** hoeveel tijd is nodig om een vergelijkbaar ecosysteem te laten ontstaan. Hierbij is rekening gehouden met de geschatte ouderdom van ecosystemen.

De volgende waarderingskaarten zijn gemaakt:

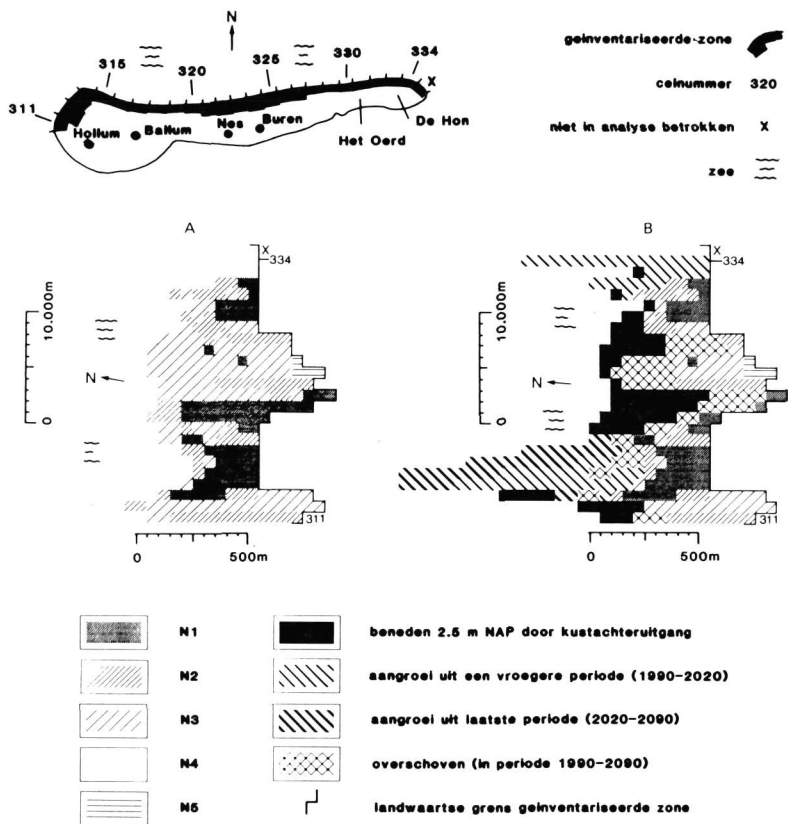
- een biotische kaart, gebaseerd op de dominante vegetatie en de aanwezigheid van puntlokaties met waardevolle vegetaties;
- een abiotische kaart, gebaseerd op de geomorfologische en hydrologische kenmerken;
- een natuurkaart, waarin de abiotische en biotische kaarten gecombineerd zijn;
- een kaart die afhankelijk van grondwater en vegetatie de gevoeligheid voor een grondwaterstands daling aangeeft.

De natuurkaart omvat vijf klassen, waarvan er één betrekking heeft op strand en strandvlakten, drie op de duinen, en één op polder, bebouwing en antropogeen beïnvloed duin. De drie klassen die betrekking hebben op de duinen zijn:

- N1 : vochtige en natte primaire en secundaire duinvormen met vochtig duingrasland, bos en heide;
- N2 : droge primaire duinvormen en vochtig secundair duin met duinstruweel en droog duingrasland, lokaal vochtig duingrasland en bos;
- N3 : droge secundaire duinvormen met droog duingrasland en stuifduinvegetatie.

Deze kaart dient als basis voor de analyses van de gevolgen van landverlies en overschuiving na een kustachteruitgang. Ter illustratie is de natuurkaart van Ameland bijgevoegd (figuur 8.2A). In deze figuur is tevens een voorbeeld gegeven van de natuurkaart van Ameland in 2090, uitgaande van een voorspeld kustgedrag (figuur 8.2B).

Met behulp van de hydrologische kaart en de vegetatiekaart is een afgeleide kaart gemaakt die per gridcel de gevoeligheid voor een grondwaterstands daling aangeeft. Hiermee, en met de voorspelde grondwaterstands daling, is het mogelijk per gridcel de verliezen aan vegetatie ten gevolge van de te verwachten verdroging aan te geven.

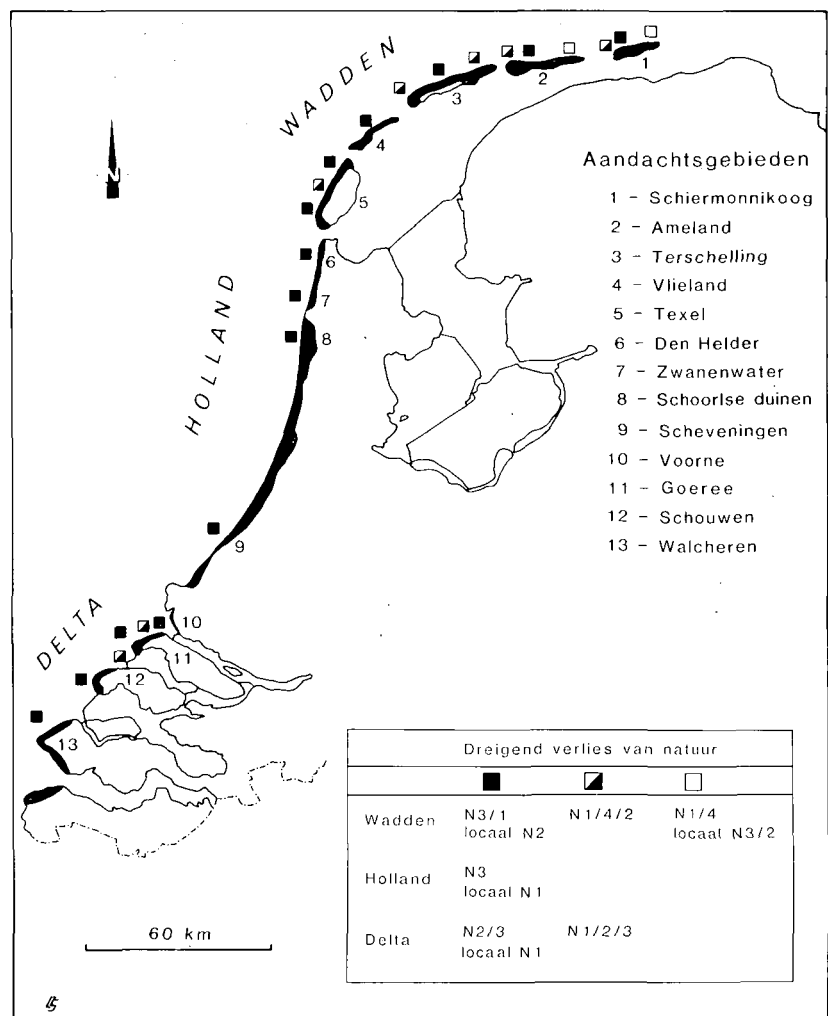


figuur 8.2 De natuurkaart voor Ameland voor 1990 (A) en 2090 (B) uitgaande van de duinvoetligging voor 1990, ongunstig kustgedrag en 20 cm/eeuw zeespiegelrijzing

## 8.6 Functie-analyse bij veranderende kustlijn

Met behulp van de kustlijnvoorspellingen bij 20 cm/eeuw zeespiegelrijzing en ongunstig morfologisch scenario zijn kaarten afgeleid die de verliezen ten gevolge van landverlies, overschuiving en grondwaterstandsdeling weergeven. Tevens is aangegeven op welke plaatsen een effect te verwachten is bij een autonome ontwikkeling, waarbij alleen ingegrepen wordt als een veiligheidsknelpunt ontstaat. Hierbij moet benadrukt worden dat er geen voorspelling wordt gegeven van de ontwikkeling van huidige natuurwaarden, maar slechts een signalering van verlies of aantasting van huidige natuurwaarden. Er is van uitgegaan dat de huidige natuurwaarden in de loop van de tijd constant blijven.

Omdat in éénzelfde gridcel afwisselend afslag en aangroei op kan treden, is gekozen voor een periodieke aanpak. Voor de periodes 1990-2000, 2000-2020 en 2020-



figuur 8.3 Knelpunten voor natuurverlies bij gehanteerde kustlijnvoorspelling tussen 1990 en 2090

2090 zijn de verliezen berekend. Door sommatie van de verliezen over de laatste drie periodes is het verlies over de periode 1990-2090 berekend.

Nadat een overzicht is gegeven van de natuurverliezen per gridcel en per kilometer kustlijn, wordt de invloed van het kustgedrag op grotere landschapseenheden beschouwd. Hiertoe is de informatie van de rasterkaarten gecombineerd met de informatie uit de landschapsecologische kaart 1:100.000 (Bakker et al., 1979) en uit de landschapskaart 1:50.000 (Doing, 1988) van de Nederlandse kust.

Bij de Wadden treden aanzienlijke verliezen aan natuurfuncties op, vooral in de centrale delen van de eilanden. In Holland zijn de natuurverliezen het grootst in het uiterste noorden van Noord-Holland bij Den Helder, ter hoogte van het Zwanenwater en bij de Schoorlse duinen. In de Delta worden grote delen van de kust vastgehouden in verband met de veiligheid, waardoor de natuurverliezen beperkt blijven. Figuur 8.3 geeft een overzicht van de grotere landschapseenheden die bij de gehanteerde kustlijnvoorspelling met aantasting bedreigd worden.

Op grond van een evaluatie van de aldus te verwachten natuurverliezen worden per landschapseenheid enige suggesties gedaan voor landschapsbeheer.

## 8.7 Conclusies

De resultaten worden gepresenteerd op gridcelniveau, op sectorniveau en op regionaal niveau (Wadden, Holland en Delta).

Per regio zijn de natuurverliezen bij het beleidsalternatief "kustlijn retireren met behoud van veiligheid":

- \* Op de Wadden zullen grote delen van natuurklassen N1, N2 en N3 verdwijnen door landverlies en door overschuiving. De trend is dat de verliezen qua omvang afnemen naarmate de tijd verstrijkt. Met name zullen uitgestrekte vochtige primaire duinsystemen op Texel en Terschelling aangetast worden, evenals unieke oudere droge secundaire landschappen op Texel, Terschelling en Ameland. Door met afslag gepaard gaande grondwaterstands daling zal mogelijk een groot deel van de vochtige vegetatie verdrogen. Ook hier

geldt weer dat een belangrijk deel ervan tussen 1990 en 2020 verloren zal gaan.

- \* Voor Holland zijn de verliezen tussen 1990 en 2090 aan natuurklasse N1 en N2 procentueel gezien vrij hoog. Er is in deze regio echter maar een gering oppervlak aan N1 en N2. Ook hier geldt dat verliezen voor een groot deel in de eerste 50 jaar optreden. Van de geringe hoeveelheid vochtige vegetatie zal een groot deel verloren gaan. De verliezen beperken zich vooral tot Noord-Holland, met name tot kalkarm, secundair droog duin met korstmos, buntgras en heide. De grootste knelpunten ontstaan bij het Zwanenwater, een voor de gehele Nederlandse kust uniek gebied en in de Schoorlse duinen. Bij het Zwanenwater zullen ook de gevolgen van verdroging het grootst zijn.
- \* In de Delta zijn de verliezen relatief gering omdat in verband met de veiligheid van het polderland, grote delen kust worden vastgehouden. De verliezen door verdroging zijn naar verwachting gering. Met name op Schouwen ontstaat een knelpunt, waar droge kalkrijke, struweelrijke duinen bedreigd worden. Dergelijke duinen komen ook in de regio Holland voor, maar zijn daar vaak sterk door waterwinning en recreatie aangetast. Op Goeree wordt droog, kalkarm buntgrasduin bedreigd.

De belangrijkste conclusies met betrekking tot de verliezen aan natuurfuncties zijn:

- \* natuurverliezen treden vooral op in de Wadden. De trend is dat deze verliezen vooral in het begin van de volgende eeuw optreden en daarna afzwakken;
- \* bij een beleid waarbij duingebieden met natuurklassen N1 en N2 worden beschermd tegen kustachteruitgang kunnen de grootste problemen met betrekking tot natuurverlies worden vermeden.



## **9. INVENTARISATIE FUNCTIES ONDERWATEROEVER**

### **Interactie met kustverdediging**

#### **9.1 Onderwateroever**

De onderwateroever vormt de basis van onze kust. Ontwikkelingen op de onderwateroever zijn direct en indirect van invloed op de kustlijnligging en daarmee op de kustverdediging.

De onderwateroever (binnen de context van technisch rapport 9 gedefinieerd als het zeegebied tussen de laagwaterlijn en ca. de NAP-20 m dieptelijn, met een maximale breedte van 20 km) heeft echter ook betekenis voor andere functies. De toegepaste kustverdedigingsstrategie en de overige functies van de onderwateroever hebben in meer of mindere mate een invloed op elkaar.

#### **9.2 Technisch rapport 9**

Om de wederzijdse beïnvloeding van functies mee te kunnen wegen in een beleidsanalyse voor de kustverdediging, is een integrale belangenafweging vereist.

Een afweging in deze vorm, van alle op de onderwateroever voorkomende belangen wordt in Nederland voor het eerst uitgevoerd in het kader van de voorbereiding van de 3e Nota Waterhuishouding en het op te stellen Integraal Beleidsplan Voordelta. De resultaten van de methodiekontwikkeling en de analyses binnen deze projecten zijn in het voorjaar 1989 nog niet beschikbaar. Met het oog op de complexiteit van de vereiste analyses en gelet op de beschikbare tijd, is besloten bij de beleidsanalyse in het kader van de Nota Kustverdediging, de verschillende belangen van de onderwateroever vooralsnog niet mee te nemen. Een integrale belangenafweging wordt echter bij het actualiseren van het kustverdedigingsbeleid in de toekomst wel degelijk wenselijk geacht.

Als eerste onderbouwing van deze visie wordt in Technisch Rapport 9 een inventarisatie gegeven van:

- de betekenis van de onderwateroever voor de verschillende functies; en
- de wisselwerking tussen deze functies en de kustverdediging.

De interactie tussen de verschillende functies van de onderwateroever onderling, is hierbij buiten beschouwing ge-

bleven. Een inschatting van het relatieve belang van de beschreven relaties is dan ook slechts gedeeltelijk mogelijk. De plaats van de onderwateroever in de diverse overheidsnota's over het ruimtelijk beleid, wordt kort belicht.

### 9.3 Overzicht functies onderwateroever

#### – Functie kustverdediging

De rol van de onderwateroever bij de kustverdediging blijkt uit het feit dat de kusterosie grotendeels wordt bepaald door de mate van achteruitgang van deze oever. Op plaatsen waar de waterkering uit een dijk bestaat, of waar een (diepe) geul dicht onder de kust komt, is ter bescherming dan ook soms een onderwateroeververdediging aangebracht.

#### – Functie natuur

De natuurwaarde van de onderwateroever komt vooral tot uiting in zijn belang als potentieel leefgebied voor bruinvis en zeehonden, als fourageergebied voor miljoenen zee- en kustvogels en als paaigebied en kinderkamer voor vele vissoorten. Dit belang hangt samen met de grote voedselrijkdom in de onderwateroeverzone; een voedselrijkdom die met name wordt bepaald door de beschikbaarheid van veel bodemdieren en planktonische organismen.

Beschermde natuurmonument krachtens de Natuurbeschermingswet, zijn delen van de onderwateroever tussen Ameland en Schiermonnikoog en tussen Schiermonnikoog en Rottumeroog. Voor de ondiepe kustzone op de Haringvliet-buitendelta is een dergelijke aanwijzing in voorbereiding.

#### – Functie scheepvaart

Het scheepvaartverkeer in de onderwateroeverzone is onder te verdelen in (-) route-gebonden verkeer, beperkt tot de scheepvaartgeulen naar de zeehavens aan de Westerschelde, Rotterdam-Europoort, IJmuiden-Amsterdam, Den Helder, Harlingen en Eemshaven-Delfzijl; en (-) niet route-gebonden verkeer, van sleepboten tot plezierjachten, met de grootste concentraties rond de (jacht)havens en op de recreatie-visgronden, naast de visserijhandelsvloot, geconcentreerd rond de visserijhavens.

#### – Functie beroepszeevisserij

Het belang van de onderwateroever voor de visserij is tweeledig. In het gebied vindt visserij plaats op garnalen, kabeljauw, schol, tong, aal en (lokaal) op kokkels en mos-



selzaad. Dit betreft hoofdzakelijk boomkorvisserij door schepen met een maximaal motorvermogen van 300 PK. Daarnaast heeft de onderwateroever voor de Nederlandse kust betekenis als kinderkamer voor garnalen, schol, tong, kabeljauw, haring en mogelijk ook voor wijting.

– Functie recreatie en toerisme

De veelal flauwe bodemhelling van de onderwateroever rond de laagwaterlijn bepaalt voor een belangrijk deel de aantrekkelijkheid voor badgasten. Het beoefenen van de zeil- en surfsport vanaf de stranden wordt in toenemende mate belangrijk, met name op plaatsen waar zich duidelijke vaardoelen bevinden in de vorm van droogvallende platen (Voordelta, Razende Bol). Doorgaande recreatievaart onder de kust en dagtochten (ook voor sportvisserij) nemen toe in aantal.

– Functie inbreng en opslag van stoffen

Dumping van baggerspecie in depots op de onderwateroever gebeurt op Loswal Noord en voor de kust van IJmuiden. De totale jaarlijkse hoeveelheid bedraagt ca. 18 miljoen m<sup>3</sup>. Daarnaast bevinden zich, buiten Nederlands grondgebied, stortlocaties in het Eems- en het Westerscheldemondingsgebied (jaarlijkse storthoeveelheid ca. 13 miljoen m<sup>3</sup>).

De lozing van rivier- en polderwater gaat gepaard met de inbreng van een aanzienlijke vracht aan voedingsstoffen en microverontreinigingen. Dit beïnvloedt in de onderwateroeverzone de waterkwaliteit en in sedimentatiegebieden van verontreinigd slib, ook de waterbodemkwaliteit.

– Functie delfstoffenwinning

Winning van minerale delfstoffen op de onderwateroever is vooralsnog beperkt tot 2 gaswinlocaties bij de oostpunt van Ameland en een voor de kust van Egmond.

Commerciële zandwinning is niet toegestaan boven de NAP-20 m diepte en komt in principe dan ook niet voor op de onderwateroever. Een uitzondering vormen zandwinningen die plaats hebben in het kader van onderhoudsbaggerwerk en verdieping van scheepvaartgeulen (totaal ca. 2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, voornamelijk uit de IJgeul).

Schelpenwinning heeft plaats op de onderwateroever tussen de Waddeneilanden Vlieland, Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog en Rottumeroog (totaal ca. 80.000 m<sup>3</sup>/jaar); op de Voordelta is een vergunning verleend voor de winning van 25.000 m<sup>3</sup>/jaar.

– Functie infrastructurele werken

Aanlanding van olie- en gasleidingen komt voor op een

zestal locaties langs de kust zoals aangegeven in het Structuurschema Buisleidingen: rond Europoort en de IJmond, bij Callantsoog en bij Warffum.

Onderzeese kabeltracé's doorsnijden de onderwateroever bij Domburg, Scheveningen, Katwijk, Egmond, bij Schiermonnikoog, tussen Zeeuws Vlaanderen en Walcheren en tussen vasteland en Texel, Texel en Vlieland, Vlieland en Terschelling.

Regelmatig onderhoudsbaggerwerk en verdieping is vooral belangrijk in de Euro-Maasgeul (ca. 1.7 miljoen m<sup>3</sup>/jaar), het Scheur (ca. 9 miljoen m<sup>3</sup>/jaar) en het Slijkgat (ca. 100.000 m<sup>3</sup>/jaar).

– Functie militaire activiteiten

De onderwateroeverzone maakt lokaal deel uit van de schietterreinen voor zwaardere wapens van zowel land-, lucht- als zeemacht: tussen Petten en Den Helder, op de Vliehors en de Noordvaarder.

De Koninklijke Marine heeft daarnaast belangen in het gebied rond het Marsdiep (m.n. de Razende Bol - Noorderhaaks) verband houdend met mogelijkheden voor verzekerde doorvaart.

– Overige functies

Lokaal heeft de onderwateroever betekenis vanuit cultuurhistorisch en archeologisch opzicht.

## **9.4 Wisselwerking van kustverdediging met andere onderwateroeverfuncties**

Bij elke kustverdedigingsstrategie hoort een pakket maatregelen. Er bestaat steeds de keuze tussen een harde en een zachte kustverdediging; de laatste kan de vorm hebben van duin-, strand- en/of onderwateroever-suppleties. Gekoppeld aan suppleties is zeezandwinning nodig. Het zijn deze maatregelen die in meer of mindere mate hun invloed doen gelden op andere functies van de onderwateroever.

De invloed in omgekeerde richting, van andere onderwateroeverfuncties op de kustverdediging is veelal indirect.

– Wisselwerking met natuur

Onderwateroever-suppleties en zeezandwinnings beïnvloeden het fysisch milieu op drie manieren: de oorspronkelijke bodem wordt afgedekt c.q. verwijderd, de bodem-morfologie wordt veranderd en de troebelheid van het water (tijdelijk) meestal verhoogd. Vrijwel alle bodemdieren verdwijnen door deze ingrepen. De gebieden zullen

echter worden gerekoloniseerd vanuit de omgeving. Veelal zal de nieuwe bodemdierenpopulatie een afwijkende grootte- en soortensamenstelling hebben. Belangrijke factoren die daarbij een rol spelen zijn de bodemstabiliteit en -samenstelling na de ingrepen. De snelheid van herstel wordt bevorderd door de ingreep uit te voeren in de wintermaanden, waardoor de biologische reproductie niet wordt gestoord.

Het effect op dieren hoger in de voedselketen (vissen, vogels) wordt bepaald door de omvang en de locatie van de ingrepen (paai- en fourageergebieden) en door het tijdstip (vogeltrek, broed- en paaiperiode).

Verdedigingen van de onderwateroever bieden mogelijkheden tot actief biologisch beheer: speciale materialen bieden een basis voor rijke "harde substraat" gemeenschappen.

Natuurbelangen kunnen voorwaarden stellen aan supplementies en zandwinningsen wat betreft: locaties, uitvoeringsmethode en - tijdstip, gebruikte materialen.

– Wisselwerking met scheepvaart

Suppleties van de onderwateroever (zanddammen) kunnen de bodemmorfologie dermate veranderen dat de kustgebonden scheepvaart wordt belemmerd in bewegingsvrijheid. Eventuele verlegging van scheepvaartgeulen die onder de kust erosie veroorzaken (Oostgat), kan vaste scheepvaartroutes veranderen.

Stranding kan een dusdanige erosie veroorzaken dat gevaar ontstaat voor de zeekering.

– Wisselwerking met beroepszeevisserij

Vangst- en paaigebieden kunnen worden verstoord door zeevaartse kustverdedigingsstrategieën. De bodemtopografie kan door zandwinning met bodemzuigers dermate veranderen dat bepaalde vangsttechnieken (b.v. met sleepnetten of boomkorren) onbruikbaar worden.

– Wisselwerking met de inbreng en opslag van stoffen

Er kan een ruimtelijk conflict ontstaan tussen polder- en afvalwaterlozingspunten en eventuele locaties voor onderwateroeververdedigingen en zeezandwinningsen.

– Wisselwerking met delfstoffenwinning

Kustverdedigingsbelangen verbieden momenteel commerciële zeezandwinning op de onderwateroever en zijn van invloed op de toelaatbaarheid van olie- en gaswinningsen op de onderwateroever i.v.m. potentiële bodemdalingen. Bodemdaling ten gevolge van olie- en gaswinningsen heeft

een ongunstig effect op de kustligging; zandwinning binnen de NAP -20m dieptelijn evenzo.

– Wisselwerking met infrastructurele werken

Aanleg en verdieping (zandwinning) van scheepvaartgeulen, aanlandingen van pijpleidingen en kabels, en voorgenomen kustuitbreidingen moeten worden getoetst aan kustverdedigingsbelangen.

Grote civiele werken (havenhoofden etc.) kunnen het kustgedrag over vele kilometers beïnvloeden. Afsluitingen van zeearmen hebben op de Voordelta bankvorming gestimuleerd welke een positief effect hebben op de duinafslag bij stormen. Verdieping van vaargeulen in de landwaartse delen van een estuarium als de Westerschelde, heeft een indirect effect op de kustlijn.

– Wisselwerking met militaire activiteiten

Kustverdedigingsmaatregelen met betrekking tot ontwikkelingen van de Razende Bol - Noorderhaaks hebben invloed op marinebelangen bij een vrije doorvaart. Door gaande zeespiegelrijzing zonder tegenmaatregelen, kan de bruikbaarheid van de Vliehors en Noordvaarder als militair oefenterrein nadelig beïnvloeden.

– Wisselwerking met overige functies

Zandwinningen kunnen schade toebrengen aan waardevolle cultuur-historische resten (b.v. scheepswrakken), maar kunnen daartegenover ook positief werken door het blootleggen van onbekende relictten. Suppleties zullen veelal geen invloed hebben, afgezien van een positieve, conserverende werking.

## **9.5 De onderwateroever en het bestaande ruimtelijk beleid**

De onderwateroever maakt, al dan niet expliciet, onderdeel uit van het plangebied in diverse beleidsnota's van de overheid.

Illustratief voor de hoofdlijn van het overheidsbeleid ten aanzien van de onderwateroever, is de formulering in de 4e Nota Ruimtelijke Ordening over het op te stellen Integraal Beleidsplan Voordelta: "(...) gericht op het veilig stellen van de natuurlijke ontwikkeling in relatie tot de kustbescherming. Aangegeven zal worden in hoeverre andere functies (...) inpasbaar zijn in de voorgestane ontwikkeling van het gebied".

## 9.6 Conclusies

Gebonden aan de onderwateroever is een groot aantal maatschappelijke functies die in meer of mindere mate een wisselwerking hebben met de kustverdediging. Het relatieve belang van deze interacties met de kustverdediging is niet aan te geven, zonder kennis over de verdere interacties van onderwateroeverbelangen onderling. Om te komen tot een optimale kustverdedigingsstrategie is het wenselijk dat bij een toekomstige actualisering van het kustverdedigingsbeleid, alle verschillende belangen van de onderwateroever integraal worden meegewogen.



## 10. ZEEZANDWINNING

### Invloed op kustgedrag; een verkenning

Zowel in het kader van de voorbereiding van de nota Kustverdediging als het Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee wordt een grote behoefte aan Noordzeezand voorzien. Het betreft zand ten behoeve van erosiebestrijding van de kust (suppletiezand) en voor gebruik op land (vnl. ophoogzand). Volgens het huidige beleid wordt dit zand zeewaarts van de 20 meter dieptelijn gewonnen. Voor winning in scheepvaartgeulen mag dichter onder de kust worden gewonnen. De vaarafstand is een belangrijke kostprijs verhogende factor van het te winnen zand. De vraag is of winning dichter onder de kust mogelijk is zonder dat het kustgedrag negatief wordt beïnvloed. In deze studie is dit voor een beperkt aantal locaties t.p.v. min of meer gesloten kustsecties nagegaan (Scheveningen, Bergen, Texel en Ameland). Tevens is het effect van zandwinning in de IJ-geul onderzocht. De effecten van het op grote schaal in tijd en ruimte onttrekken van zand uit de kustzone zijn in deze studie niet onderzocht. Aanzetten tot een dergelijk onderzoek zijn gegeven in Technisch Rapport 19 - innovatieve methoden van kustverdediging -

De studie is in twee gedeeltes gesplitst:

1. de beoordeling van de gevolgen van zandwinning op de kustlijn bij de vier locaties langs de kust;
2. onderzoek naar het effect op de kustlijn van zandwinning uit de IJ-geul.

In de studie onder 1. is sprake van een groot aantal variabelen, zoals het volume zand dat wordt gewonnen, de vorm van de winningskuil, e.d. Een model om de varianten op een vergelijkbare wijze door te rekenen is in dit geval dan ook onontbeerlijk. Daarnaast zijn resultaten uit de praktijk van min of meer vergelijkbare zandwinningen geëvalueerd.

De effecten worden vergeleken met de verwachte autonome ontwikkelingen van de kustlijn tot in het jaar 2030 (Technisch Rapport 5 - kustvoorspelling). Er is in deze studie uitgegaan van het feit dat op de betreffende locaties geschikt zand in voldoende mate aanwezig is.

Er is een set van varianten opgesteld die de totale range aan mogelijke variaties zo goed mogelijk vertegenwoordigt. Deze set is weergegeven in tabel 10.1 Hierbij kunnen grote volumes opgevat worden als de resultante van meerdere jaren een kleinere hoeveelheid onttrekken.

### Dimensies van de zandwinkuil

Variant notatie	dieptelijn (m)	breedte (m)	lengte (m)	diepte (m)	volume ( $10^6 \text{ m}^3$ )
10.1	10	100	2000	1	0,2
10.2	10	500	2000	1	1
16.1	16	100	2000	1	0,2
16.2	16	500	2000	1	1
16.3	16	1000	2000	5	10
16.4	16	1000	5000	2	10
20.1	20	1000	2000	5	10
20.2	20	1000	5000	2	10

**Tabel 10.1: De mogelijke dimensies van de zandwinkuilen voor de 4 locaties, Scheveningen, Bergen, Texel en Ameland.**

Vanwege de beperkingen van het dwarstransportmodel is gerekend tot de zeewaartse begrenzing van de zgn. actieve zône. Deze begrenzing valt min of meer samen met die van de brandingszône (vanaf de 10 tot 7 m dieptelijn). Als verstoringen deze zône bereiken is de invloed op de kustlijn binnen korte tijd merkbaar. De onderwateroever zeewaarts van de actieve zône wordt, overeenkomstig de analyses van de voorspellingen van het kustgedrag, verondersteld zich morfologisch anders te gedragen dan de actieve zône.

Voor de studie rond de IJ-geul is gebruik gemaakt van de middelen die voor het eerste deel van deze studie zijn ontwikkeld. Veldgegevens zijn gebruikt om de berekeningen te toetsen. Ook aspecten m.b.t. de mogelijke verandering in het benodigde onderhoud van de IJ-geul komen aan de orde.

In figuur 10.1 is de kustontwikkeling in het jaar 2030 (laagwaterlijn) t.o.v. 1990 weergegeven in het geval van 60 cm zeespiegelrijzing in 100 jaar. Voor alle beschouwde locaties is voor dit zgn. anticiperende scenario achteruitgang van de kust te constateren. Deze wordt van Zuid naar Noord groter: van enkele meters (Scheveningen) tot enkele honderden meters (Ameland). IJmuiden (IJ-geul) vormt daarop een uitzondering. De kustlijn verplaatst hier zeewaarts over enkele tientallen meters.

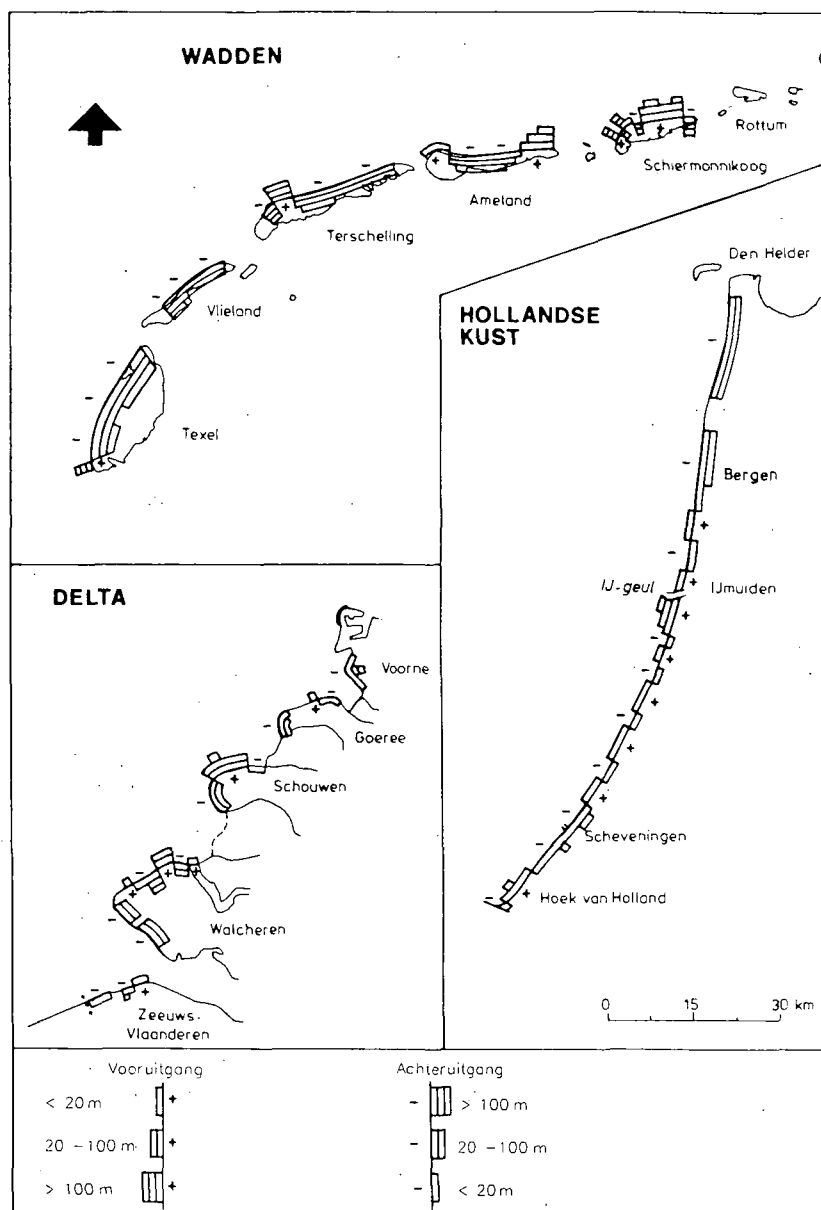
#### **Winning zand uit de IJ-geul**

Uit de modelberekeningen volgt dat het winnen van zand door het verdiepen en/of verbreden van de IJ-geul het lokale kustgedrag naar verwachting niet noemenswaardig beïnvloedt. Door verandering van het golfklimaat voor de



kust ter weerszijden van de geul wijzigt het patroon van langstransport enigszins, doch dit beïnvloedt het kustgedrag slechts marginaal t.o.v. de invloed van de havendammen.

De aanzanding van de geul lijkt bij verbredening en vooral verdieping toe te nemen.



figuur 10.1 Kustligging 2030 bij 60 cm zeespiegelrijzing in 100 jaar

### Winning zand uit de kustzone

De belangrijkste resultaten van dit onderdeel van de studie zijn, dat de directe beïnvloeding van de kustlijn door veranderingen van stroming en golven, marginaal is. Wel een belangrijk (indirect) effect is het kustwaarts verplaatsen van de zandwinkuil.

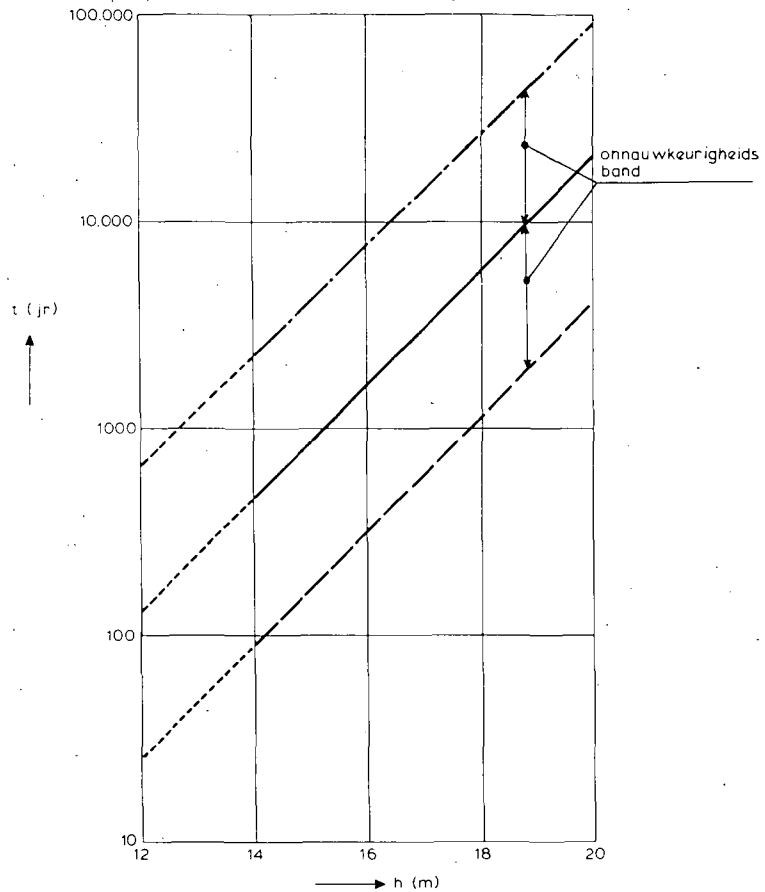
Als gevolg van het lokaal veranderen van het stroomklimaat, treedt landwaarts van de kuil zowel sedimentatie als erosie op. Voor de winning op de 10 m dieptelijn is dit effect belangrijker dan op dieper water. Ook het evenwijdig aan de kust verplaatsen van de zandwinkuilen blijkt geen belangrijk effect te zijn. Deze resultaten komen hoofdzakelijk voort uit een modelstudie. De verandering van stroom- en golfklimaat bij de kustlijn zijn bepaald met 2-dimensionale modellen (WAQUA, HISWA). De morfologische veranderingen zijn benaderd met een tweetal 1-dimensionale modellen, nl. in de richtingen evenwijdig aan en loodrecht op de kust. 2-Dimensionale modellen die morfologische veranderingen kunnen berekenen over perioden van tientallen jaren bestaan (nog) niet. De morfologische veranderingen in langsrichting van de kust, berekend met langstransportmodel LOMOR, blijken, afgezien van enige afvlakking van de kuilaluds, verwaarloosbaar te zijn. De morfologische veranderingen loodrecht op de kust, berekend met het dwarstransportmodel CROSTRAN, zijn eveneens klein; maar vertonen, met name voor de 16 en 20 m dieptelijn varianten een systematische verplaatsing van de kuilen in kustwaartse richting, orde 1 m/jaar. De kustwaarts gerichte voortplantingssnelheden zijn gebruikt om de invloed van de zandwinkuilen op de kust te berekenen.

Het tempo van de kustwaartse verplaatsing is niet zozeer afhankelijk van grootte, diepte of vorm van de zandwinkuil, maar wel in belangrijke mate van de afstand van de zandwinkuil tot de kustlijn. Bijvoorbeeld: de versturende invloed van een zandwinkuil op de 16 m dieptelijn bereikt in ongeveer 1000 jaar de actieve zône, zie figuur 10.2 De marge laat zien dat de onnauwkeurigheid rondom deze berekening vrij groot is. Voor de 16 m dieptelijn uit figuur 10.2 geldt dan een verplaatsingsduur van 500 - 10.000 jaar. Dergelijke voorspeltermijnen zijn uiteraard niet erg realistisch, maar geven wel een indruk van de tijdschalen die van belang zijn. De grote marges komen voornamelijk voort uit zowel de onnauwkeurigheid in de formules voor zandtransport als de formulering van de hydrodynamica bij de bodem.

Het uiteindelijke effect op de kustligging is uiteraard wel afhankelijk van het volume van de zandwinkuil: relatief grote onttrekkingen veroorzaken uiteindelijk een relatief grote kustachteruitgang. Zo zal voor een onttrekking van 10 miljoen m<sup>3</sup> de uiteindelijke achteruitgang enkele tientallen meters bedragen.

De wezenlijke effecten van zandwinkuilen op het kustgedrag zijn dus verplaatsing van de kuil met de invloedszô-

ne rond de kuil in de richting van de kust. Beide effecten zijn in tabel 10.2 voor de meest belangrijke varianten per locatie weergegeven.



**figuur 10.2 benodigde tijd voor bodemverstoringen om de actieve zône te bereiken**

Op basis van de modelberekeningen volgt dat voor Scheveningen en Bergen naar verwachting binnen 200 jaar geen risico's verbonden zijn aan zandwinning zeewaarts van de 16 m dieptelijn, m.u.v. een 5 m diepe winning op de 16 m dieptelijn bij de locatie Bergen. Van winning tussen de 10 en 16 m dieptelijnen kan binnen de beschouwde periode beïnvloeding van de kustlijnontwikkeling niet worden uitgesloten.

Bij de resultaten voor de locaties Texel en Ameland moeten enige kanttekeningen worden geplaatst. Het modelconcept van CROSTRAN kan hier niet zonder meer worden toegepast. Het transport van zand in langsrichting speelt hier vermoedelijk een dusdanig grote rol, dat de ontwikkeling van het dwarsprofiel en de daaraan gekoppelde kustlijn niet enkel met een dwarstransportbenadering kan worden beschreven. De resultaten van tabel 10.2 voor Texel en Ameland moeten dan ook beschouwd worden als zeer indicatief. Wegens gebrek aan kennis omtrent het

2-dimensionale transportpatroon, onder andere onder invloed van de nabij gelegen zeegaten, kan vooralsnog geen uitspraak voor de kust van de Waddeneilanden worden gedaan, omtrent de invloed van zandwinning. Gegevens omtrent veldwaarnemingen op het gebied van beïnvloeding van de kustlijn door zandwinning zijn schaars. Uit metingen aan een zandwinkuil bij Scheveningen op de 19 m dieptelijn wordt de indruk gewekt dat deze kuil nauwelijks van plaats verandert, wat in ieder geval niet in tegenspraak is met de conclusies van de uitgevoerde modelberekeningen.

Varianten (zie tabel 10.1)	invloedszône reikt tot actieve zône	Verplaatsing tot actieve zône
<b>Scheveningen</b>		
10.1 en 10.2	+	+
16.1 en 16.2	-	-
16.3 en 16.4	-	-
20.1 en 20.2	-	-
<b>Bergen</b>		
10.1 en 10.2	+	+
16.1 en 16.2	-	-
16.3 en 16.4	+	+/-
20.1 en 20.2	-	-
<b>Texel/Ameland</b>		
10.1 en 10.2	+	+
16.1 en 16.2	-	-
16.3 en 16.4	+	+/-
20.1 en 20.2	-	-

**Tabel 10.2: De effecten van de verschillende varianten van zandwinkuilen voor de vier kustlocaties; berekeningsperiode 200 jaar. (+ = wel effect; - = geen effect)**

Een studie aan de Atlantische kust - Golf van Biskaje - komt tot de aanbeveling zandwinning te doen plaatsvinden zeewaarts van de 20 m dieptelijn. Rekening houdend met het indicatieve karakter van de uitkomsten van deze studie sluit dit redelijk aan. Het levert echter geen materiaal op om de modelresultaten te toetsen. Relevante gegevens ter verificatie van de modelresultaten worden dan ook niet gemist.

Uit de studie van Technisch Rapport 14 kan geconcludeerd worden dat gesuppleerd zand vnl. in de actieve zône blijft en als zodanig de negatieve effecten van zandwinning enige tijd kan compenseren, uiteindelijk verdwijnt

het zand door overwegend langtransport naar aanliggende kustvakken.

Gezien de beperkingen van de gehanteerde modellen kunnen bovengenoemde resultaten nog niet leiden tot een verandering van het beleid t.a.v. de grens zeezandwinning. Immers omdat de werkelijke processen d.m.v. deels gevalideerde modellen zijn geschematiseerd zijn de resultaten louter kwalitatief. Een praktijkproef met aansluitend een intensief meetprogramma is hiertoe een essentiële voorwaarde. Overigens dient voor een definitieve beleidswijziging ook een brede belangenafweging plaats te vinden. Deze wordt uitgevoerd in het Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee dat in 1990 gereed zal zijn voor inspraak en besluitvorming.



# 11. STRAND- EN DUINSUPPLETIES

## Effectiviteit en kosten

### 11.1 Inleiding

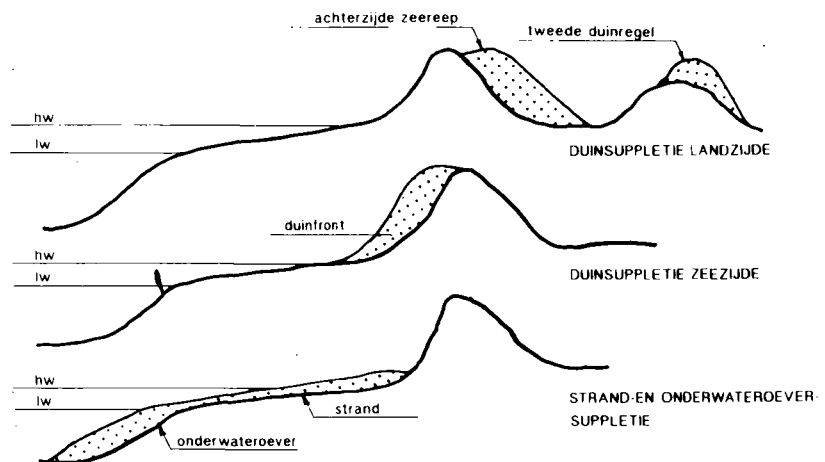
In Technisch Rapport 11 (TR 11) wordt een overzicht gegeven van de strand- en duinsuppleties, welke ter compensatie van kusterosie zijn uitgevoerd.

In 1988 is het "Handboek zandsuppleties" uitgegeven. Hierin is een schat van gegevens verzameld over het desbetreffende onderwerp.

Deze nota voorziet in een aanvulling op het handboek, met meer recente gegevens. Overlappending van dit rapport met het handboek is zoveel mogelijk vermeden.

Naast de aanvulling wordt ingegaan op de levensduur van suppleties en wordt een eerste aanzet gegeven om een puur economische afweging te maken tussen zandsuppleties, die nu een belangrijke maatregel bij kustverdediging zijn, en de bouw van strandhoofden, wat in het verleden een belangrijke maatregel geweest is.

Zandsuppleties, om opgetreden erosie te compenseren, kunnen op verschillende plaatsen in het dwarsprofiel plaatsvinden, figuur 11.1.



figuur 11.1 Plaats van suppletie in het dwarsprofiel

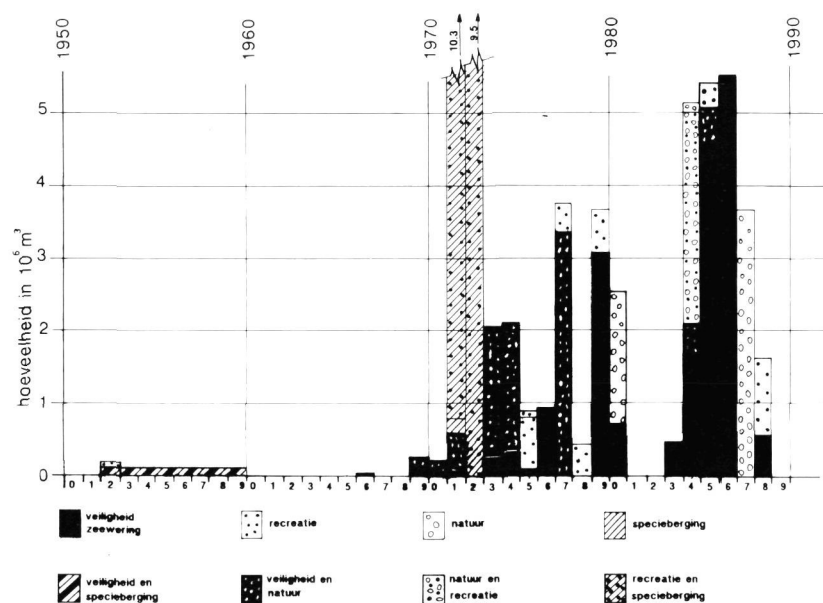
Zand wordt met zeer grote drijvende werktuigen relatief goedkoop, als zand-watermengsel, verplaatst. Een netto-verplaatsing van 200.000 tot 500.000 kubieke meter zand per werktuig, per werkweek is haalbaar. Naarmate het zand hoger en verder op de oever gebracht wordt, nemen de kosten toe.

Figuur 11.2 geeft een indruk van zo'n zandzuppletiebedrijf.



figuur 11.2 Zandsuppletie Westkapelle

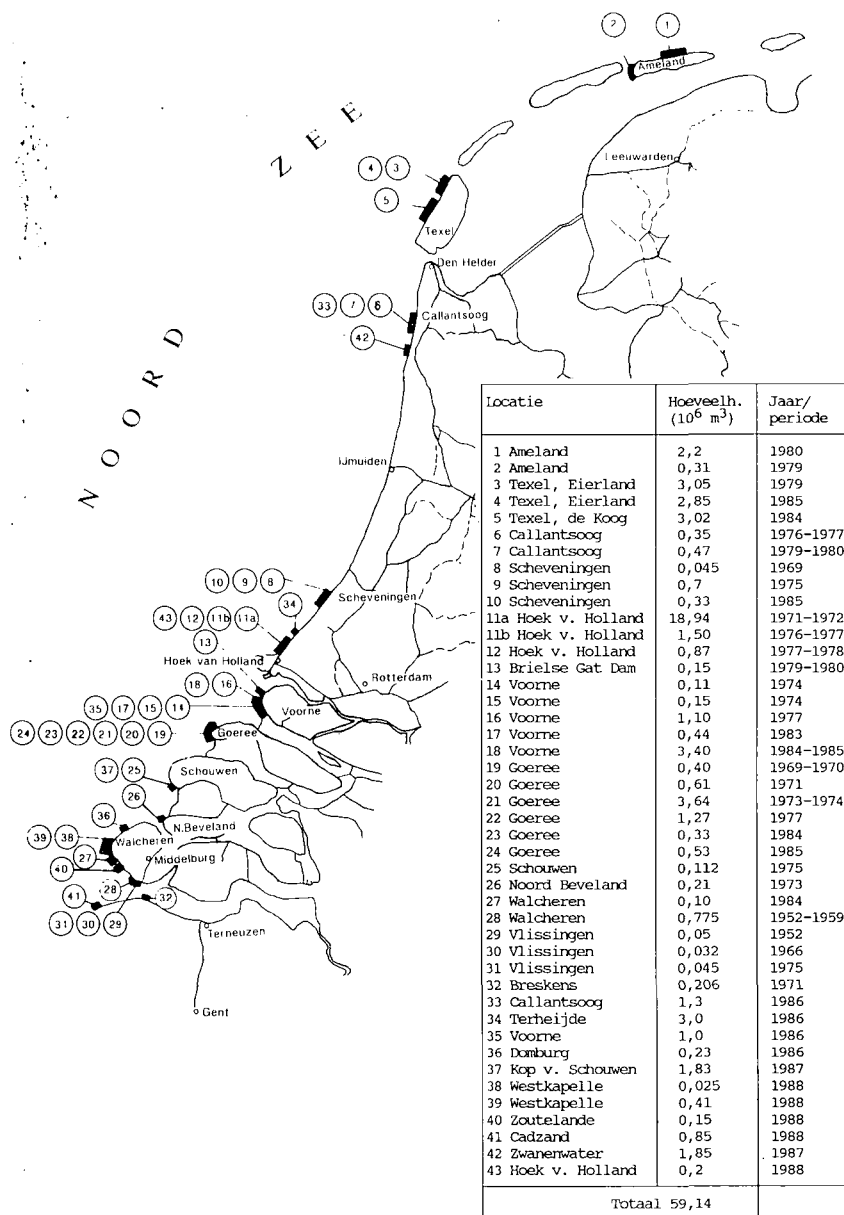
In figuur 11.3 is aangegeven hoeveel zand er in de afgelopen decennia als suppletie op de Nederlandse kust is aangebracht.



figuur 11.3 Hoeveelheid en doel van suppleties in Nederland  
 - Horizontaal: de tijd in jaartallen  
 - Vertikaal: de hoeveelheid in miljoenen m<sup>3</sup>  
 - Symbolen (raster): het doel van de suppletie

In tabel 11.1 wordt een overzicht gegeven van de in Nederland uitgevoerde zandsuppleties.





**Tabel 11.1 In Nederland uitgevoerde zandsuppleties**

Voldoen suppleties aan het doel, waarvoor ze uitgevoerd worden?

Dit doel is: compensatie van erosie. Dit geldt voor een beperkte ontwerpperiode, meestal variërend van 5 tot 10 jaar. Van een negental uitgevoerde, redelijk omvangrijke suppleties, zijn voldoende gegevens beschikbaar om een evaluatie uit te voeren.

In tabel 11.2 zijn de bevindingen weergegeven. De nummers van de suppleties zijn die uit tabel 11.1.

SUPPLETIE	JAAR	ONTWERP levensduur	VERWACHTING levensduur
1. Ameland	1980	10	1990 zal gehaald worden
3. Texel/ Eierland	1979	5	heeft precies voldaan
4. Texel/ Eierland	1985	5	is net niet gehaald. In '89 was de suppletie geheel verdwenen
5. Texel/ de Koog	1984	10	voldoet waarschijnlijk
9. Scheveningen	1975	n.v.t.	hier wordt naar (recreatie-) behoefte gesuppleerd.
16. Voorne	1977	5	heeft ruim voldaan
21. Goeree	1973	n.v.t.	heeft ruim voldaan
22. Goeree	1977	5	heeft ruim voldaan
27. West- kapelle	1984	5	heeft precies voldaan

**Tabel 11.2: Levensduur geëvalueerde zandsuppleties**

Uit deze evaluatie van uitgevoerde zandsuppleties kan geconcludeerd worden dat:

- van de 9 geëvalueerde suppleties er 5 inmiddels aan hun doelstelling, met betrekking tot de levensduur, hebben voldaan; er 3 naar alle waarschijnlijkheid hieraan zullen voldoen en dat er slechts één is, die hier net niet aan voldaan heeft (Texel/Eierland - 1985).
- het mogelijk gebleken is om - ook binnen de grillige natuurlijke omstandigheden aan de kust - strandsuppleties goed te dimensioneren; dat wil zeggen, de aan te brengen hoeveelheden zodanig te kunnen bepalen, dat de suppletie voldoet aan vooraf gestelde randvoorwaarden met betrekking tot de levensduur.
- de toepassing van strandsuppleties, als methode van kustverdediging, als effectief beschouwd mag worden. De optredende erosie kan met deze methode uitstekend worden gecompenseerd (tegen relatief geringe kosten).

## 11.2 Kosten

De kosten variëren sterk met de plaats van zandwinning

en de plaats van de suppletie. Naast de plaats van winning is de wijze van kostprijsberekening van belang. Er worden drie scenario's voor de bepaling van zandwinkosten onderscheiden;

- 1 huidige zandwingebieden, dicht bij de kust,
- 2 alternatieve zandwingebieden, gebaseerd op de nieuwste morfologische inzichten en
- 3 huidige zandwingebieden met hoge calculatiewaarde.

In tabel 11.3 is te zien, dat de prijs (inclusief toeslagen, B.T.W. enzovoorts) varieert van f 3,00 per kubieke meter, indien vlakbij zand gewonnen wordt (tussen de Waddeneilanden) tot f 10,70 per kubieke meter, als de bron van het zand voor de Hollandse kust (ongeveer 20 km. op zee of buiten de NAP - 20 m dieptelijn) ligt en een hoge calculatie waarde aangehouden wordt.

Scenario voor de bepaling van zandwinkosten	SUPPLETIEGEBIED		
	Wadden	Holl. kust	Delta
huidige zandwingebieden	3,00	9,30	4,80
alternatieve zandwingeb.	4,50	4,80	4,80
huidige zandwingebieden met hoge calculatie waarde	5,80	10,70	6,40

**Tabel 11.3: Zandprijzen suppleties in f per kubieke meter. (incl. toeslagen, BTW enz., op basis van kostprijsberekening).**

Indien een duinsuppletie achter de zeereep plaats vindt, worden de prijzen f 3,90 per m<sup>3</sup> hoger.

Er is bij de bepaling van de eenheidsprijzen geen rekening gehouden met het marktmechanisme van vraag en aanbod.

Momenteel, medio 1989, kunnen aannemingsprijzen aanzienlijk lager zijn.

De in de berekeningen t.b.v. de "discussienota Kustverdediging na 1990" gehanteerde eenheidsprijzen voor zand-suppleties zijn die van de "huidige zandwingebieden" uit tabel 11.3.

De bij deze drie scenario's voor de bepaling van zandwinkosten behorende zandwingebieden zijn weergegeven in tabel 11.4.

Scenario voor de bepaling van zandwinkosten	Wadden	Holl. kust	Delta
<b>ZANDWINGEBIEDEN</b>			
huidige zandwingebieden	geulen tussen de eilanden, incl. deel binnen- en buitendelta*	buiten 20 km uit de kust of buiten de NAP -20 m dieptelijlijn	voordelta, geulen en platen
alternatieve zandwingebieden	buiten de NAP -10 m dieptelijlijn	buiten de NAP -10 m dieptelijlijn	voordelta, geulen en platen
huidig zandwingebieden met hoge calculatiewaarde	geulen tussen de eilanden incl. deel binnen- en buitendelta*	buiten 20 km uit de kust of buiten de NAP -20 m dieptelijlijn	voordelta, geulen en platen

\*opmerking: recent is afgesproken geen suppletiezand meer in de Waddenzee te winnen

**Tabel 11.4: Zandwingebieden bij de drie scenario's voor de bepaling van zandwinkosten**

### 11.3 Strandhoofden en zandsuppleties

Op veel plaatsen langs de Nederlandse kust zijn strandhoofden gebouwd. Nu erosiebestrijding economisch en met succes d.m.v. zandsuppleties aangepakt wordt, rijst de vraag wat we met die strandhoofden aanmoeten. In het verlengde ligt de vraag of er economische redenen zijn om nieuwe strandhoofden te bouwen, al dan niet gecombineerd met zandsuppleties.

Omdat de effectiviteit van strandhoofden om erosie te verminderen nauwelijks gemeten kan worden, is een methodiek bedacht om een afweging te kunnen maken tussen suppleren en het toepassen van strandhoofden. De gedachte achter deze methodiek is in essentie: in hoeverre dient een strandhoofd de erosie te verminderen om economisch verantwoord te zijn?

Deze benadering is experimenteel en nog niet aan de praktijk getoetst. De uitkomsten zijn derhalve indicatief.

De antwoorden zijn echter voldoende interessant en richtinggevend, om ze te presenteren. Beschouwd worden kunstvakken welke (nog) niet zijn verdedigd met strandhoofden en kustvakken die dat wel zijn.

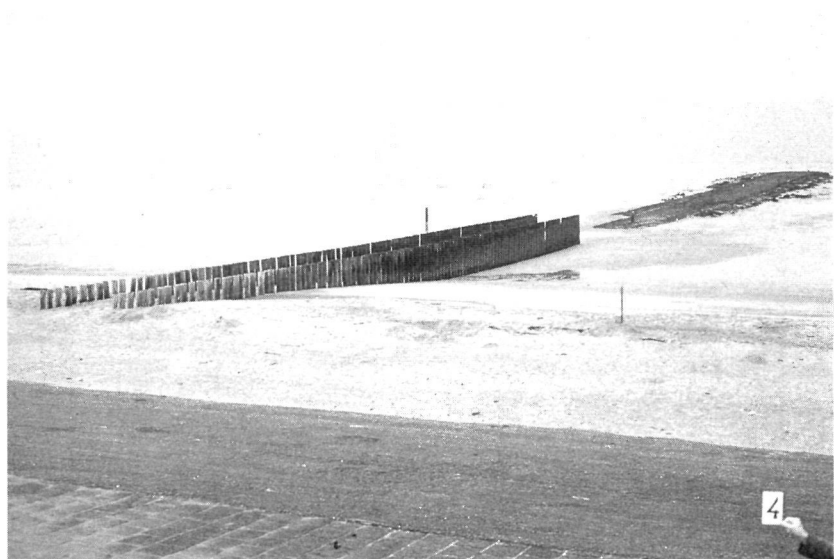
De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

#### Kust zonder strandhoofden

- \* Bij een kust zonder strandhoofden is de aanleg van strandhoofden alleen voor het remmen van erosie, op grond van kosten en werking in het algemeen niet gunstig.
- \* In het Deltagebied bij sterke kustachteruitgang, kan als volledig handhaven van de kust wordt nagestreefd, een combinatie van (nieuw aan te leggen) strandhoofden of paalschermen en zandsuppleties, op grond van totale kosten aantrekkelijk zijn.

#### Kust met strandhoofden

- \* Als bij een kust met bestaande strandhoofden of paalrijen wordt gestreefd naar enige vorm van erosiebeperking, moeten bestaande strandhoofden worden gehandhaafd.
- \* Als bij bestaande strandhoofden aanvullend wordt gesuppleerd, zijn de kosten van de verdediging per meter bestreden erosie relatief laag, vergeleken met suppleties zonder strandhoofden.



figuur 11.4 Strandhoofden met paalrijen



## 12. STRANDHOOFDEN EN PAALRIJEN

### Evaluatie werking

Langs de Nederlandse kust zijn in de loop der eeuwen een groot aantal strandhoofden en een kleiner aantal paalschermen gebouwd. Het doel van deze hoofden is het verminderen van de kusterosie. Hoofden zijn, naast de bouw van zeedijken, lange tijd het enige middel geweest om iets aan kustverdediging te doen. Veel hoofden zijn gepland en gebouwd op basis van ervaring en korte termijn evaluaties.

De theoretische concepten, die de laatste 20 jaar ontwikkeld zijn, hebben geen afdoende kwantitatieve beschrijving kunnen geven van de werking van strandhoofden op de lange termijn.

Door een analyse uit te voeren van de werking van de strandhoofden langs de Nederlandse kust, wordt in dit rapport getracht een uitspraak te doen over het nut van de bestaande hoofdenstelsels en over de vraag of het zinvol is nieuwe hoofdenstelsels te bouwen.

Geconstateerd wordt dat hoofden op twee verschillende manieren invloed kunnen hebben op het kustgedrag, nl. via een beïnvloeding van het door golven aangedreven brandingsstroomtransport en door een beïnvloeding van de aanval van de getijstroom op de kust. In dit laatste geval is de werking van een strandhoofd te vergelijken met die van een rivierkrib.

Uit de analyse is gebleken dat op die plaatsen waar strandhoofden de getijstroom van de kust afhouden (dus als krib werken), zij over het algemeen goed tot zeer goed functioneren. Dit zijn vrij kostbare hoofden, omdat door de stroming contractiekuilen voor de koppen van de hoofden ontstaan, die op hun beurt weer een zware kopbestorting van het hoofd vereisen. Het handhaven van deze hoofden is noodzakelijk. Afbreken zal automatisch tot kusterosie gaan leiden.

Op plaatsen waar strandhoofden als brandingstroom remmers werken, is hun werking minder goed. In die gevallen waar de resulterende brandingsstroom klein is (t.g.v. golfval uit vele verschillende richtingen) blijken strandhoofden nauwelijks te functioneren in het tegengaan van doorgaande erosie. De indruk bestaat dat door de bouw van deze hoofden het strand en de onderwateroever iets steiler is gaan staan. Afbraak van deze hoofden leidt wellicht tot verflauwing van de kust, en dientengevolge tot tijdelijke erosie. Bij de meeste kustvakken waar dit soort hoofden

liggen is een dergelijke tijdelijke erosie niet toelaatbaar; afbraak van hoofden mag dus alleen plaatsvinden na een zeer gedegen studie over de morfologische gevolgen van het verwijderen van de hoofden.

In die gevallen waar duidelijk wel een overheersende golf-richting is, blijken strandhoofden de doorgaande erosie (met name boven de laagwaterlijn) te verminderen. Dit leidt wel altijd tot grote lijerosie, die bestreden moet worden door de bouw van nog meer hoofden. In deze gevallen is het doel wel min of meer bereikt, de kosten zijn echter zeer hoog, door de noodzaak om "lijerosiehoofden" te bouwen. Afbraak van deze hoofden moet afgeraden worden, omdat de kust zich inmiddels aan de nieuwe situatie aangepast heeft (is een stuk steiler geworden). Hierdoor zal afbraak altijd leiden tot versterkte erosie.

Nieuwbouw van hoofden zal zelden overwogen moeten worden. Nieuwbouw kan overwogen worden bij kustvakken met een sterke aanval door de getijstroom. De kustvakken waar een dergelijke aanval is, zijn echter overal al met hoofden verdedigd.

In geval van brandingsstroom kan de bouw van strandhoofden alleen overwogen worden in die gevallen waar een duidelijk overheersende golf-richting is. Het ligt echter in de rede dat voor die gevallen het alternatief (uitvoeren periodieke zandsuppletie) een goedkopere oplossing is. Indien er geen overheersende golf-richting is, moet de bouw van strandhoofden worden afgeraden.

Een algemeen bezwaar van strandhoofden is, dat niet ingespeeld kan worden op de dynamiek van het kustgebied, zoals bijv. de voorbijtrekkende zandgolven.

De effectiviteit van paalschermen is zeer minimaal gebleken. Slechts in die gevallen waar een overheersende golf-richting is, blijken zij in staat te zijn om de gevolgen van lijerosie te beïnvloeden. De inscharing achter een harde verdediging wordt door het aanbrengen van paalschermen minder diep, maar zal zich over een grotere lengte uitstrekken. Aanleg van nieuwe paalschermen en instandhouding van bestaande schermen moeten derhalve met de nodige terughoudendheid beschouwd worden.

Nader onderzoek naar het functioneren van strandhoofden als zodanig is niet zinvol. Wel is het nodig kennis te verwerven t.a.v. het gedrag van hoofden in relatie tot suppleties. De verwachting is dat de levensduur van suppleties verlengd kan worden, met name op steile stranden, door de aanwezigheid van strandhoofden. Kwantitatieve



inzichten hierover ontbreken nog, en kunnen door gericht onderzoek verworven worden.



## 13. GROTE CIVIELE WERKEN

### Invoed op kustgedrag

De grote civiele werken langs de Nederlandse kust zijn onder te verdelen in een viertal categorieën, deze worden per categorie in dit rapport besproken.

Ten aanzien van de havendammen van IJmuiden, Scheveningen en Hoek van Holland kan geconstateerd worden dat deze het brandingsstroomtransport "lokaal" beïnvloeden. "Lokaal" is in dit verband aan weerszijden ruim vijf maal de lengte van de havendammen. Hierdoor treedt er direct naast de havendammen aanzanding op, en enkele kilometers verderop enige extra erosie. De erosiepunten schuiven langzaam van de havendammen weg, de mate van de erosie neemt daarbij af. De maximaal waargenomen erosie is 10% van de lengte van de havendam, in sommige gevallen minder. Deze invloed is met name waarneembaar bij IJmuiden, in veel mindere mate bij Scheveningen en Hoek van Holland. Invloed op de langjarige kusterosie van grote kustvakken is niet aantoonbaar.

Ten aanzien van zeedijken en boulevards wordt geconstateerd dat zij slechts een zeer beperkte invloed hebben op het grootschalige kustgedrag. Wel is er invloed op de morfologie van het kustgebied voor de zeedijk, met name op de ligging van getijgeulen. Bij zeedijken die opdringende getijgeulen tegen houden, treedt aan de teen van de dijk aanzienlijke verdieping op. Dit maakt bestortingswerken noodzakelijk.

Bij de Pettemer en Hondsbossche Zeewering wordt geconstateerd dat de doorgaande kusterosie aan weerszijden van de dijk nauwelijks beïnvloed wordt. Deze erosie gaat in het normale tempo door, waardoor de dijk momenteel als een bolwerk in zee ligt. Bij de Westkappelse Zeedijk wordt geconstateerd dat door de beteugelingswerken aan weerszijden de getijgeul goed gefixeerd is. Wel treedt aan beide zijden lijerose op het strand op. Dit is het gevolg van de golfval, die hier hoofdzakelijk uit een enkele richting komt. Met name aan de zuidzijde van de Westkappelse Zeedijk is daardoor bij voortdurende suppletie nodig (of een compleet vastleggen van de kust door de dijk naar het zuiden uit te bouwen). Voor de duinvoetverdediging van Zoutelande geldt hetzelfde. Dit verschijnsel is in mindere mate ook waarneembaar bij de Helderse Zeewering en nauwelijks nog bij het Bolwerk Eijerland op Texel. Bij het in Zeeuws-Vlaanderen aanwezige stelsel van dijken en duinen blijkt dat de dijken hier als bolwerken optre-

den, en samen met de aanwezige strandhoofden de getijgeulen uit de kust houden. Doordat de harde bekleding duinafslag onmogelijk maakt, is het kustprofiel hier vrij steil gaan staan. Dit heeft geresulteerd in steile, smalle (en daardoor moeilijk te suppleren) stranden.

Bij de boulevards van Scheveningen, Noordwijk en Katwijk is geen invloed op het kustgedrag waarneembaar.

Ten aanzien van de Deltawerken moet geconstateerd worden dat deze een zeer grote invloed hebben op de morfologie van de voordelta, doch dat de invloed op de kust zelf tot op heden nog vrij marginaal is. Een enkele oprukkende getijgeul is afgedamd, en veroorzaakt daardoor geen erosie meer (invloed Brouwershavense Gat op het Noorderstrand Schouwen).

De bouw van de Slufter en het ontstaan van de Hinderplaat in de mond van het Haringvliet hebben een grote invloed op de veiligheid van de kust van Voorne. Zij hebben bovendien de erosie van dit kustvak volledig gestopt. De invloed van de andere wijzigingen in de voordelta (het ontstaan van banken in het Brouwershavense Gat en voor de Oosterschelde) heeft nog geen aantoonbare invloed. Wel is er over enige decennia invloed te verwachten, maar dat valt buiten het gezichtsveld van deze nota.

Andere zaken die invloed hebben op de kust zijn veranderingen in het kombergingsgebied van de zeegaten en de winning van gas en aardolie. Het blijkt niet aantoonbaar te zijn de veranderingen in het kombergingsgebied direct te relateren aan de erosiesnelheid en de kustligging. Afsluiting van de Zuiderzee en de Lauwerszee hebben wel aantoonbare invloed op de zeegaten en de diepten in het bekken, maar een relatie met de kustligging is niet gevonden. Bodemdaling t.g.v. gas- en aardoliewinning hebben wel een directe invloed op de kust. Voor Ameland zijn hiervoor door het Waterloopkundig Laboratorium enige berekeningen gemaakt, welke aanzienlijke kusterosie voorspellen t.g.v. de bodemdaling. Een relatie tussen deze berekeningen en de waargenomen kustligging is nog niet mogelijk vanwege de te korte waarnemingsreeks na aanvang van de gaswinning.

Samenvattend moet geconcludeerd worden dat zeer grootschalige werken grote invloeden hebben op de kust, maar dat de bijbehorende tijdschaal ook zeer groot is. De voorspelbaarheid van deze invloeden is daardoor klein. Dit geldt met name voor de voorspelling van het tijdstip waarop een bepaalde verandering effecten heeft. De invloeden van havendammen is voor periodes van en-

kele decennia momenteel goed voorspelbaar, de invloed van deze werken op het langjarige erosieproces is echter nog onduidelijk.

De invloed van zeedijken is op naastgelegen kustvakken beperkt, en over het algemeen goed voorspelbaar. Door aanleg van zeedijken en andere harde verdedigingen treedt bij eroderende kustvakken extra verdieping op direct voor deze verdediging.



## **14. ONDERWATEROEVER-SUPPLETIES**

### **Een alternatieve kustverdedigingsmethode?**

#### **14.1 Inleiding**

De laatste decennia heeft in Nederland een belangrijke verschuiving plaatsgevonden in de aanpak van kusterosieproblemen. Waar men vroeger gewend was met harde constructies, zoals strandhoofden, strandmuren, dijken en duinvoetverdedigingen de problemen te bestrijden of althans te vertragen, gaat men tegenwoordig steeds meer over tot "zachte", flexibele verdedigingsmethoden, zoals strand- en duinsuppleties. Enerzijds is dit te danken aan de ontwikkeling van een baggertechnologie, waardoor deze methoden haalbaar zijn geworden; anderzijds heeft ook een verandering van de onderhoudsfilosofie tot deze ontwikkeling geleid.

De eerstgenoemde methoden zijn passief; ze vertragen of verplaatsen slechts het probleem. Bij de laatste methoden wordt actief ingegrepen in het kuststelsel. Onderkend wordt, dat de oorzaak van de kusterosie ligt in een geleidelijk verlies van zand uit de kustzone; dit verlies wordt gecompenseerd door een kustvak op gezette tijden aan te vullen. Deze methode is flexibel en hoeft niet tot een verlies aan waardevolle functies in het kustgebied te leiden. Door uitvoerings-technische problemen is de prijs per kubieke meter echter nog aan de hoge kant. Meer recentelijk is het begrip gegroeid, dat de onderwateroever een belangrijke rol vervult in het kuststelsel, en dat voortgaande erosie ervan, met enige vertraging, tot kusterosie en verhoogde duinafslag kan leiden. Andersom geldt ook, dat een aangroeiende onderwateroever tot een gunstiger kustgedrag aanleiding geeft. Het is dan ook zinvol, te bezien of kunstmatige voeding van de onderwateroever door onderwateroeversuppleties een (gedeeltelijk) alternatief voor strandsuppleties kan inhouden.

Het is aannemelijk, dat het rendement van onderwateroeversuppleties, uitgedrukt in zandhoeveelheden, door grotere verliezen naar dieper water geringer zal zijn dan dat van strandsuppleties. Doordat de uitvoering veel eenvoudiger is, is het echter goed mogelijk dat de totale onderhoudskosten bij toepassing van onderwateroeversuppleties lager liggen dan bij strandsuppleties.

Om deze afweging te kunnen maken, is in deze studie de effectiviteit van verschillende vormen van onderwateroeversuppleties onderzocht in termen van zandhoeveelhe-

den; de kostenafweging valt buiten het kader van de opdracht.

In het buitenland zijn in het verleden enige experimenten uitgevoerd met suppleties op de onderwateroever. In het algemeen vonden deze plaats op betrekkelijk diep water. De ervaringen zijn niet erg gunstig; in deze studie is de aandacht dan ook voornamelijk gericht op suppleties in de zogenaamde "aktieve zône", ruwweg tussen de waterlijn en de 8m dieptelijn.

## 14.2 Doel van de studie

Doel van de studie is, te onderzoeken wat de invloed is van onderwateroever-suppleties op het kustgedrag. Hierbij zijn de volgende variabelen beschouwd, die gerelateerd zijn aan de wijze van uitvoering, de hydrodynamische condities en de positie langs de kust:

- diepte van aanleg;
- volume van de suppletie;
- gelijktijdige zandwinning lager in hetzelfde profiel;
- zeespiegelstijging;
- profielvorm

Het onderzoeksgebied beperkt zich tot de Hollandse zandige kust.

## 14.3 Aanpak

Op grond van kennis van het kuststelsel, ondermeer opgedaan in het de onderbouwende studie kustvoorspelling (TR-5) voor de Nota Kustverdediging, is besloten voornamelijk de effecten op de ontwikkeling van het dwarsprofiel te beschouwen; hiermee wordt verondersteld, dat de beschouwde suppleties zich over tenminste enige kilometers uitstrekken. Voor de analyse wordt gebruik gemaakt van het dwarstransportmodel CROSTRAN, dat in een eerdere studie door het Waterloopkundig Laboratorium is ontwikkeld en geïnterpreteerd met behulp van Deltagootproeven.

Uit deze proeven op grote schaal is gebleken, dat een aantal dwars op de kust werkende transportprocessen redelijk kunnen worden gemodelleerd. In eerste instantie is in deze studie onderzocht, in hoeverre dit model een beschrijving kan geven van de belangrijke karakteristieken van de autonome kustontwikkeling. Na deze toetsing is aan de hand van een aantal simulaties met het model het effect van suppleties als functie van de bovengenoemde variabelen onderzocht. De resultaten van deze simulaties



zijn in een aantal grafieken samengevat, aan de hand waarvan suppleties ontworpen kunnen worden.

#### **14.4 Toetsing model**

In de genoemde Deltagootproeven zijn enige belangrijke dwarstransportprocessen afzonderlijk onderzocht om de wiskundige modellering ervan te toetsen. Hiervoor zijn omstandigheden gecreëerd, waarbij telkens één van de processen overheersend was. In werkelijkheid treden deze processen tegelijk op, en heeft in plaats en tijd nu het ene, dan het andere proces de overhand. Hierdoor ontstaat een systeem, dat sterk kan fluctueren, maar dat over langere tijd gemiddeld bijna in evenwicht is. Om nu te bezien, of het ontwikkelde model ook onder deze omstandigheden nog zinnige uitkomsten biedt, is een toetsing aan natuurlijke ontwikkelingen uitgevoerd.

Een gedetailleerde ijking van het model is met de beschikbare prototype-gegevens niet mogelijk; wel kan worden bezien in hoeverre een aantal karakteristieken van de autonome kustontwikkeling kunnen worden weergegeven.

Deze karakteristieken zijn onder andere:

- verschillen in de verplaatsingssnelheid van de kustlijn ten gevolge van verschillen in uitgangsprofiel;
- globale profielvorm;
- optreden van een "dynamisch evenwicht";
- voorkomen van brandingsruggen;
- gedrag van brandingsruggen;

Deze karakteristieken blijken in een aantal gevallen redelijk te kunnen worden gesimuleerd door het model, zoals blijkt uit berekende profielontwikkelingen bij Egmond aan Zee, Delfland en Noordwijk.

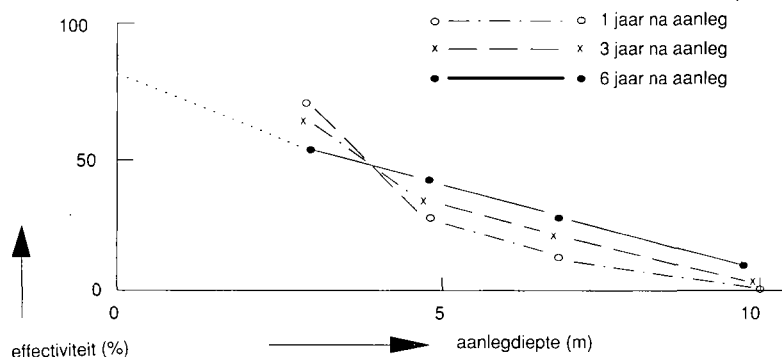
#### **14.5 Simulaties onderwateroeversuppleties**

De simulaties zijn als volgt uitgevoerd: er is een inspeeltijd van twee jaar gehanteerd om initiële aanpassingen van het profiel, die altijd optreden door onnauwkeurigheden in model en randvoorwaarden, te laten uitwerken. Hierna is telkens een ingreep gepleegd in het profiel en is tot ca. tien jaar doorgerekend. De verschillen tussen de ontwikkeling met en zonder ingreep bepalen het effect van de ingreep; door te kuberen over bepaalde strookbreedten of door de kortdurende fluctuaties af te filteren worden de significante verschillen duidelijk gemaakt.

De effectiviteit van een suppletie voor een bepaalde

strook wordt in deze studie gedefinieerd als de volumetoe-  
name per m kustlengte van die strook t.o.v. de autonome  
ontwikkeling, uitgedrukt als percentage van het aange-  
brachte volume per m kustlengte.

Deze effectiviteit blijkt voornamelijk te worden bepaald  
door de aanlegdiepte. In figuur 14.1 is dit verband weerge-  
geven; langtransporteffecten zijn hierbij buiten beschou-  
wing gelaten. Ook bij strandsuppleties is de effectiviteit  
niet 100%; dit is in de figuur schematisch aangegeven.



**figuur 14.1 Effectiviteit van suppleties voor zone tot 200 m uit de NAP-lijn als functie van de aanlegdiepte**

## 14.6 Langtransport-effecten

Om het effect van het verwaarlozen van het langtransport te schatten zijn enige principe-berekeningen uitgevoerd met een één-lijn model. Hieruit blijkt, dat door langtransport een herverdeling van zand langs de kust kan optreden; relatief is het effect geringer naarmate de suppletie langer is. Bij suppleties in de actieve zône profiteren aangrenzende kustvakken van verliezen door langtransport in het suppletievak. Bij suppleties buiten de actieve zône kan tombolo-vorming optreden, hetgeen tot aangroei in het suppletievak leidt, doch tot erosie in de aangrenzende vakken.

## 14.7 Conclusies

Uit de simulaties kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- hoe dichterbij de kust wordt aangebracht, des te sneller is het effect merkbaar;
- hoe dichterbij de kust wordt aangebracht, des groter is het effect;
- het suppletievolume heeft weinig invloed op de effectiviteit;

- zandwinning op -10 m heeft geen invloed op het suppletiegedrag binnen de beschouwde periode; de invloed op langere termijn valt buiten het kader van deze studie;
- de effectiviteit, zoals die in deze studie is gedefinieerd, is bij versnelde zeespiegelstijging even groot;
- de effectiviteit van suppleties voor de strook tot 200 m uit de kust bedraagt na ca. 5 jaar ongeveer:

Diepte t.o.v. NAP (m)	Effectiviteit (%)
3	55
5	40
7	25
10	< 5

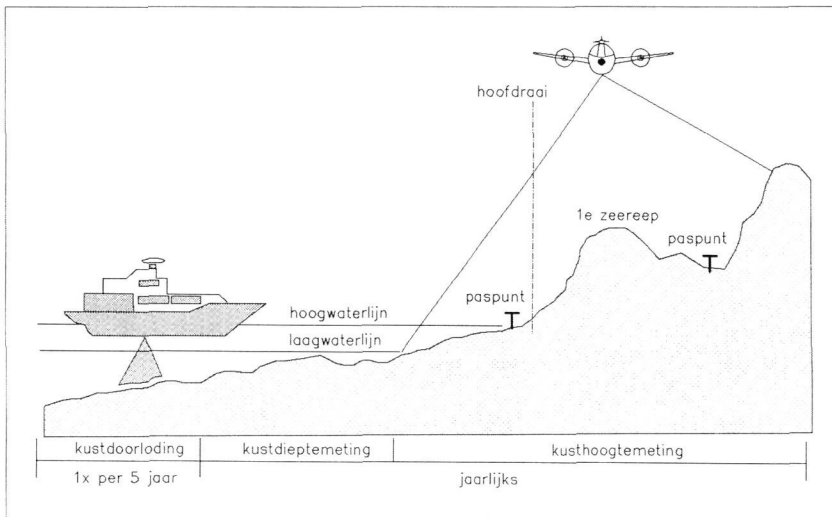
**Tabel 14.1: Effectiviteit van suppleties voor de strook tot 200 m uit de NAP-lijn na ca. 5 jaar, als functie van de aanlegdiepte.**

Algemeen kan worden geconcludeerd, dat suppleren in de zone tot ca. NAP -7 m het kustgedrag gunstig beïnvloedt.

Bij suppleties in deze zone kunnen verliezen in langsrichting optreden. Relatief wordt dit effect geringer, naarmate de suppleties langer zijn.

De negatieve conclusies t.a.v. suppleties op dieper water worden bevestigd door de literatuur omtrent eerdere ervaringen in het buitenland.

De levensduur van een suppletie wordt bepaald door enerzijds de grootte en de effectiviteit van die suppletie, en anderzijds door de mate van autonome kustachteruitgang. Voor het schatten van de levensduur is een eenvoudige berekeningsmethode afgeleid.



# 15. MONITORING KUSTGEDRAG

## Huidige situatie

### 15.1 Doel van de studie

In 1990 is ons land op zgn. delta-veilig niveau gebracht. Deze veiligheid zal echter onder druk komen te staan door de huidige morfologische ontwikkelingen van onze kust, waarbij zeespiegelrijzing een belangrijke rol speelt. Om het verkregen veiligheidsniveau te kunnen handhaven en het kustgedrag beter te leren begrijpen en te voorspellen, is het noodzakelijk ons kuststelsel en de factoren die hem beïnvloeden nauwlettend in de gaten te houden.

Doel van deze studie is na te gaan hoe we dat in het licht van de huidige kennis het beste kunnen doen. Het huidige meetprogramma wordt daartoe beschreven en geëvalueerd. Waar nodig worden aanpassingen voorgesteld. Tevens wordt een blik op de verdere toekomst geworpen in het hoofdstuk over remote sensing technieken.

### 15.2 Wat is monitoren

Onder het monitoren van het kuststelsel wordt verstaan het regelmatig en routinematig waarnemen van karakteristieke kenmerken van het kuststelsel, noodzakelijk voor integraal kustbeheer en -beleid en operationeel beheer.

Het doel kan tweemaal zijn:

- het vastleggen en volgen van de toestand en controleren of niet een bepaalde kritieke toestand wordt overschreden;
- het verkrijgen van lange meetreeksen voor statistische analyse en het signaleren van eventuele trendbreuken.

### 15.3 Parameters en gebied

In dit rapport wordt alleen gekeken naar de veiligheid tegen overstroming en het gedrag van de kust. De volgende fysische grootheden spelen daarbij een rol: waterstanden, golven, de bodemligging, de bodemsamenstelling, stroomsnelheden, watertemperatuur en wind.

Dit rapport betreft met name de zandige Noordzeekust. Gezien echter het belang van de Waddenzee en de estuaria voor het gedrag van de Noordzeekust, wordt ook aan deze gebieden aandacht besteed.

## 15.4 De waterstand

Voor het vastleggen van de waterstaatkundige toestand van het land is een landelijk net van peilmeetstations opgezet: het Landelijk Waterstandsmeetnet (LWM). Het LWM heeft als doel zowel het leveren van actuele waterstandsinformatie (Stormvloedwaarschuwingsdienst (SVSD), bediening kunstwerken) als de opbouw van veeljarige bestanden (overschrijdingsfrequenties van waterstanden, zeespiegelrijzing, getij-analyse). De locaties voor de verschillende meetpunten worden deels bepaald door eisen t.a.v. operationeel gebruik en door voor de waterhuishouding belangrijke punten. De dichtheid van het meetnet is verder zodanig bepaald, dat de waterstand van elk station berekend kan worden uit die van de omringende stations, zodanig dat de berekende waarde niet onnauwkeuriger is dan de gemeten waarde.

Verder bestaan er een drietal regionale meetnetten: ZEGE (Zeeuwse Getijdewateren), Meetnet Noordzee en Meetnet Groningen. Deze meetnetten zijn primair gericht op actuele informatie t.b.v. het regionale beheer.

Het optreden van al dan niet versnelde zeespiegelrijzing heeft grote invloed op het kustgedrag. Het tijdig signaleren van een eventuele trendbreuk is van groot belang. De gemiddelde hoogwaterstand blijkt sneller te rijzen dan de gemiddelde zeestand. Een afdoende verklaring daarvoor is nog niet te geven. Er bestaat daarom behoefte aan nauwkeurige waterstandsgegevens van één of meer peilmeetstations op zee, ver genoeg van de kust om los van antropogene invloeden te zijn. Voorgesteld wordt de stations LEG (Lichteiland Goeree) en Meetpost Noordwijk daartoe geschikt te maken.

Bui-oscillaties en buistoten zijn periodieke respectievelijk éénmalige waterstandsfluctuaties met perioden variërend van enkele minuten tot een paar uur, en beide veroorzaakt door weersverschijnselen. In afgesloten (haven)bekkens kunnen ze opslingeren. Men spreekt dan wel van seiches. Bij het dimensioneren van de waterkeringen dient met deze fluctuaties rekening te worden gehouden. Er bestaat behoefte aan meer gegevens over de frequenties van voorkomen van deze verschijnselen en de grootte der amplitudes en perioden.

## 15.5 Golven

Voor de bestudering en voorspelling van het kustgedrag en voor het ontwerpen van waterbouwkundige construc-

ties is goede kennis van het golfklimaat, inclusief de golf-richting, van groot belang. Met behulp van de Wavec-boeien is het thans mogelijk golfrichtingen te meten. Het MSG (Monitoring Systeem Golven) voorziet in de behoefte aan golfinformatie op diep water. Voor de vertaling van het golfklimaat op de meetlocaties, ongeveer op de NAP-20 m lijn, naar de kust toe wordt gebruik gemaakt van modellen.

In internationaal verband loopt het zgn. NESS-project, dat voor de Noordzee een golfklimaat berekent m.b.v. een golfmodel, gebaseerd op windvelden en getoetst aan golfmetingen van de laatste 25 jaar. De golfklimaten uit het Ness-project dienen getoetst te worden aan gemeten golf-richtingsklimaten.

De huidige methoden voor inwinnen en verwerken van golfgegevens geven geen informatie over laagperiodieke golfcomponenten met perioden langer dan een halve minuut. Het hele gebied van de waterstands-fluctuaties met perioden tussen een halve minuut en een uur wordt thans niet bestreken (zie ook bui-oscillaties). Gezien het belang van deze laagfrequente golven is onderzoek gewenst naar de noodzaak en de mogelijkheden van routinematige inwinning van gegevens hiervan.

## 15.6 De bodemligging

Binnen de context van deze nota vallen de volgende huidige metingen:

- de jaarlijkse kustlodingen, dieptemetingen langs raaien loodrecht op de kust tot 800 m zeewaarts van de rijksstrandpalenlijn (RSP), met een onderlinge raai-afstand van 200 - 250 m.
- de jaarlijkse kusthoogtemetingen, hoogtemetingen van strand en duin tot 200 m landwaarts van de RSP-lijn, thans verricht d.m.v. fotovluchten; voor dezelfde raaien als de dieptemetingen.
- de kustdoorlodingen, het tot grotere diepte meten van raaien van de jaarlijkse lodingen met een raai-afstand van 1000 m, reikende 2500 tot 3000 m zeewaarts van de RSP-lijn.
- de vaklodingen tot grofweg de NAP - 20 m lijn.
- overige lodingen t.b.v. de veiligheid (zeekeringen, kust- en oeverkaarten).

De onder de eerste drie aandachtstreepjes genoemde metingen zijn opgenomen in het zgn. JARKUS-bestand (JAaRlijkse KUSmetingen).

Als doelen waarvoor bovengenoemde metingen worden verricht kunnen worden genoemd:

- het vastleggen van de "infrastructuur" van het Nederlandse kustgebied (waterstaatkundige toestand);
- voorspelling van de kustligging op lange en korte termijn;
- opstellen van zandbalansen;
- beheersvragen, bijv. t.a.v. veiligheid (duinafslagberekeningen), bebouwingsgrenzen, schadeclaims;
- verkrijgen van morfologische proceskennis, zoals het gedrag van zandgolven langs de kust en de gevolgen voor de bodemligging van de zeespiegelrijzing.
- evaluatie van menselijke ingrepen in het kuststelsel, bv. zandsuppleties, zandwinning, kustverdedigingswerken, havens, etc.

De jaarlijkse kustlodingen worden voor praktisch alle doeleinden gebruikt en voorzien dus duidelijk in een behoefte. Vooralsnog dienen daarom de jaarlijkse diepte- en hoogtemetingen qua frequentie en raai-afstand onverminderd te worden voortgezet, zeker voor die kustvakken waar "iets mee aan de hand" is (erosie, aanwezigheid constructies, bebouwing, geulen onder de kust). Ook vanuit de beheerderskant wordt hier sterk op aangedrongen. Thans wordt onderzocht in hoeverre de meetinspanning kan worden gereduceerd zonder verlies aan informatie.

In enkele gevallen zal het nodig zijn vaker dan 1 maal per jaar te meten, bijvoorbeeld bij opdringende geulen. Hiervoor zijn geen algemene regels te geven. Zij worden in voorkomende gevallen door de beheerder uitgevoerd (lodingen t.b.v. zeekeringen).

De jaarlijkse kustlodingen dienen tenminste de zone van de brandingsruggen te omvatten. De raaien dienen daarom tenminste de huidige lengte te hebben en waar nodig te worden verlengd tot even voorbij de brandingsruggen. In het duin is de ruimtelijke resolutie van de JARKUS-raaien te gering voor de veiligheidsbeoordeling van duinen als waterkering. Dat kan alleen in samenhang met goede kaarten die tenminste 1 maal per 5 jaar moeten worden herzien (kust- en oeverkaarten) en met visuele schouw. Om een sluitende zandbalans te kunnen maken dienen de doorlodingen voorbij de NAP - 10 m lijn te reiken. Zij dienen voorlopig om de 3 jaar te worden uitgevoerd met een raai-afstand van 1 km. In het Deltagebied kunnen ze vervallen.

Volgens de huidige inzichten t.a.v. de grootschalige morfologische processen kunnen voor de schone kust van Holland de vaklodingen uit oogpunt van veiligheid en kustge-



drag vervallen en kan volstaan worden met het meten van raaien loodrecht op de kust tot voorbij de teen van de onderwateroever. De afstand van de teen tot de kust varieert hier van 2,3 tot 8,5 km. Een raai-afstand van 1 km is daarbij voldoende. Ook de frequentie van 1 maal per 3 jaar dient voor dit gebied voorlopig te worden aangehouden. Dit komt er op neer dat de doorlodingen worden uitgebreid tot voorbij de teen van de onderwateroever.

In het Waddengebied zijn de vaklodingen wel van groot belang, gezien de gecompliceerdheid van de bodemtopografie. Voor de Noordzeezijde van de middens van de eilanden, waar de dieptelijnen ongeveer evenwijdig aan de kust lopen, kan overeenkomstig de schone kust van Holland worden volstaan met de uitgebreide doorlodingen. Voor de buitendelta's van de zeegaten zijn doorlodingen volgens raaien van de jaarlijkse kustlodingen niet zinvol en dienen de vaklodingen te worden uitgevoerd. Zij hoeven ook niet verder te reiken dan tot voorbij de teen van de onderwateroever. De gewenste raai-afstand bedraagt 200 m, omdat daarmee kleinere geulen nog redelijk in beeld kunnen worden gebracht. De opnamefrequentie wordt analoog aan die van de schone kust gesteld op 1 maal per 3 jaar. De veranderingen in de Waddenzee vinden veel geleidelijker plaats. Een opnamefrequentie van 1 maal per 6 jaar wordt voldoende geacht. De gewenste raai-afstand bedraagt 200 m. Voor zeer vlakke gebieden kan deze worden verdubbeld tot 400 m.

In het Deltagebied vinden grote veranderingen plaats door de uitgevoerde werken. Vaklodingen zijn hier voor het hele gebied nodig tot voorbij de teen van de onderwateroever. De opnamefrequentie wordt voor een groot deel bepaald door de behoefte van de scheepvaart (vaargeulen). Thans worden frequenties van 1 maal per jaar en per 2 jaar gehanteerd. De gewenste raai-afstand wordt vanuit morfologisch oogpunt gezien gesteld op 200 m.

## **15.7 Overige parameters**

De benodigde gegevens van de bodemsamenstelling kunnen worden verkregen via projectmetingen en uit geologische kartering. Monitoren van stroomsnelheden wordt uit het oogpunt van veiligheid en kustgedrag niet nodig geacht. De invloed van de watertemperatuur op morfologische processen is verwaarloosbaar t.o.v. andere onzekerheden. De wind is van groot belang voor waterstanden en golven. Het monitoren van de wind wordt door het KNMI gedaan. Het monitoren van waterstanden en golven blijft nodig.

## 15.8 Remote sensing

Remote sensing (meten op afstand) meetmethoden staan sterk in de belangstelling en maken een snelle ontwikkeling door. Ook voor het waarnemen van zeebodem, waterstand, stroming en golven zijn systemen in ontwikkeling. Veel methoden verkeren echter nog in een onderzoekstadium.

Aktuele informatie over de bodemdiepte met een nauwkeurigheid die vergelijkbaar is met die van de conventionele meetmethoden kan in de toekomst alleen via lasersystemen (LIDAR, Light Detection And Ranging) worden verkregen. De kosten verbonden aan lodingsactiviteiten kunnen er aanzienlijk mee worden verlaagd. De troebelheid van de Nederlandse kustwateren vormt nog een complicerende factor.

Onder bepaalde hydro-meteo condities kunnen zeegolven, oppervlakte stroming en grootschalige zeebodemstructuren worden waargenomen m.b.v. radarsystemen. Kwantitatieve bodemdiepte-informatie kan nog niet worden verkregen. De radarbeelden geven wel synoptische overzichten van bodemstructuren over uitgestrekte gebieden.

Radarbeelden vanaf vaste opstellingen zijn ook toepasbaar voor golfmetingen. Thans is de uit radarbeelden af te leiden golfinformatie nog beperkt.

In ondiepe wateren draagt het signaal gemeten door passieve optische remote sensing meetinstrumenten, werkend in het venster van het zichtbare licht, ook enige informatie over de bodem. Dieptebereik en nauwkeurigheid zijn te beperkt om de huidige opnamemethode te vervangen. De methode is echter wel aan te bevelen om grootschalige synoptische overzichten te verkrijgen van de Nederlandse kustwateren en estuaria. Sinds kort bestaat er een veelbelovend Nederlands optisch remote sensing instrument CEASAR dat opereert vanuit de lucht.

## 15.9 Conclusies

De bestaande waterstandsmee-netten voorzien in voldoende mate in de behoefte aan waterstandsgegevens t.b.v. de kustverdediging. De mogelijkheid meer informatie omtrent laagfrequente golven, waaronder ook bui-oscillaties en -stoten, in te winnen dient te worden onderzocht. Voor het volgen van de (effecten van) zeespiegelrijzing is het gewenst de stations Meetpost Noordwijk en Lichteiland Goeree van het Meetnet Noordzee qua gewenste nauwkeurigheid en beschikbaarheid daartoe geschikt te maken.

Voor het monitoren van de golfcondities zijn vier locaties verspreid langs de kust voldoende. Hier dient tevens de golfrichting te worden gemeten.

De kustlodingen dienen jaarlijks te worden uitgevoerd. De raaien dienen tenminste tot voorbij de brandingsruggen te reiken. De doorlodingen dienen om de 3 jaar te worden uitgevoerd tot de voorbij de teen van de onderwateroever, voor de schone kust van Holland en de middens der Waddeneilanden. De vaklodingen kunnen hier vervallen.

De vaklodingen voor de buitendelta's dienen een frequentie van 1 maal per 3 jaar te hebben en dienen te reiken tot voorbij de teen van de onderwateroever. Voor de Waddenzee geldt een opnamefrequentie van 1 maal per 6 jaar.

De vaklodingen in het Deltagebied dienen te worden voortgezet volgens de huidige opnamefrequentie.

Stroomsnelheden worden verkregen m.b.v. modellen en projectmetingen.

Gegevens omtrent de bodemsamenstelling kunnen worden ontleend aan de geologische kartering en via projectmetingen.

Remote sensing technieken verkeren veelal nog in het onderzoekstadium. Op korte termijn is daardoor nog geen vervanging van de huidige opnamemethodiek mogelijk.

De kracht van remote sensing ligt vooral in de mogelijkheid van momentane overzichten voor uitgestrekte gebieden. In situ metingen blijven nodig.



## **16. HARDE KUSTVERDEDIGING**

### **Zeedijken, havengebieden en strandmuren als waterkering**

#### **16.1 Deltaveiligheid**

In het kader van de Deltawet zijn en worden versterkingen van de Nederlandse kust uitgevoerd, opdat hiervoor naar verwachting in 1990 de zogenaamde Deltaveiligheid bereikt kan zijn. Door veranderende hydro-meteo-condities en door morfologische ontwikkelingen zullen in de toekomst maatregelen nodig blijven om de Deltaveiligheid te handhaven.

#### **16.2 Technisch Rapport 16**

In Technisch Rapport 16 wordt een studie verricht naar de gedeelten van de kustverdedigingsstrook, die hoofdzakelijk worden gevormd door een harde kustverdediging: zeedijken, havengebieden en strandmuren. In de studie wordt nagegaan, welke (vooral financiële) consequenties zijn verbonden aan het handhaven van de Deltaveiligheid voor deze verdedigingen. Tevens wordt onderzocht of het verantwoord is de waterkering tot elke prijs in het huidige tracé te handhaven.

#### **16.3 Scenario's**

Over de mate waarin hydro-meteo-condities zich wijzigen, bestaan grote onzekerheden.

Daarom wordt hiervoor een drietal scenario's gehanteerd:

- A Beleids Scenario: huidige situatie, zeespiegelrijzing 0,20 m/eeuw.
- B Anticiperend Scenario: verwachte ontwikkeling, zeespiegelrijzing 0,60 m/eeuw; constante golfhoogte op diepwater.
- C Ongunstig scenario, zeespiegelrijzing 0,85 m/eeuw, ongunstige ontwikkeling golfcondities.

Voor de genoemde scenario's zijn de veranderingen van de, voor de sterkte van de waterkering belangrijkste, ontwerpparameters (basispeil en golfhoogte) afgeleid. Hierbij is, vooral ten aanzien van de golfhoogte, rekening gehouden met de plaatselijke omstandigheden.

## 16.4 Aanpak

Ten behoeve van de studie zijn een aantal uitgangspunten gedefinieerd. Daarnaast is vastgesteld, welke onderdelen van de kustverdedigingsstrook behoren tot de categorie zeedijken, havengebieden en strandmuren.

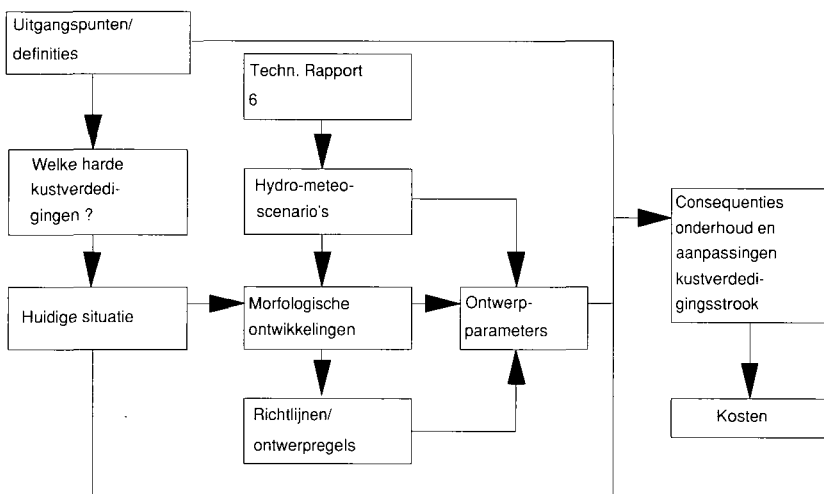
Van de te beoordelen onderdelen zijn gegevens verzameld over het huidige ontwerp en de ligging van de onderwateroever. Tevens is een inschatting gemaakt van de te verwachten morfologische ontwikkelingen bij de verschillende scenario's.

Op basis van richtlijnen en ontwerpregels is bepaald, welke ontwerpparameters, door wijzigingen in de ligging van de onderwateroever en door veranderende hydro-meteocondities, worden beïnvloed.

Vervolgens is van deze parameters de invloed op de kustverdedigingsconstructie nagegaan.

Uiteindelijk zijn de consequenties vertaald in kosten.

Het beschreven proces is schematisch weergegeven in figuur 16.1.



**figuur 16.1: Schematische weergave van de werkwijze ter bepaling van de consequenties voor handhaven van de veiligheid.**

Enkele uitgangspunten

- De studie bestrijkt de periode van 1990 tot 2090.
- Bij het berekenen van kosten voor het handhaven van Deltaveiligheid worden in principe alleen de kosten

voor het in stand houden van veiligheid van het achterland in beschouwing genomen.

- Uitgegaan wordt van de veiligheidsnormen, zoals die zijn vastgelegd in de conceptversie eind 1988 van de Wet op de Waterkering.
- Periodieke kruinverhogingen van zeedijken vinden plaats om de 50 jaar; voor kunstwerken (keermuren, sluisen) en keringen die door de bebouwing lopen, wordt een periode van 100 jaar gehanteerd.
- Verondersteld wordt, dat in 1990 alle deltaversterkingen zijn uitgevoerd en dat aan de normen is voldaan.

## 16.5 Harde kustverdediging

De in technisch rapport 16 te beschouwen gedeelten van de kustverdedigingsstrook zijn:

Zeedijken:

- Helderse Zeewering
- Pettemer Zeewering
- Hondsbossche Zeewering
- Stellendam en Flaauwe Werk (Goeree-Overflakkee)
- Schouwen-Duiveland (aansluiting op stormvloedkering Oosterschelde)
- Onrustpolder (Noord-Beveland)
- Westkapelse Zeedijk, Zeedijk Zoutelande en Zwanenburg/Nolledijk (Walcheren)
- Zeeuws-Vlaanderen (diverse dijkvakken)

Overige elementen

- Bolwerk Texel
- Havengebied IJmuiden (Hoogoventerrein, sluisen, bebouwing IJmuiden)
- Uitwateringssluis en kering door bebouwing Katwijk
- Kering rond haven en door bebouwing Scheveningen
- Strandmuren Scheveningen en Vlissingen.
- Onderwateroeverbeschermingen
  - \* Ameland (westzijde)
  - \* Zuiderdam Maasvlakte (blokkendam)
  - \* Ter plaatse van zeedijken en strandmuren.

De deltidammen, de stormvloedkering Oosterschelde en de Haringvlietdam (met uitwateringssluizen) bieden veiligheid in samenhang met de dijken rondom het achterliggende bekken. Deze dammen bezitten geen direct erachtergelegen polderland en worden daarom in de studie niet meegenomen.

Verder worden niet meegenomen de duinvoetverdedigingen (o.a. Domburg, Ter Heijde) en de strandhoofden in de duinenkust. Deze worden beschouwd als harde onderdelen van de zachte kustverdediging (duinenkust) en derhalve behandeld in Technisch Rapport 7, "Duinen als waterkering".

## **16.6 Vakindeling Nederlandse kust**

Om de resultaten van de beleidsanalyse van de kustverdediging op een overzichtelijke wijze te kunnen presenteren, is de Nederlandse kust in lengterichting onderverdeeld in een twintigtal sectoren. Deze sectorindeling is voornamelijk gebaseerd op onderscheid in het beheer van de kustverdedigingsstrook, vaak samenvallend met geografisch logisch te onderscheiden deelgebieden.

Bij het beoordelen van de harde kustverdedigingen wordt steeds uitgegaan van de werkelijke lengte. Bij het verwerken van de resultaten in de beleidsanalyse worden de resulterende kosten verdeeld over een geheel aantal vakjes van 1 km lengte, de zogenaamde cellen.

## **16.7 Consequenties handhaven Deltaveiligheid**

Uitgangspunt hierbij is, dat de waterkering in het huidige tracé blijft gehandhaafd. Daartoe is het van belang, dat de kering voldoende sterk blijft en dat een voldoende stabiele onderwateroever in stand wordt gehouden.

Samengevat zijn met het in stand houden van de Deltaveiligheid de volgende kosten gemoeid:

### *Waterkering*

- onderhoud
- aanpassing glooiingsconstructies
- periodieke kruinverhoging
- aanpassen keermuren en sluizen
- aanpassen keringen door bebouwing

### *Onderwateroever*

- onderhoud
- incidentele aanpassingen

Door het Waterloopkundig Laboratorium zijn de onderhoudskosten van de kustverdediging over de periode 1975-1984 geïnventariseerd. Hieruit zijn de te verwachten jaarlijkse onderhoudskosten voor de periode tot 2090 afgeleid. Voor plaatsen, waarover geen of niet voldoende gegevens bekend waren, zijn de kosten geschat.



Door de te verwachten morfologische ontwikkelingen zijn tevens op een aantal plaatsen aanvullende aanpassingen van de onderwateroever noodzakelijk. Hiervoor zijn kosten geschat.

De veranderingen in de hydro-meteo-condities leiden tot een aantal aanpassingen aan de glooiingsconstructies. In dit rapport zijn slechts de kosten meegenomen van het verlengen van de harde glooiing, aan de zeezijde, tot een hoger niveau.

Ten aanzien van de periodieke kruinverhogingen is onderscheid gemaakt tussen zeedijken en overige constructies. Voor zeedijken zijn de kosten voor verhogingen bepaald voor enkele representatieve dwarsprofielen. Hieruit zijn de kosten voor alle dijkvakken afgeleid. Voor de overige constructies zijn de kosten per geval bepaald.

Uit het tijdstip van de laatste verhoging, ten behoeve van het bereiken van Deltaveiligheid, is voor de verschillende scenario's afgeleid, wanneer een volgende aanpassing zou moeten plaatsvinden en wanneer dus hiervoor kosten zouden moeten worden gemaakt.

De maat voor de verhoging is afgeleid uit de veranderende hydraulische randvoorwaarden (basispeil en golfhoogte).

In tabel 16.1 zijn de kosten die zijn gemoeid met het in stand houden van de Deltaveiligheid samengevat.

## **16.8 Retireren harde waterkering**

Met het in stand houden van de veiligheid ter plaatse van een erosieve kust kunnen soms hoge kosten gemoeid zijn. Door het landinwaarts verplaatsen van de waterkering zouden de kosten voor het in stand houden wellicht sterk kunnen worden teruggebracht. Om de consequenties van dit alternatief na te kunnen gaan is voor de Hondsbossche en Pettemer Zeewering een vergelijking gemaakt tussen de varianten handhaven in het huidige tracé en retireren.

Uiteraard moet daarbij een aantal grove inschattingen worden gedaan.

De resultaten laten zien, dat het handhaven van de kering in het huidige tracé, ondanks de hoge onderhoudskosten, financieel aantrekkelijker is dan retireren. Bovendien speelt daarnaast nog een aantal andere aspecten een rol, die ook pleiten voor handhaven.

De conclusie is, dat het uitgangspunt voor de studie om de waterkeringen die bestaan uit harde elementen, in het huidige tracé te handhaven, juist is.

## 16.9 Belangrijkste conclusies

- Door het plegen van onderhoud en het doen van aanpassingen (ten gevolge van zeespiegelrijzing) kunnen de harde kustverdedigingen in het huidige tracé worden gehandhaafd.
- Retireren van een "harde" waterkering is financieel onaanvaardbaar ten opzichte van handhaven in het huidige tracé.
- Op plaatsen waar de waterkering door de bebouwing loopt (Scheveningen, Katwijk), zijn aanpassingen erg gecompliceerd en duur.
- Bij de onderhavige studie zijn slechts kosten in rekening gebracht die nodig zijn voor het handhaven van de veiligheid van het achterliggende land. Op diverse plaatsen zijn bebouwingen buitendijks gelegen. Bij stijging van de zeespiegel neemt de veiligheid van deze gebieden af.

Onderdeel kust- verdedigingsstrook	Cellen	Jaarlijkse onder- houdskosten		Aanpassingen onderwateroever (incidenteel)	Periodieke kruinverhoging (kosten per verhoging in Mfl)								
		water kering	onder- water oever		scenario A		scenario B		scenario C				
					2030 + 2080	2005 + 2055	2010+ 2060	2020+ 2070	1995+ 2045	2000+ 2050			
Ameland	311	n.v.t.	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Texel (Bolwerk)	260	0,09	-	1990 - 2000	0,4	-	-	1,3	-	-	2,5	-	2,5
Heiderse Zeewering	227 t/m 232	0,78	0,46	1990 - 1995	2,1	-	-	6,8	-	-	13,0	-	13,0
Pettemer Zeewering	206, 207	0,22	0,05	-	0,7	3,2	-	-	5,6	-	-	-	5,6
Hondsb. Zeewering	202 t/m 206	0,66	0,58	-	1,8	8,6	-	-	14,9	-	-	-	14,9
IJmuiden	172, 173	-	-	-	0,8	-	-	pm/2,6 <sup>1</sup>	-	-	pm/8,2 <sup>1</sup>	-	pm/8,2 <sup>1</sup>
Katwijk	140, 141	0,07	-	-	0,2	3,5/0 <sup>1</sup>	-	11,7/0 <sup>1</sup>	-	-	42,5/0 <sup>1</sup>	-	8,0/0 <sup>1</sup>
Scheveningen	126 t/m 128	-	0,07	1995 - 2090	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zuiderdam Maasvlakte	101 t/m 104	-	0,40	1990 - 2000	14,0	-	-	-	-	-	8,0/0 <sup>1</sup>	-	8,0/0 <sup>1</sup>
Stellendam	81	0,01	0,02	-	0,3	-	-	1,7	-	-	3,4	-	3,4
Flauwe Werk	71 t/m 73	0,05	0,01	-	0,7	5,8	-	-	9,9	-	-	-	9,9
Schouwen-Duiveland	-	0,02	0,01	-	0,2	-	-	0,5	-	-	1,0	-	1,0
Onrustpolder	47	0,05	0,03	-	0,4	-	-	1,3	-	-	-	-	-
Westkapelse Zeedijk	30 t/m 33	0,12	0,13	2020 - 2030	2,0	8,2	-	-	11,1	-	-	-	11,1
Zeedijk Zoutelande	25	0,06	-	1990 - 2000	0,4	1,6	-	-	2,4	-	-	-	2,4
Zwanenburg/Nolledijk	18	0,05	0,03	-	0,4	-	-	1,7	-	-	2,7	-	2,7
Viissingen	16, 17	-	0,06	-	0,8	5,5/1,9 <sup>1</sup>	-	-	8,9/2,9 <sup>1</sup>	-	-	-	8,9/2,9 <sup>1</sup>
Zeeuws-Vlaanderen	2, 5, 6, 8 t/m 12, 14 en 15	0,30	0,30	1990 - 2030	4,0	18,0	-	-	27	-	-	-	27
Totaal		2,48	2,20		15,2/ 15,2	26,6/ 19,5	29,5/ 29,5	23,3+pm/ 14,2	93,1/ 79,1	70,4+pm/ 28,1			

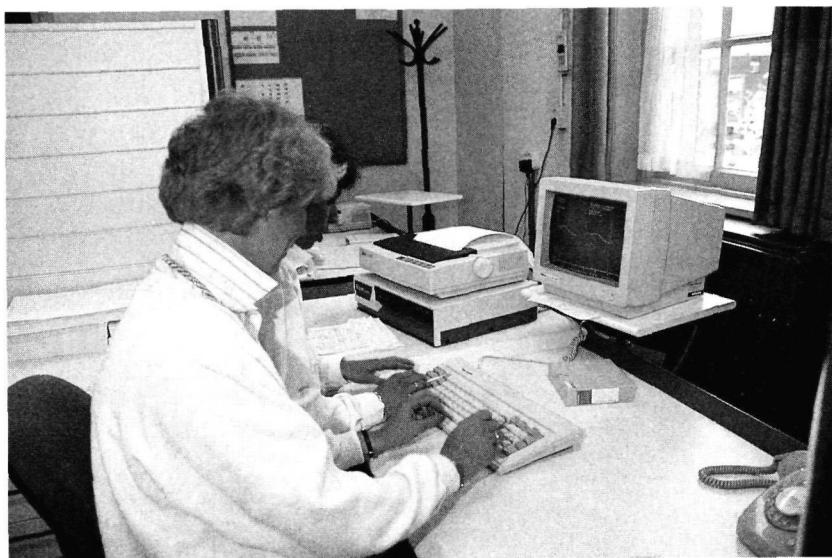
1 Bedragen respectievelijk eerste en tweede verhoging.

2 Bij de scenario's B en C moeten hoge kosten worden gemaakt voor het deltaveilig maken van de sluisen (Noordersluis bij scenario B en Noordersluis + Middensluis bij scenario C). Gedacht moet daarbij worden aan nieuwe sluishoofden, keersluizen of zelfs nieuwe sluisen. Hiervoor zijn geen kosten ingeschat.

3 Bij scenario B tevens 5 Mfl. in de periode 2020-2030 en bij scenario C tevens 10 Mfl. in de periode 2000-2010.

N.B. De totaalbedragen van de kolommen 6 t/m 11 horen respectievelijk bij de eerste en tweede aanpassing.

### Tabel 16.1: Overzicht kosten handhaven Deltaveiligheid



# 17 SYSTEEM-ANALYTISCH MODEL

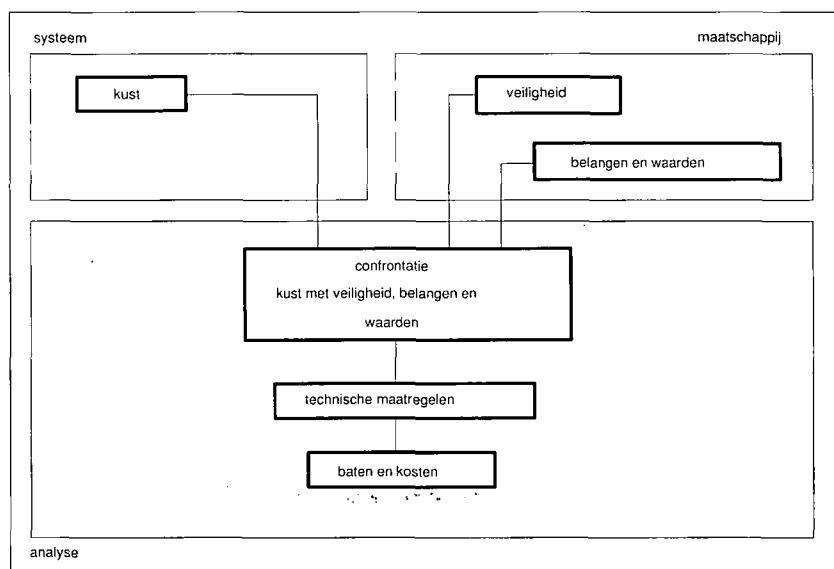
## Beschrijving model KUSTBEL

### 17.1 Inleiding

Het doel van de discussie nota 'Kustverdediging na 1990' is het voorbereiden van een beleidskeuze voor een landelijke kustverdedigings aanpak. Een groot aantal afwegingen en keuzes spelen hierbij een rol. Het is noodzakelijk het gehele scala aan mogelijkheden te vertalen naar beleidsalternatieven. Deze moeten systematisch worden onderzocht en onderling vergelijkbaar beoordeeld worden. Gekozen is voor de ontwikkeling van een systeem-analytisch model waarmee beleidsalternatieven doorgerekend kunnen worden. Dit model heet KUSTBEL.

### 17.2 Algemeen

Het model KUSTBEL voert berekeningen uit om de gevolgen van een beleidsalternatief op het kuststelsel te kwantificeren. In figuur 17.1 staat schematisch de hoofdlijnen in de model aanpak volgens TR-17 waarvan de beschrijving hier wordt samengevat.



figuur 17.1 Hoofdlijnen in de model aanpak

## 17.3 Systeem

### Kustsysteem

Van de kuststrook van Nederland is een schematisatie gemaakt voor wat betreft zijn waterkerende eigenschappen. Hierbij zijn de afgesloten zeegaten buiten beschouwing gelaten. Dit heeft geleid tot :

- een kwalificering in de kusttypen duin, zeedijk, overige en strandvlakten
- een kwalificering van het kusttype duin in onverdedigd duin en verdedigd duin met strandhoofd of palenrij
- in het duin zijn de breedte van de zeereep, de afslagbreedte bij een superstorm, de positie van het landwaarts gelegen grensprofiel en de positie van de polderlijn bepaald

De genoemde eigenschappen zijn bepaald per cel van 1 km. kustlengte en worden voor iedere cel aan het model opgegeven. Cellen zijn voor het model administratief ingedeeld in sectoren, de sectoren zijn samengevoegd in de regio's Delta, Holland en Wadden. De drie regio's samen beslaan de Nederlandse kust.

### Kustontwikkeling

Bij het vergelijken van beleidsalternatieven is de aandacht vooral gericht op de ontwikkeling van de duinenkust en met name de gebieden waar doorgaande kustachteruitgang plaats vindt. Aan het model worden voorspellingen geleverd van de duinvoetpositie zoals die zich per cel over totaal 100 jaar zal ontwikkelen volgens verschillende hydro-meteo verwachtingen en zeespiegelstijgingsscenario's.

## 17.4 Maatschappij

Het model moet om kunnen gaan met de eisen die de maatschappij stelt wanneer de duinenkust onderhevig is aan doorgaande kusterosie. Het totaal aan eisen heet een beleidsalternatief. Het model betreft de volgende eisen in de analyse :

- het in stand houden van de veiligheid van het polderland tegen overstrooming
- het beschermen van die belangen en waarden die zich in het duingebied bevinden en in het beleidsalternatief zijn opgenomen

## **Veiligheid**

De schematisatie van de kuststrook levert de gegevens voor het veiligheidsaspect. Bij kustachteruitgang kan de veiligheid van het achter het grensprofiel gelegen polderland in gevaar komen. Het criterium hierbij in het model is de tijdstap waarin door kustachteruitgang de achterkant van de afslagzone de positie van het grensprofiel passeert. Deze situatie dient ten alle tijden voorkomen te worden.

## **Belangen en waarden**

Voor het model is een schematisatie uitgevoerd van de belangen en waarden zoals deze op het uitgangstijdstip 1990 in het duingebied aanwezig zullen zijn. Hierbij zijn de economische belangen en natuurwaarden in 19 gebruiksfuncties onderverdeeld. Het duingebied is per cel vanaf het strand zover landwaarts geïnventariseerd als gezien de verwachte kustontwikkeling noodzakelijk is. Met een dichtheid van 50 meter worden de gebruiksfuncties in het model ingevoerd.

Aan het model wordt opgegeven welke gebruiksfuncties in een beleidsalternatief beschermd moeten worden.

## **17.5 Analyse**

### **Confrontatie**

Het model toetst per cel en per tijdstap of door voorspelde kustachteruitgang en zijn processen gestelde eisen in het beleidsalternatief geschonden worden.

Wanneer kustachteruitgang niet is toegestaan is het uitvoeren van een technische maatregel om de erosie te bestrijden noodzakelijk. Het gevolg hiervan is dat de veiligheid niet in gevaar komt en geen verlies optreedt van belangen en waarden.

Wanneer kustachteruitgang wel is toegestaan is het gevolg hiervan verlies aan belangen en waarden die niet beschermd behoeven te worden. Het model sommeert de verliezen aan gebruiksfuncties die verloren gaan door de met kustachteruitgang samengaande processen. Deze processen zijn landverlies, overschuiving, grondwaterstands daling bij natuurwaarden en het liggen in een gebied met verhoogd afslagrisico.

## **Technische maatregelen**

De technische maatregel die het model simuleert bij erosiebestrijding is een zandsuppletie aan de zeezijde van de zeereep van voldoende omvang om de kustachteruitgang in de tijdstap te stoppen.

Bij kustachteruitgang die de eisen niet schaaft kan het nodig zijn deze te begeleiden met een achterwaartse suppletie aan de landzijde van de zeereep.

Dit gebeurt bij een te hoog optredend erosietempo waarvan de grenswaarde aan het model is opgegeven. De grootte van de zandsuppletie wordt door het model uitgerekend.

De onderhoudskosten zijn van alle kusttypen per cel aan het model bekend gemaakt als een bedrag dat jaarlijks hiervoor nodig is. Voor het kusttype zeedijk en overige is het mogelijk apart opgegeven bedragen in de kosten op te nemen van in de toekomst verwacht groot onderhoud. Dit bv naar aanleiding van een gehanteerd zeespiegelstijgingsscenario.

## **Baten en kosten**

De baten van een beleidsalternatief bestaan uit het behoud van voldoende veiligheid van het polderland en het beschermen van zekere belangen en waarden. Het model geeft inzicht in de gevolgen van de opgelegde eisen in het beleidsalternatief door de presentaties van oa :

- ontwikkeling van de duinbreedte tussen de achterkant van de afslagbreedte bij superstorm en de positie van de landwaarts gelegen grenslijn; de reserve duinbreedte
- het verloren gegane areaal aan onbeschermden belangen en waarden
- het aantal kilometers waar is ingegrepen ter behoud van veiligheid, belangen en waarden
- het aantal kilometers waar onbeschermden belangen en waarden verloren gingen
- het aantal hectaren dat tijdelijk of blijvend bij kustachteruitgang en kustvoortgang betrokken is
- de kosten van onderhoud van alle kusttypen en de erosiebestrijdingskosten voor het kusttype duin
- de zandhoeveelheden voor strandsuppleties en het achterwaarts verzwaren



## 17.6 Het testen

Tijdens de ontwikkeling van het model, het doorrekenen van de onderzochte beleidsalternatieven en het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses is het model steeds onderworpen geweest aan een nauwkeurig onderzoek naar zijn werking. Hierdoor ontstond voldoende vertrouwen in een juiste afwikkeling van het model van de verschillende processen die de uitkomsten bepalen.

## 17.7 Het gebruik

Het model is ontwikkeld op een Tulip PC-AT386 en kan daarom op iedere IBM-compatible gebruikt worden. Bij de functionele specificaties is gelet op :

- flexibiliteit in in- en uitvoer
- gebruikersvriendelijkheid in bediening en verwerkingstijd
- het inhoudelijk ondersteunen van de wensen voor wat betreft de uitwerking van een beleidsalternatief

Bij het vaststellen van de functionele specificaties van het model is vooral gelet op de relevante uitkomsten van de onderbouwende technische rapporten.

Door de flexibele opzet van in- en uitvoer, de gebruikersvriendelijkheid, de korte rekentijd van ongeveer 5 minuten voor 1 beleidsalternatief en de mogelijkheid vervolgprogramma's met de modeluitkomsten te voeden is het model een krachtig hulpmiddel bij het ontwikkelen en doorrekenen van beleidsalternatieven. Door het instellen van de stuurparameters van het model kunnen diverse gevoeligheidsanalyses worden uitgevoerd.



# **18. BEREKENINGSRESULTATEN BELEIDSALETERNATIEVEN**

## **Detailresultaten van computermodel**

### **18.1 Inleiding**

Voor de beleidsanalytische studie Kustverdediging is een groot aantal berekeningen uitgevoerd met het systeem-analytisch model KUSTBEL om de gevolgen voor diverse mogelijkheden van beleidskeuzen ten aanzien van Kustverdediging inzichtelijk te maken. Deze resultaten zijn voor de gehele Nederlandse kust gepresenteerd in de hoofdnota van de beleidsanalytische studie: de discussie-nota 'Kustverdediging na 1990'. Regionale verschillen konden hierbij slechts beperkt worden gepresenteerd. Resultaten in nog meer detail (bijv. voor sectoren van enkele tientallen kilometers kustlengte) zijn in het geheel niet voor het voetlicht gebracht. Deze gedetailleerde informatie wordt in dit rapport gepresenteerd. Alvorens de resultaten te presenteren wordt inzicht gegeven in de wijze waarop de beleidsalternatieven en de omstandigheden waarvoor deze moeten worden doorgerekend, vertaald worden naar concrete rekengevallen.

### **18.2 Definiëring van de rekengevallen**

De berekeningen die met het model KUSTBEL worden uitgevoerd worden gespecificeerd door ze van informatie te voorzien met betrekking tot:

1. het gekozen beleidsalternatief
2. het scenario t.a.v. zeespiegelrijzing
3. instelgrootheden.

Door de keuze van het beleidsalternatief wordt bepaald welke belangen en waarden in het duingebied moeten worden beschermd.

De keuze van het scenario van zeespiegelrijzing geeft aan welke ontwikkeling men wenst te beschouwen m.b.t. toekomstige randvoorwaarden.

De keuze van instelgrootheden heeft vooral invloed op de marges rondom de eindresultaten van de berekeningen. Zo kunnen de marges voor de onnauwkeurigheden in de voorspellingen van het kustgedrag worden bepaald door diverse varianten van de voorspelling (gemiddeld, ongunstig) mee te nemen. De marges in de eindresultaten als gevolg van de onzekerheden in de breedte van de afslag-

zône kunnen ook worden vastgesteld door deze grootheid te laten variëren.

Een op bovengenoemde wijze gespecificeerde berekening wordt een rekengeval genoemd.

### **18.3 Weergave van de berekeningsresultaten**

De resultaten van berekeningen worden opgeslagen in tabellen. Er zijn twee soorten tabellen.

Er is een tabel die per cel de uitwerking van het gekozen kustverdedigingsbeleid in de tijd toont. Daarin is aangegeven op welk tijdstip om welke reden (belangen/waarden en het effect van kustgedrag op deze belangen/waarden) de kustlijn wordt vastgehouden.

Een tweede type tabel geeft per sektor, regio of voor de totale kust aan, hoe de verschillende parameters zich ontwikkelen (bijv. kosten, areaalverliezen voor bepaalde belangen/waarden, e.d.). Een complete set uitvoertabellen is als bijlage aan het rapport toegevoegd.

### **18.4 De resultaten**

Een drietal aspecten komt in dit rapport specifiek aan de orde:

1. resultaten per regio en per sektor
2. resultaten voor onderscheiden kusttypen
3. resultaten van varianten van selectief handhaven.

Ad 1 Voor de beleidsalternatieven Terugtrekken, Selectief handhaven, Handhaven, die voor de nota 'Kustverdediging na 1990' zijn uitgerekend worden de resultaten gepresenteerd op een meer gedetailleerde schaal. Vergelijkbare grafieken voor grootheden als: aantal kilometers kustlengte waar de kust vastgehouden wordt, verliezen van areaal duingebied, kosten en de afname van de reserve duinbreedte, worden per sektor en per regio gepresenteerd. De gevolgen van zeespiegelrijzing worden op vergelijkbare wijze getoond.

Ad 2 De opbouw van de kosten van de verschillende beleidsalternatieven voor de verschillende kusttypen wordt gepresenteerd voor de gehele kust en voor de drie regio's.

Ad 3 Het beleidsalternatief selectief handhaven kent vele varianten. In de nota 'Kustverdediging na 1990' is

slechts één variant uitgewerkt. Dit betreft een gestructureerde versie van het huidige beleid met extra aandacht voor natuur. Andere varianten met specifieke aandacht voor economische functies, of voor speciale onderdelen van functies worden in dit rapport naast elkaar gezet.



# 19. INNOVATIE VAN KUSTVERDEDIGING

## Inspelen op het kuststelsysteem

### 19.1 Doel van de studie

Het onderzoek van kustprocessen in het algemeen, alsmede de recente studie van de Nederlandse kust in het kader van de Nota Kustverdediging, hebben tal van nieuwe inzichten opgeleverd in de werking van de zandige Nederlandse kust als morfologisch systeem. In dit rapport worden de verkregen resultaten geïntegreerd tot een samenhangend beeld van de werking van dat systeem en de respons ervan op menselijke ingrepen en veranderende exogene condities. Dit beeld wordt vervolgens gebruikt om te komen tot het doel van de studie, een coherente visie op de te volgen tactiek bij de verdediging van de kust via "zachte" (d.w.z. in zand uitgevoerde) maatregelen en op de gevolgen van een langdurig volgehouden beleid ten aanzien van suppleties en zandwinning.

### 19.2 Methode van aanpak

De studie bestaat uit twee delen, aan te duiden als "integrerend" en "genererend".

In het integrerende deel wordt bestaande kennis bijeengebracht in een systeembeschrijving, d.w.z. in termen van toestandsbeschrijvingen en overdrachtsrelaties voor een stelsel van ruimtelijke elementen dat samen de Nederlandse kust vormt. Naast dit grootschalige stelsel, dat vooral de langere termijn (dus voornamelijk "natuurlijke") ontwikkelingen beschrijft, wordt voor de Hollandse kust een kleinschaliger systeem ontwikkeld, dat in staat is de respons op menselijke ingrepen, zoals zandwinningen of suppleties, weer te geven.

Beide systemen maken gebruik van bestaande kennis en werken daardoor, behalve integrerend, ook inventariserend: ze geven een beeld van wat er "bekend" is van het systeem en waar de kennis nog lacunes vertoont.

In het genererende deel van de studie worden de systemen, als denkmodel of zelfs al in een operationele vorm (als computerprogramma), gebruikt om te komen tot een coherente visie op kustverdediging met "zachte" middelen. Dit betreft zowel kustverdedigingstactieken ("hoe kunnen we een bedreigd stuk kust het best verdedigen?") als de gevolgen van langdurig volgehouden beleid t.a.v. actie-

ve (suppleties) en passieve (geen zandwinning) verdediging.

### 19.3 Grootschalige systeembeschrijving

Het grootschalige systeem beslaat in principe de volledige Nederlandse kust.

In zijn huidige vorm en in lijn met de accenten in de Nota Kustverdediging, is het echter beperkt tot de Hollandse kust, alsmede het Marsdiep (incl. vloedkom en buitendelta) en het zuidelijk deel van Texel als representanten van de Waddenkust. Verder wordt een indicatie gegeven van hoe het systeem er voor de Deltakust uit zou moeten zien. Het systeem bestaat uit een aantal geografische elementen. Langs de Hollandse kust vormen zij 3 rijen van 6 vakken, in dwarsligging begrensd door dieptelijnen (top eerste duinregel, N.A.P. -5 m, N.A.P. -12 m, N.A.P. -18 m), in langsrichting door bijzondere punten (Hoek van Holland, Scheveningen, IJmuiden, Hondsbossche Zeewering, Den Helder) en een tweetal tussenpunten (Noordwijk en Egmond).

In de omgeving van het Marsdiep vormen de buitendelta, de vloedkom, de diepe geulen (Marsdiep, Schulpengat, Molengat) en de actieve kustzone (Texel, ten zuiden van Huisduinen) voor de hand liggende geografische elementen, terwijl de kust voor het middendeel van Texel weer wordt verkaveld als betref het één sectie van de Hollandse kust.

Het is nog onduidelijk hoe de Deltakust zich op langere termijn zal gaan ontwikkelen, met name in de vroegere mondingen van Haringvliet en Grevelingen. Zolang hier sprake is van een min of meer open kust, zal het systeem er hier uitzien als een gekoppelde serie zeegaten (Haringvliet, Grevelingen, Oosterschelde, Westerschelde), met buitendelta, vloedkom, verbindingegeulen en actieve kustzones.

Behalve de geografische verkaveling, omvat het systeem toestandsbeschrijvingen per element en overdrachtsrelaties tussen de elementen. Door de verandering van zandvolume in een element als toestandsgrootte te kiezen, is de toestandsbeschrijving voor de Hollandse kust de zandbalans, terwijl de overdrachtsrelaties niets anders zijn dan beschrijvingen van het netto sedimenttransport. Dit sluit goed aan bij de bestaande kustmorfologische kennis.

Voor de zeegaten, met hun sterke dynamiek, is een ande-



re benadering nodig. De huidige, vooral empirische kennis suggereert een verband tussen het totale zandvolume in de buitendelta en een aantal integrale eigenschappen van de vloedkom. Daarmee wordt de dynamiek van het systeem vervat in de toestandsbeschrijving en volgen de transportrelaties uit de sedimentbalans.

Bij het invullen van het systeem komt een aantal lacunes in de kennis naar voren. Voor de Hollandse kust is dat vooral de smalle basis van de dwarstransportbeschrijving, wat betreft de rol van 3D-stromingen (Ekmanlagen) zowel als die van langere golven (deining, subharmonische golven). Op langere termijn speelt ook de momenteel nog onbegrepen respons van het getij, en met name van de asymmetrie daarvan (M4), op grootschalige veranderingen in de bodemligging. Bij de zeegaten is de kennis over het hele front onvoldoende (hoe werkt een zeegat? sedimentverplaatsing, dynamica van het morfologische proces, maatgevende condities, rol actieve kustzone, etc.). De morfologische processen in het Voordelta-gebied zijn, althans voor wat betreft de korte en middellange termijn, uitgebreid bestudeerd, maar de daarbij vergaarde kennis is nog nauwelijks vertaald in termen van lange-termijn ontwikkelingen. Ook hier derhalve kennislacunes over een breed front.

## 19.4 Kleinschalige systeembeschrijving

De invulling van het kleinschalige systeem is voornamelijk gebaseerd op de bevindingen van de deelstudies naar onderwateroever-suppleties en zandwinputten (TR-10 en TR-14). De gekozen elementgrootte langs de kust (500 m) hangt hiermee samen: deze biedt voldoende resolutie voor een grove weergave van een suppletie of een winput. De verkaveling dwars op de kust is evenals in het grootschalige systeem, opgehangen aan dieptelijnen (zie Tabel 19.1).

code	vanaf N.A.P.	tot N.A.P.	vakhoogte	afstand h.o.h.
D	+13 m	+ 3 m	10 m	8 m
H	+ 3 m	— 3 m	6 m	5.5 m
L	—3 m	— 8 m	5 m	4.5 m
U	—8 m	—12 m	4 m	

Tabel 19.1 Verkaveling dwars op de kust (kleinschalig systeem).

Na middeling over de snelle fluctuaties, lijkt het morfologische systeem te streven naar het uitdempen van verstoringen ten opzichte van de evenwichtsvorm van de kust, waarbij de inherente tijdschalen sterk toenemen met de waterdiepte. In grove benadering laat dit gedrag zich afbeelden op een diffusiemodel met diepte-afhankelijke diffusie-coëfficiënt. Via de randvoorwaarden kan daarbij worden bereikt, dat het bovenste deel van het profiel vrijwel gelijkvormig blijft.

Uitgaande van de veronderstelling dat de transportrelaties langs de kust en dwars erop volledig gescheiden kunnen worden (d.w.z. verschillende diffusie-coëfficiënten in langsen dwarsrichting) kan dit diffusiemodel worden afgeregeld met behulp van de beschikbare mathematisch-fysische modellen (CROSTRAN, LOMOR, kustlijnmodellen). Daarmee verschaft het diffusiemodel dus geen nieuwe informatie, maar slechts een 'vertaling' van wat al bekend was. Dit diffusieconcept, gediscretiseerd naar de bovengenoemde kleinschalige geografische elementen, vormt de basis voor het kleinschalige systeem, dat derhalve aansluit bij de genoemde mathematisch-fysische modellen. Voorzien van de nodige 'toeters en bellen' zou dit een goed presentatiemiddel kunnen zijn, alsmede een werktuig (voor deskundig gebruik!) om allerlei suppletie- en winningsscenario's door te rekenen.

## 19.5 Visie op 'zachte' kustverdediging

Uitgaande van de in het systeem vervatte kennis, c.q. interpretatie van het kustgedrag, wordt een aantal kustverdedigingstactieken nader bekeken, te weten:

- flexibele aanpassing aan het kustgedrag,
- symptoombestrijding,
- wegnemen/vermijden van oorzaken van ongunstige effecten,
- verplaatsen van ongunstige effecten,
- zoeken naar tijdwinst,
- inspelen op gunstige effecten.

Daarbij worden suggesties gedaan voor gebruikmaking van genoemde kennis bij het verdedigen van de kust met 'zachte' maatregelen.

Uitgangspunt daarbij is de huidige toestand van de kust, vervat in een aantal 'kansen' en 'bedreigingen'.

Naast het aanstippen van een aantal nieuwe benaderingen die nadere aandacht lijken te verdienen, wordt gekeken naar de mogelijkheden en de gevolgen van langdurig volgehouden beleid, en ook naar de lange-termijn verplichtingen die dat met zich mee kan brengen.

## 19.6 Conclusies

Dit alles leidt, behalve tot een serie suggesties, tot een aantal globale conclusies ten aanzien van de kustverdediging met 'zachte' middelen. In het kort komen die erop neer dat de Nederlandse kust voor een belangrijk deel op deze wijze te verdedigen moet zijn, ook bij een versnelde zeespiegelrijzing, mits we het gedrag van de kust in voldoende mate leren doorgronden om de bedreigingen en kansen tijdig te onderkennen en effectief en efficiënt met de ons ter beschikking staande middelen om te gaan. Bovendien wordt de noodzaak van een voor de hele kust geïntegreerd beleid op basis van een lange-termijn visie nog eens onderstreept.

## **20. ZEEWAARTSE KUSTVERDEDIGING**

### **Een globale uitwerking van enkele mogelijkheden**

Op verzoek van de hoofddirectie van de Rijkswaterstaat en onder verantwoordelijkheid van de Dienst Getijdewateren is de "nota Kustverdediging" opgesteld. Deze nota moet de basis vormen voor het te voeren Rijksbeleid inzake de kustverdediging.

Gaandeweg de werkzaamheden zijn een drietal beleidsalternatieven ontwikkeld. Elk van deze alternatieven is gebaseerd op het al dan niet (geheel) compenseren van landwaartse verplaatsingen van de kust.

Een vierde, meer in de volksaard liggend alternatief, te weten het zeewaarts verdedigen van de kust, kreeg aanvankelijk de minste aandacht. Reden hiervoor was met name de verwachting dat dit soort oplossingen dermate duur zouden worden, dat de kosten nooit konden opwegen tegen de belangen.

Echter, toen de nota kustverdediging z'n voltooiing naderde en er een schat aan nieuwe kennis en gegevens beschikbaar kwam, werd het toch wenselijk geacht alsnog een degelijk zeewaarts alternatief nader te concretiseren.

Reden dan ook voor de hoofddirectie om aan de Dienst Getijdewateren te vragen alsnog de mogelijkheden en consequenties hiervan te onderzoeken. Gezien de hiervoor beschikbare tijd ligt het abstractieniveau waarop e.e.a. uitgewerkt is hoger dan bij de overige Technische Rapporten voor de discussienota "Kustverdediging".

Het hierbij gehanteerde uitgangspunt is uiteraard hetzelfde als dat van de "Nota Kustverdediging", te weten de handhaving van de veiligheid tegen overstroming door de zee. Kustverdediging staat dus centraal. Dit zeewaarts alternatief is dan ook primair gericht op die delen van de kust die zo sterk aan erosie onderhevig zijn dat zelfs bij een kustachteruitgang van slechts een tiental meters de Deltaveiligheid al in gevaar komt.

Dit zeewaarts alternatief onderscheidt zich dan ook duidelijk van de bestaande kustuitbreidingsplannen zoals "Waterman", omdat die juist daar gesitueerd zijn waar van nature aanzanding optreedt of de onderhouds-inspanning minimaal is. Bij het zeewaarts alternatief is een eventuele landwinst dus bijproduct.

Het zeewaartse alternatief komt er derhalve op neer, dat:

- \* Kustachteruitgang, net als bij "handhaven", nergens wordt toegestaan.
- \* Anders dan bij de drie overige alternatieven hier een meer actie-gerichte vorm van kustverdediging wordt nastreefd.
- \* Door middel van initiële ingrepen en de respons hierop van het natuurlijk morfologisch systeem, verlegging van de kustlijn in zeewaartse richting wordt bewerkstelligd.

Locatie/gebied	doel van de ingreep	maatregelen	effectiviteit
Texel/Eierland	stimuleren van kustaangroei	bouw van een dam dwars op de kust, al of niet met een zandaanvulling	80-100%
Kop N.-Holland	stimuleren van kustaangroei	bouw van één of meerdere dammen dwars op de kust, al of niet met een (gedeeltelijke) zand-aanvulling (vlakke of lagune)	80-100%
Callantsoog	reduceren golfaanval	onderwater-dammen voor de kust	40-60%
Zws-Vlaanderen	voorkomen negatieve gevolgen van zandgolf	onderwaterdammen tussen de aanwezige stroomkribben	80-100%
Voordelta	reduceren golfaanval	banken (initieel) verhogen met richel van steen of zandworsten; stimuleren aanzanding uiteinden platen d.m.v kunstmatig zeewier.	40-80 %
Walcheren	voorkomen van erosie door geulverlegging	uitbouwen van twee of meer dammen	80-100 %

**Tabel 20.1: Oplossings-mogelijkheden voor de verschillende probleem-locaties.**

Als resultaat van de uitgevoerde studie kan het volgende worden geconcludeerd :

- Er kunnen zondermeer een aantal aan erosie onderhevige locaties langs de Nederlandse kust worden aangewezen, waar toepassing van een zeewaarts alternatief tot de mogelijkheden behoort.

- Er bestaat geen algemeen toepasbare "zeewaartse" maatregel. De verschillen in morfologische systemen op de respectievelijke probleem-locaties zijn daarvoor te groot.

Aan de hand van een brainstorm-sessie zijn voor de verschillende probleem-locaties oplossings-mogelijkheden geschetst. De meest kansrijke staan weergegeven in vorenstaande tabel. Vermeld zijn het doel van de ingreep, de wijze waarop getracht wordt dit effect te bereiken en de mate waarin verwacht wordt dat dit ook daadwerkelijk kan/zal lukken.

- Voor wat betreft het laatste item, de effectiviteit, wordt hier nog eens benadrukt dat dit verwachtingswaarden zijn. Ze zijn gebaseerd op reële aannamen, maar nader onderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre onzekerheden hierop significant van invloed zullen zijn. Hierbij wordt met name gedacht aan onzekerheden met betrekking tot de respons van het morfologisch systeem op de te nemen maatregel(en).
- Gezien de vaak forse schaal van de geschetste ingrepen, kan niet zondermeer voorbij gegaan worden aan de hiermee gepaard gaande ruimtelijke implicaties.
- Wanneer een zeewaartse oplossing (al of niet in combinatie met een kunstmatige aanzanding) wordt gerealiseerd, zullen bij uitblijven van menselijk ingrijpen zich onder en boven water nieuwe natuurwaarden ontwikkelen. Uiteraard is dit proces sterk afhankelijk van de locatie, de oorspronkelijke potenties van het gebied en de soort ingreep.
- Aan de landschappelijke inpassing etc. behoort een (natuur)ontwikkelingsplan ten grondslag te liggen. Het aantal mogelijkheden is n.l. groot en het uiteindelijke resultaat wordt behalve door de aanwezige potenties tevens sterk beïnvloed door de te stellen eisen en wensen.
- Ter illustratie, en gebaseerd op een aantal min of meer algemeen toepasbare principes, worden in deze nota wat suggesties aangedragen met betrekking tot natuurontwikkeling voor enige van de geschetste zeewaartse oplossingen. Deze komen in hoofdzaak neer op ofwel het (laten) ontstaan van nieuwe duinen met een eventueel gunstige invloed hiervan op het areaal aan vochtige duinvalleiën, ofwel het creëren van één of meerdere

(zoute) lagune(s). Met name deze laatste variant kan grote potenties herbergen.

- Voor de beoordeling van de efficiency van de geschetste maatregelen is het noodzakelijk te kunnen beschikken over een idee van de kosten welke met de aanleg en onderhoud hiervan gemoeid zijn.
- Op basis van schetsontwerpen en eenheidsprijzen kunnen deze kosten globaal geraamd worden. Het schema op de volgende pagina geeft hiervan het overzicht.
- Deze aanleg- en onderhoudskosten van de respectievelijke zeewaarts verdedigde kustvakken moeten worden gerelateerd aan de verminderde afname van land en de daarop aanwezige waarden c.q. de uitgespaarde suppletiekosten om deze afname te verhinderen. Dit is nader uitgewerkt met behulp van het ontwikkelde systeem-analytische model (zie TR-17 en TR-18). De resultaten hiervan worden tevens vermeld in de "discussienota Kustverdediging".

locatie	aanlegkosten Mfl / eenmalig	onderhoudskosten Kfl / jaarlijks
Texel	22	100
Noord-Holland :		
* dam met kustboog	490	300
* 2-de dam met kustboog	84	200
* dam met lagune	508	300
Zeeuws-Vlaanderen	13	100
Voordelta :		
* Haringvliet	24-33 *	n.v.t.
* Goeree	39-57 *	n.v.t.
* Schouwen	60-80 *	n.v.t.
Walcheren :		
* NW-kust, opl. a.	201	100
* idem, oploss. b.	44	100
* ZW-kust, opl. c.	245	200
* gehele kust	270	300
Callantsoog	24-26 *	n.v.t.

\* afhankelijk van de te kiezen oplossing

**Tabel 20.2: Aanleg- en onderhoudskosten Zeewaartse oplossingen**

- Qua onnauwkeurigheden moet rekening gehouden moet worden met het feit dat deze nota hoofdzakelijk gebaseerd is op ervaring. Dit impliceert een aantal pragmatische keuzen. Het meest kritische onderdeel hierin wordt gevormd door de morfologische (neven)effecten. Nader onderzoek zal het inzicht op dit punt moeten vergroten. Gevolg hiervan kan zijn dat de in deze nota gepresenteerde effectiviteiten (wat) lager kunnen uitvallen. Vooralsnog wordt voor de effectiviteit van de maatregel voor het betreffende kustvak zelf een spreiding van +/- 10 procent aangehouden. Voor ontwerp en kosten geldt een spreiding van +/- 35 procent.
- Een eventuele bestuurlijke problematiek rond een zee-waarts alternatief wordt volledig gedekt door de huidige Waterstaatswetgeving. De regionale overlegorganen vormen een uitstekend kader waarbinnen e.e.a. gezamenlijk kan worden voorbereid.



# LIJST VAN CONTACTPERSONEN

Voor verdere informatie over de Technische Rapporten kunt u contact opnemen met onderstaande personen.

TR	Contactpersoon	Dienst
1	dhr. drs. A. Stolk	Dienst Getijdewateren - Den Haag
2	dhr. drs. P. v. Vessem	Dienst Getijdewateren - Den Haag
3	mw. drs. M.M. Schoor	Dienst Getijdewateren - Den Haag
4	dhr. drs. F.M.J. Hoozemans	Dienst Getijdewateren - Den Haag
5	dhr. dr. ir. M.J.F. Stive	Waterloopkundig Lab. - De Voorst
6	dhr. ir. J.G. de Ronde	Dienst Getijdewateren - Den Haag
7	dhr. ir. H.J. Verhagen	Dienst Weg en Waterbouw - Delft
8	dhr. drs. W. Alberts	Dienst Weg en Waterbouw - Delft
9	dhr. dr. J.P.M. Mulder	Dienst Getijdewateren - Middelburg
10	dhr. ir. F.P. Hallie	Dienst Getijdewateren - Den Haag
11	dhr. ing. G.A. Beaufort	Directie Sluizen en Stuwen - Utrecht
12	dhr. ir. H.J. Verhagen	Dienst Weg en Waterbouw - Delft
13	dhr. ir. H.J. Verhagen	Dienst Weg en Waterbouw - Delft
14	dhr. ir. J.A. Roelvink	Waterloopkundig Lab. - De Voorst
15	dhr. ir. D. Dillingh	Dienst Getijdewateren - Den Haag
16	dhr. ing. P.J. Eversdijk	Directie Sluizen en Stuwen - Utrecht
17	dhr. D. Knoester	Dienst Getijdewateren - Den Haag
18	dhr. ir. C.J. Louisse	Dienst Getijdewateren - Den Haag
19	dhr. dr. ir. H.J. de Vriend	Waterloopkundig Lab. - De Voorst
20	dhr. ir. M. Pluijm	Dienst Getijdewateren - Den Haag

