

DELFTSTREEK  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Postbus 5044, 2600 GA DELFT  
Tel. 015-699111

## technisch rapport 13 grote civiele werken



## kustverdediging na 1990

g.S - 123,  
XIII

**BIBLIOTHEEK**

Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Postbus 5044, 2600 GA DELFT  
Tel. 015-699111

**Technisch Rapport nr 13**

**grote civiele werken  
invloed op kustgedrag**

opgesteld door: ir. H.J. Verhagen  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde

m.m.v. ir. H. van Rossum  
Ingenieursbureau Svasek

INHOUDSOPGAVE	BLZ.
KADER VOOR DIT RAPPORT	5
SAMENVATTING EN CONCLUSIES	7
1 INLEIDING	9
2 HAVENDAMMEN	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Stroombeeld	11
2.3 Brandingsstroom	14
3 ZEEDIJKEN EN BOULEVARDS	20
3.1 Inleiding	20
3.2 Elementen langs een getijgeul	20
3.3 Elementen met een flauwe onderwateroever	21
4 DE DELTAWERKEN	24
4.1 Inleiding	24
4.2 Morfologische veranderingen in de voordelta	24
4.3 Voorne en de Slufter	24
4.4 Het Brouwersdamgebied	24
4.5 De Oosterschelde	27
5 OVERIGE CIVIELE WERKEN	29
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	30
Literatuuroverzicht	33

## HET KADER VAN DIT RAPPORT

Dit rapport is een onderdeel van de studie die rond de discussienota "Kustverdediging na 1990" is uitgevoerd. Deze 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 vereist kennis over een groot aantal, soms nogal uiteenlopende aspecten van kustverdediging(sbeleid): kustgedrag, veiligheid van de duinenkust, voorspelling van kustgedrag, gebruiksfuncties in het duingebied en hoe deze te beoordelen, welke maatregelen zijn zinvol, etc. Al deze onderwerpen zijn in onderbouwende studies aan de orde gekomen en gerapporteerd in Technische Rapporten.

Het onderhavige rapport bevat de technische onderbouwing van een van de aspecten van de beleidsanalytische studie.

In onderstaand overzicht is een opsomming gegeven van alle Technische Rapporten die in dit kader zijn verschenen.

- 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     Onderwateroeversuppleties  
            een alternatieve kustverdedigingsmethode.
- TR-15     Monitoring kustgedrag  
            huidige situatie en toekomstbeeld.
- TR-16     Harde kustverdediging  
            zeedijken, havengebieden en strandmuren als waterkering

## SAMENVATTING EN CONCLUSIES

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 grootschalig 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 lijerosie van 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 optreden, en samen met de aanwezige strandhoofden de getijgeulen uit de kust houden (bijv. Nieuwe Sluis). Doordat de harde bekleding duinafslag onmogelijk maakt, is het kustprofiel hier vrij steil gaan staan. Dit heeft geresulteerd in lage, smalle (en daardoor moeilijk te suppleren) stranden.

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

In al deze gevallen speelt ook dat de geologie van de wat diepere lagen een grote invloed heeft op het kustgedrag.

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 op de kustligging (ligging duinvoet). 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 invloed van havendammen is voor periodes van enkele 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.

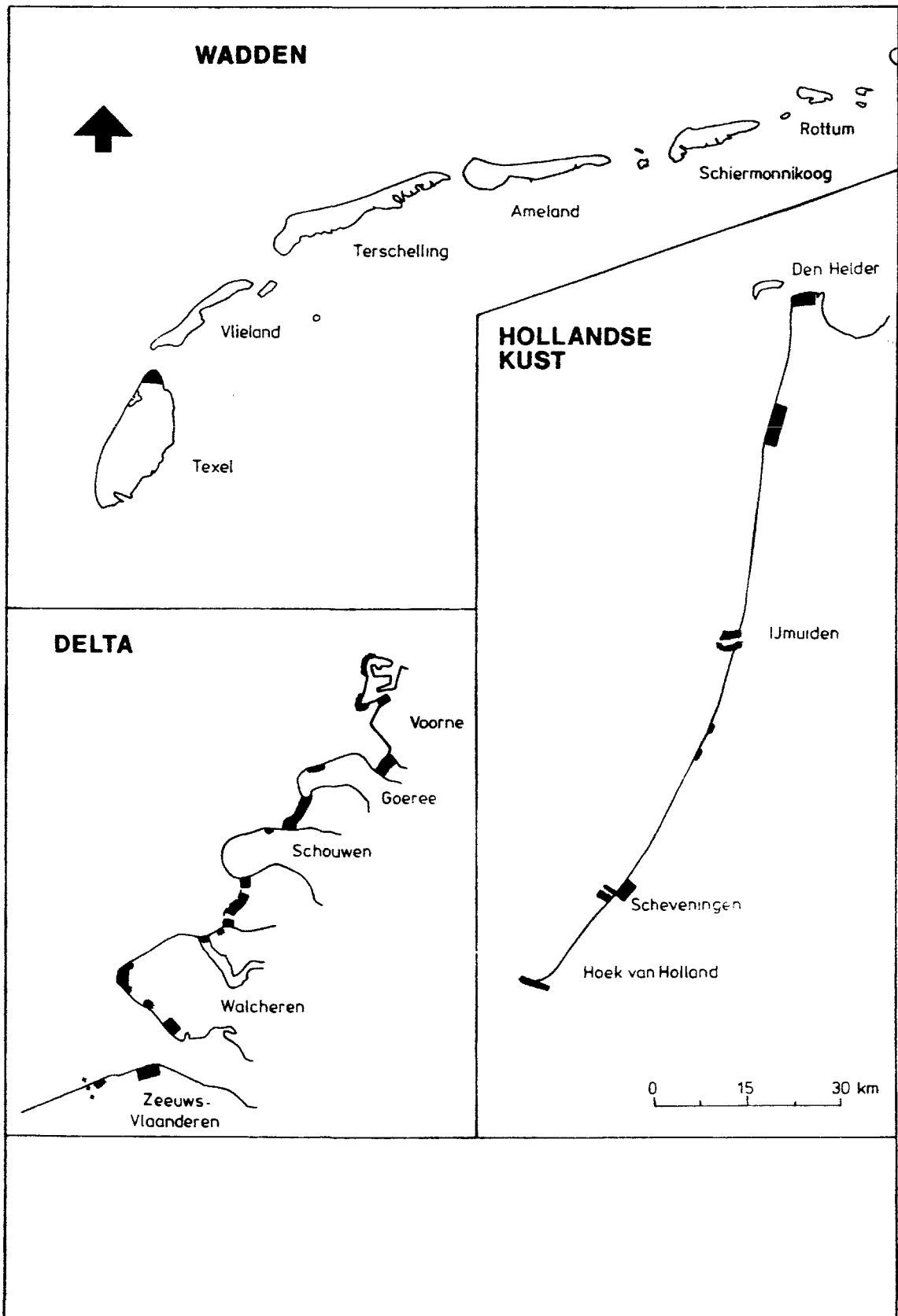
## 1 INLEIDING

Het grootste deel van de kust van Nederland bestaat uit een flexibele, zandige zeewering. Echter, op verschillende plaatsen komen harde verdedigingen voor, zoals dijken, dammen, boulevards en havenhoofden. In dit rapport wordt de waargenomen invloed van deze harde verdedigingen op de kust besproken. Hierbij wordt gekeken naar zowel het kustvak direct voor de verdediging, als naar de naastgelegen kustvakken. De constructieve aspecten van harde verdedigingen worden niet besproken. Deze aspecten worden behandeld in Technisch Rapport 16, *Harde kustverdediging*. Strandhoofden worden in Technisch Rapport 12, *Strandhoofden en Paalrijen* besproken, en hier geheel buiten beschouwing gelaten. Het effect van harde elementen verschilt sterk van element tot element. Daarom is een onderverdeling naar soort gemaakt. De locaties van de verschillende grote civiele werken wordt gegeven in fig. 1.1. De verschillende beschouwde soorten zijn:

- havendammen
- zeedijken en boulevards
- de deltawerken
- overige werken

Onder dit laatste wordt verstaan de ingrepen in de achterliggende zeegaten (met name veranderingen in de komberging) en de effecten van gaswinning.

Deze nota is opgesteld onder verantwoordelijkheid van de Dienst Wegen Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat door ir. H.J. Verhagen van deze dienst. Voorbereidend werk is gedaan door ir. H. van Rossum van Ingenieursbureau Svasek. Een toets op kwaliteit heeft plaatsgevonden door dr.ir. J. v.d. Graaff van de TU Delft.



Figuur 1.1. Ligging van de grote civiele werken



## 2 HAVENDAMMEN

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk komen de elementen aan de orde die geprononceerd in zee uitsteken. Dit zijn de havenhoofden van IJmuiden, van Scheveningen en van Hoek van Holland. De Maasvlakte met de Slufter vormt hierbij een bijzonder geval. Ten aanzien van het effect hiervan ten noorden van Hoek van Holland kan de Maasvlakte gezien worden als een wat fors uitgevallen havendam, en zal daarom in dit hoofdstuk worden meegenomen. De invloed van Maasvlakte en Slufter op Voorne is heel anders, en wordt besproken in hoofdstuk 4 over de de Deltawerken.

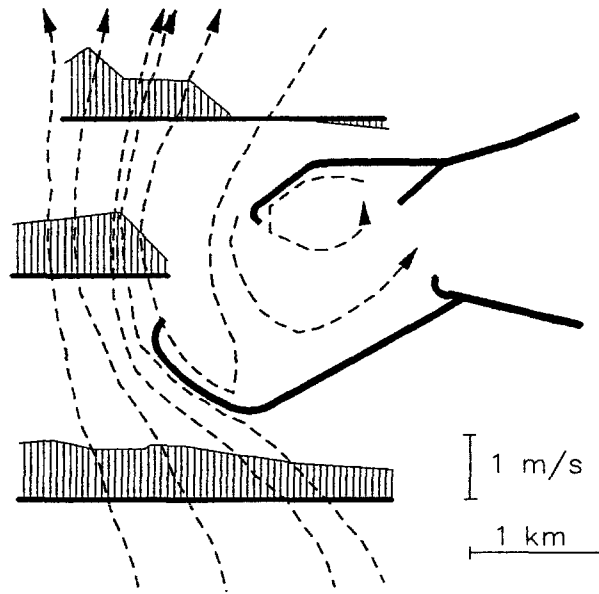
De havenhoofden van IJmuiden zijn tussen 1865 en 1879 ongeveer 1,5 km in zee uitgebouwd. Tussen 1962 en 1967 is aan het zuidelijk hoofd ongeveer 1,5 km en aan het noordelijk hoofd ongeveer 1 km aangebouwd. De havenhoofden van Scheveningen stammen uit de periode 1900-1908. Ze staken toen nauwelijks buiten de strandhoofden uit. In 1968-1970 zijn ze ordegrrootte een halve kilometer verlengd. De hoofden van Hoek van Holland dateren van 1864-1874. Ze staken toen bijna 2 km in zee uit. Tussen 1968 en 1972 zijn ze verlengd, de noordelijke met ca. 3 km. De zuidelijke dam is iets langer. Deze buigt rond de kop van de Maasvlakte om ook daar de kop van de Maasvlakte te beschermen. De zuidwestkant van de Maasvlakte is niet beschermd, en bestaat uit een strand. In het verlengde aan de Maasvlakte is in de jaren 1986-1988 de Slufter gebouwd. Deze grootschalige bergingslokatie voor baggerslib bestaat feitelijk uit een hoge ringdijk voor de zuidwestpunt van de Maasvlakte. De Slufter wordt niet beschermd door een harde constructie, maar is omgeven met een strand.

### 2.2 Stroombeeld

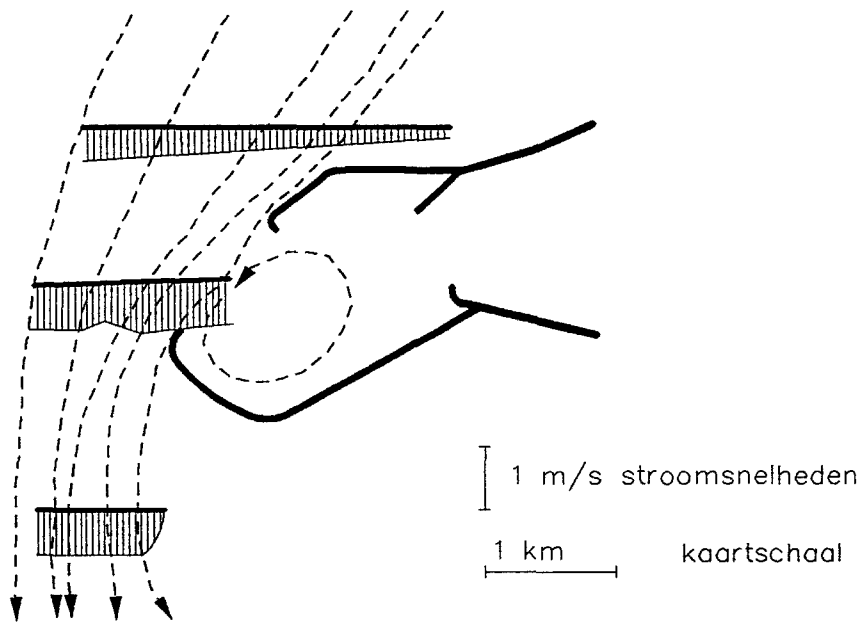
Langs de Hollandse kust trekt een vloedstroom noordwaarts en een ebstroom zuidwaarts. De maximum stroomsnelheden op de onderwateroever liggen tussen de 0,5 en 1 m/s, met uitschieters naar 1,5 m/s bij extreme omstandigheden. De resulterende getijstroom is in noordwaartse richting.

Ter plaatse van de vooruitspringende havenhoofden moet deze stroom om de havenhoofden heen. Dit geeft een kontraktie van de stroom met hoge snelheden voor de kop van het havenhoofd. Bij havenhoofden die op enige afstand van elkaar liggen ontstaat in principe een ontgrondingskuil voor de koppen van de beide havenhoofden, en ontstaan ook enkele neren. Deze neren hebben vaak een zodanige vorm dat het sediment uit de ontgrondingskuilen ook tussen de havenmonden afgezet wordt, waardoor verzanding van de toegang optreedt. Bij alle uitbreidingen van havenhoofden sinds 1960 zijn daarom fysische modelproeven gedaan naar dit stroombeeld rond de kop.

De doelstelling was het vinden van een zodanige vormgeving van de havenhoofden dat de ontgrondingskuil op een nautisch aantrekkelijke plaats komt te liggen en de aanzanding minimaal is. Deze minimale aanzanding moet daar plaatsvinden waar dat of geen probleem is, of het zand door eenvoudig baggerwerk te verwijderen is.

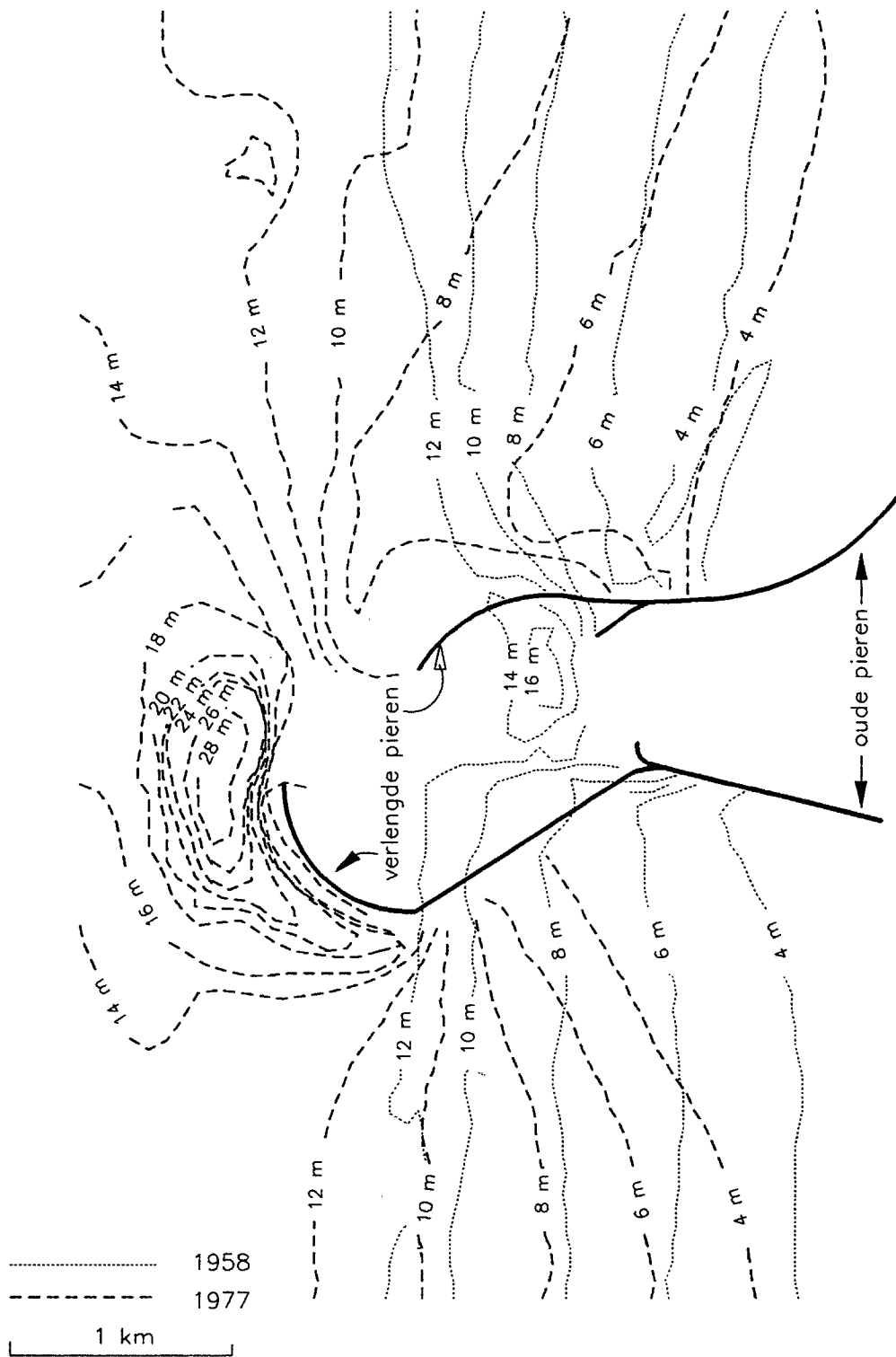


a. Noordgaand getij



b. Zuidgaand getij

Figuur 2.1 Stroombeeld bij IJmuiden volgens het model



Figuur 2.2 Bodemligging bij IJmuiden in 1958 en 1977

Daarnaast is onderzocht of de dwarsstromen (en de gradiënten daarin) voor de scheepvaart niet onoverkomelijk groot waren. Een representatief voorbeeld is gegeven in figuur 2.1 voor de hoofden van IJmuiden. [Waterloopkundig Laboratorium, 19..] Bij deze proeven is over het algemeen niet onderzocht wat de invloed van de gewijzigde getijstroom op de kust vele kilometers verderop was. Dit was fysiek niet mogelijk door de maten van het gebruikte model.

In figuur 2.2 (ontleend aan Poel [1985]) is een beeld gegeven van de bodemveranderingen in de periode 1958-1977 bij IJmuiden. Hieruit blijkt duidelijk dat de ontgrondingskuil op de verwachte plaats terecht gekomen is, en dat met name aan de noordzijde van de havendammen een aanzienlijke aanzanding heeft plaatsgevonden (zie bijv. de verplaatsing van de 10m lijn en de 12 m lijn). Dat de aanzanding hoofdzakelijk aan de noordzijde plaats vindt is het gevolg van het feit dat de resulterende getijstroom noordwaarts gericht is, en de daarop gebaseerde vormgeving van de havenhoofden.

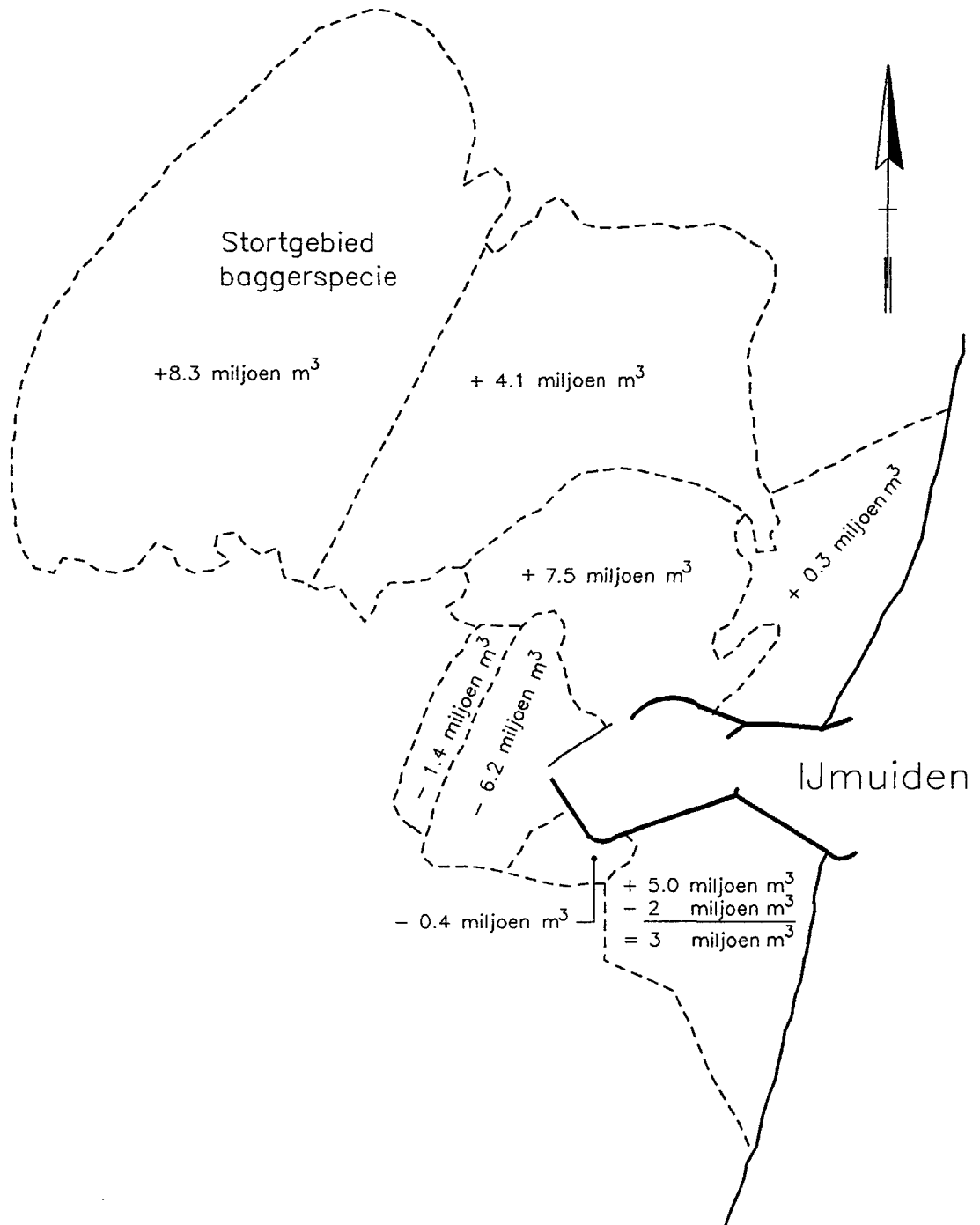
De invloed van verandering in de getijstroom op de kust aan weerszijden van de havendammen bleek niet aantoonbaar uit de verzamelde gegevens. Dit betekent niet dat er geen invloed is. Het kustgebied is van nature zeer dynamisch. Daarbij komt dat er verschillende menselijke invloeden door elkaar zijn (bouw havenhoofden, storten van baggerspecie, etc.). Hierdoor is het moeilijk om invloed van een enkel werk uit de basisgegevens precies terug te vinden.

In figuur 2.3 is de bodemligging van 1968 vergeleken met die van 1958. Hieruit blijkt dat in deze 10 jaar 8 miljoen  $m^3$  voor de kop is geërodeerd, en dat 19,9 miljoen  $m^3$  is afgezet, inclusief de gestorte baggerspecie. Uit dit voorbeeld blijkt direct dat het opzetten van een zandbalans voor dit gebied een groot probleem is, omdat niet precies bekend is hoeveel  $m^3$  afzetting veroorzaakt is door het storten van baggerspecie.

### 2.3 Brandingsstroom

Door scheef op de kust invallende, brekende golven ontstaat in de brekerzone een transport van zand evenwijdig aan de kust. Door havendammen wordt dit transport onderbroken, en het gevolg is een aanzanding aan de loefzijde van de havendam. Omdat na de havendammen dit transport weer opgebouwd moet worden, ontstaat aan de lijzijde erosie. Op de theoretische achtergrond van dit transport zal hier niet worden ingegaan. Verwezen kan worden naar Bakker [1971].

Bij de Nederlandse havendammen is de golfinval gemiddeld ongeveer loodrecht op de kust, met een vrij grote spreiding om dit gemiddelde. Het gevolg is dat er soms een transport van zuid naar noord is, en enige tijd later een transport van noord naar zuid. Het gevolg van dit verschijnsel, gecombineerd met refractie en diffractie van golven in het gebied rond de havendammen is dat er aan beide zijden naast de havendammen aanzanding ontstaat, en op enige afstand van de dammen erosie.



Figuur 2.3 Aanzanding en erosie bij IJmuiden van 1958 - 1968

Aan de hand van gegevens uit het Jarkus bestand is het bovenstaande beeld voor de havens van IJmuiden, Scheveningen en Hoek van Holland getalsmatig uitgewerkt. Hierbij is gebruik gemaakt van de ligging van de laagwaterlijn als maat voor de kustligging. In bijgaande tabel is getracht alleen de invloed van de havendammen te kwantificeren.

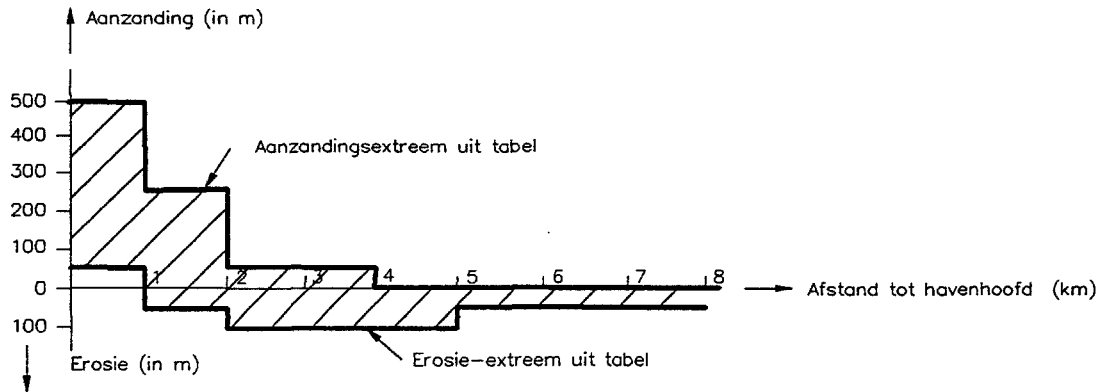
locatie	aanzanding (in m) op x km afstand								
	1km	2km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	
IJmuiden									
noord 1,5 km 1870-1965	+500	+250	-100	-100	-100	-50	-50	-50	
+1,0 km 1965-heden	+150	+100	+50	+50	0	-25	-25	?	
zuid 1,5 km 1870-1965	+150	-50	-75	-75	-50	-50	-50	?	
+1,0 km 1965-heden	+500	+150	+25	-25	-25	-25	-25	0	
Scheveningen									
noord +0,5 km 1970-heden	+50	0	0	0	0	0	0	0	
zuid +0,5 km 1970-heden	+100	0	0	0	0	0	0	0	
Hoek van Holland									
noord 2,0 km 1870-1970	+300	0	-25	-50	-25	-50	-15	0	
+3,0 km 1970-heden			zandsuppletie		-25	0	-15	0	

In deze tabel is het "eindeffect" op de verplaatsing van de laagwaterlijn weergegeven. Bij de oude havendammen is hiervoor de maximaal gevonden waarde tussen aanleg en verlenging genomen, voor de nieuwe havendammen is het extra effect genomen, zoals dat tot op heden is waargenomen. In werkelijkheid zijn de kusten bij de havens nog niet stabiel (zeker niet bij IJmuiden). De eerste havenhoofden van Scheveningen zijn niet in de tabel opgenomen, omdat deze hoofden nauwelijks langer waren dan de standhoofden. In deze getallen zit een subjectieve schatting van de waarde van de autonome kustontwikkeling.

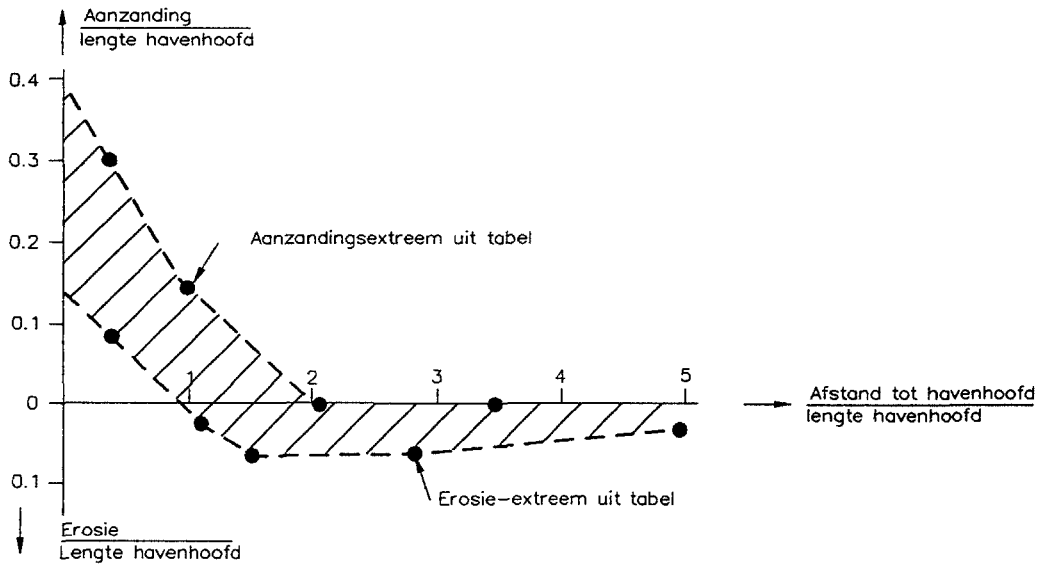
De gevonden waarden zijn ook uitgezet in figuur 2.4a als functie van de afstand vanaf het havenhoofd. Daar de mate van erosie en aanzanding in de "eindtoestand" een functie is van de lengte van de havendammen, is in figuur 2.4b dezelfde informatie gegeven, maar nu genormeerd naar de lengte van de havendammen. Het blijkt dat dit beeld redelijk consistent is. Aanzanding treedt op langs de kust over een afstand tot 1-2 maal de lengte van de havendam, erosie treedt op tot zeker 5 maal de lengte van de havendammen. De maximale erosie is ongeveer 10 % van de lengte van de havendam.

Bij analyse van de gegevens bleek tevens dat het punt van maximale erosie langzaam van de havendammen wegwandelt, en langzaam tot stilstand komt op een punt op 2-3 maal de lengte van de havendam.

Kubering leidt ook hier tot problemen. Uit figuur 2.3 blijkt dat aan de zuidzijde 3 miljoen m<sup>3</sup> zand is afgezet tussen 1958 en 1968. In die periode is ten zuiden daarvan over 4 km erosie opgetreden. De erosie in dit gebied na aanleg van de verlengde havendammen is ongeveer 25 m. Bij een actieve hoogte van ca. 15 m (top duin tot einde brekerzone) geeft dit een zandhoeveelheid van 1,5 miljoen m<sup>3</sup>. Het verschil tussen aanzanding en erosie is een factor 2. Ook hier moet de oorzaak gevonden worden in de onnauwkeurigheid van de meetgegevens en andere verstorende invloeden.

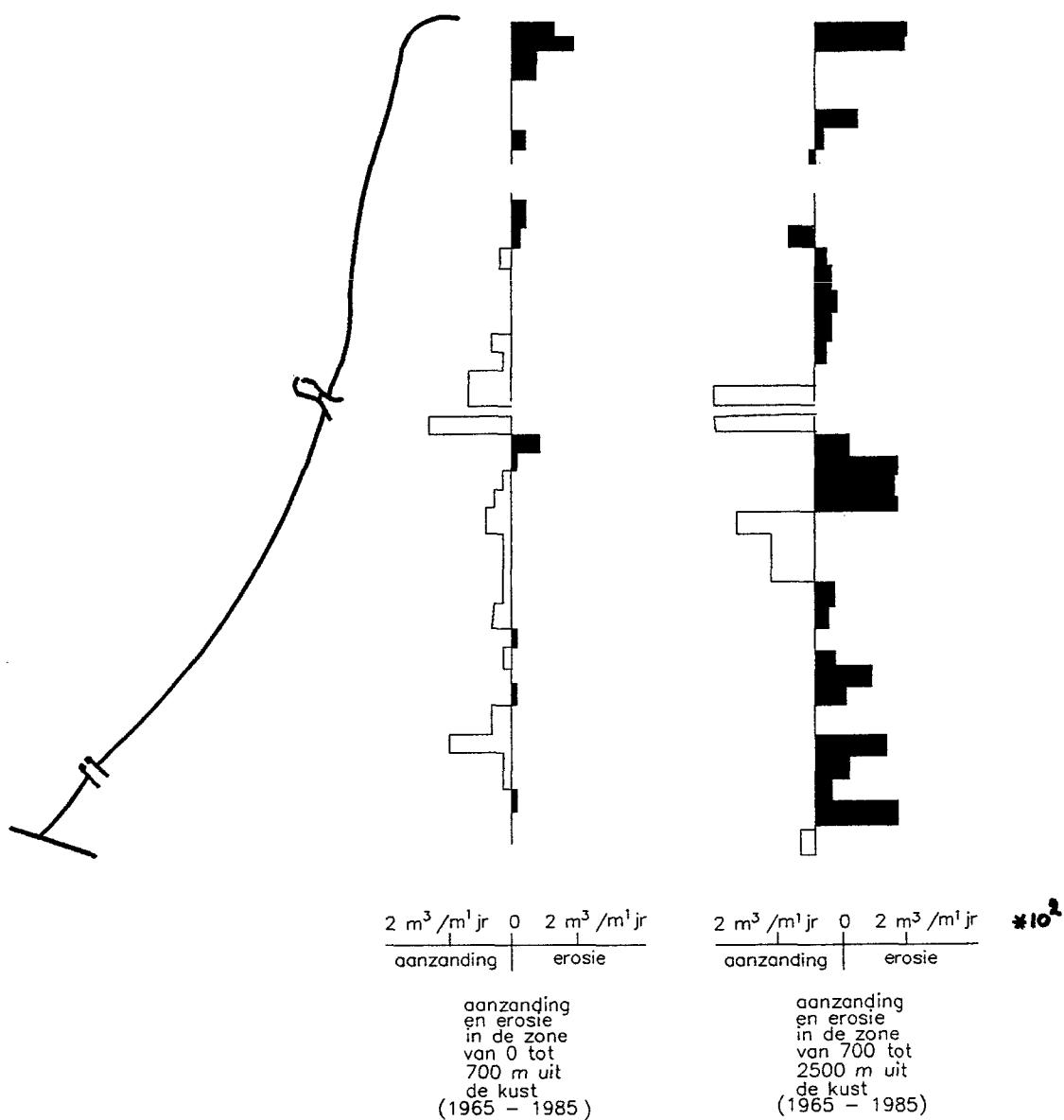


a. Extreme aanzanding/erosie (6 a 7) waarnemingen)



b. Genormeerde extreme aanzanding/erosie (4 of meer waarnemingen)

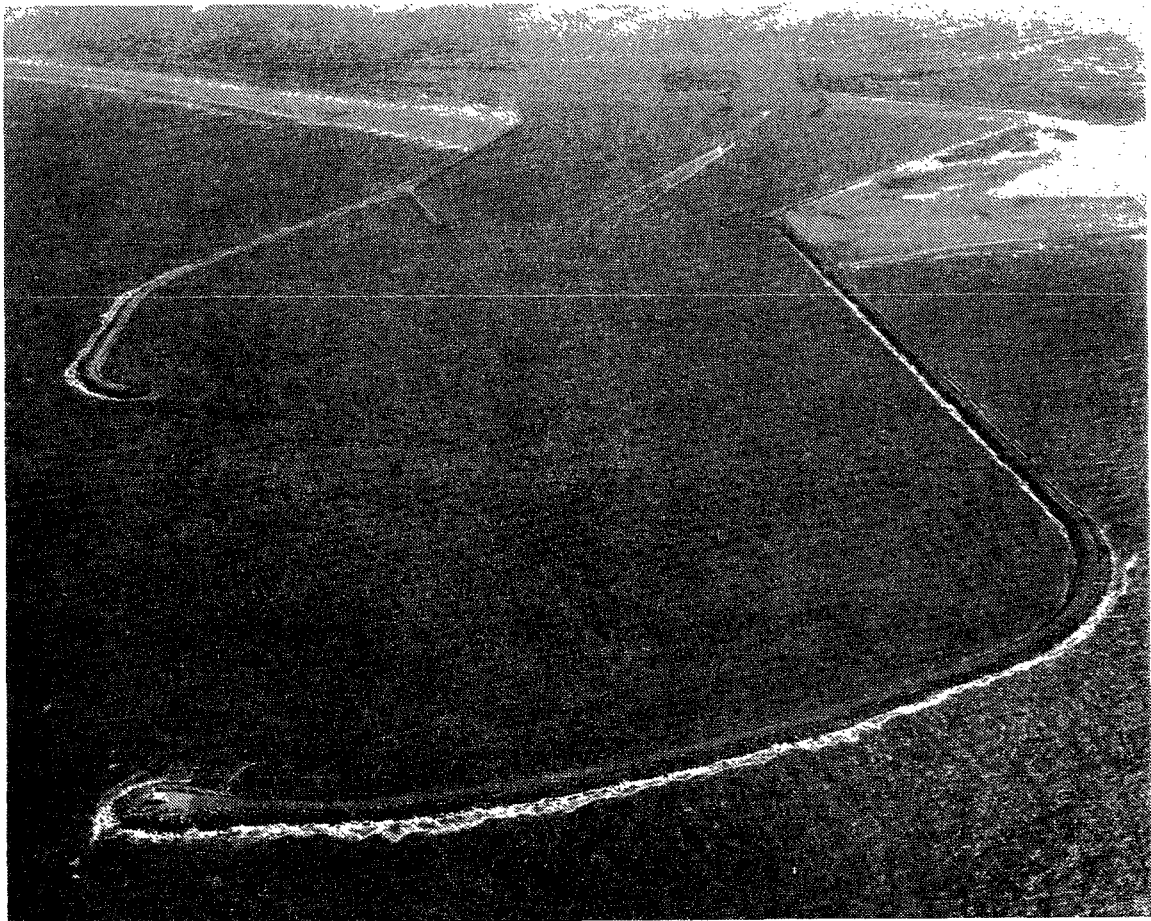
Figuur 2.4 Extreme kustaanplantingen en -erosies bij havenhoofden



Figuur 2.5 Aanzanding en erosie langs de Hollandse kust



De grootschalige veranderingen van de Hollandse kust in de laatste 20 jaar zijn weergegeven in figuur 2.5 (ontleend aan Kohsiek, 1988). Uit deze figuur blijkt dat alleen bij IJmuiden duidelijk sprake is van een grootschalige invloed, en dat bij de andere twee havendammen de invloed veel beperkter is.



Havendammen IJmuiden

### 3 ZEEDIJKEN EN BOULEVARDS

#### 3.1 Inleiding

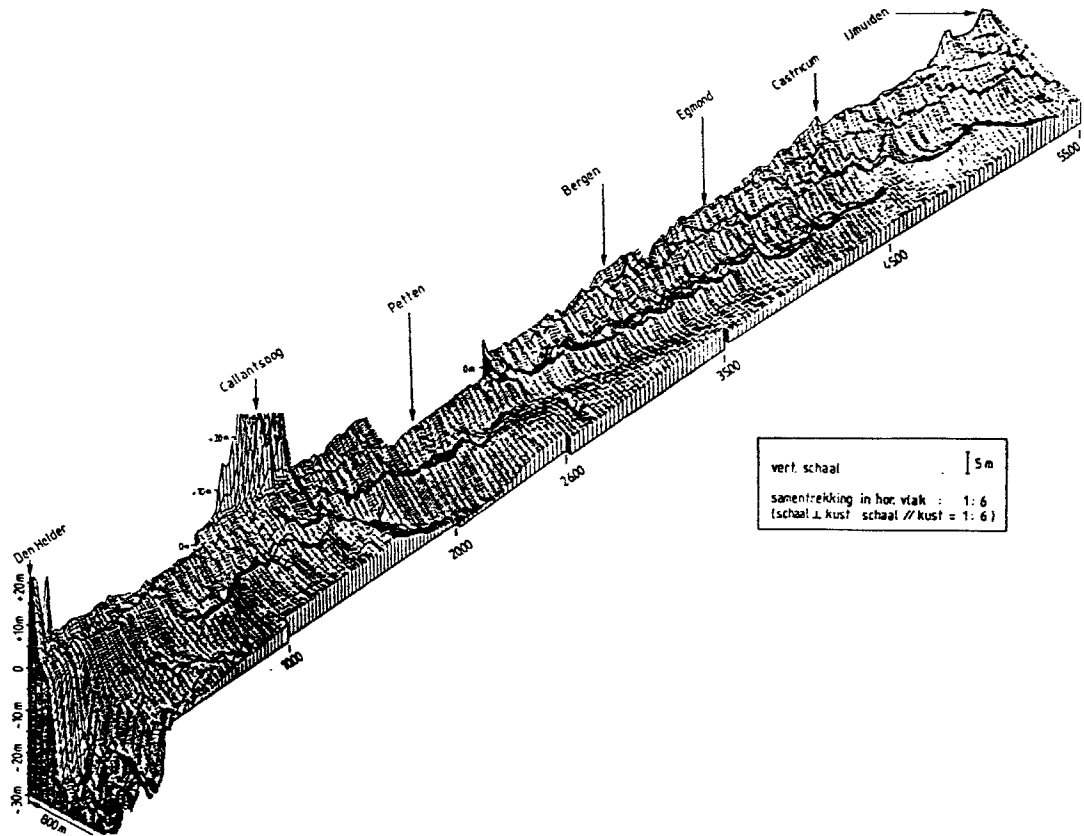
In Nederland zijn een aantal harde verdedigingen evenwijdig aan de kust te vinden, de boulevards, zeedijken en duinvoetverdedigingen. Het is niet altijd even duidelijk om hier een onderscheid tussen te maken. Het betreft de volgende elementen:

- Bolwerk Eijerland, een duinvoetverdediging met bestorting; het belangrijkste doel is hier het beteugelen van de getijstroom in het Robbengat
- Helderse Zeewering, een zeedijk met bestorting; het doel is het beteugelen van Marsdiep en Breewijd.
- Hondsbossche en Pettemer Zeewering, een zeedijk met bestorting; doel is waterkering en het tegengaan van kustachteruitgaan ter plekke.
- Boulevards Noordwijk en Katwijk, een strandmuur met een uitsluitend recreatief doel zonder zeewerende functie.
- Boulevard Scheveningen, een strandmuur met verborgen duinvoetverdediging (ligt onder het zand); doel is afslagstabilisatie en toerisme.
- Flauwe werk Goeree, een dijk zonder bestorting; doel is waterkering.
- Noorderstrand Schouwen, een lage duinvoetverdediging; doel is afslagstabilisatie.
- Onrustpolder Noord Beveland, een korte zeedijk; doel is waterkering.
- Westkappelse Zeedijk, zeedijk met bestorting; doel is beteugeling van de getijstroom en waterkering.
- Zoutelande, duinvoetverdediging, uitgevoerd als dijk; doel is waterkering
- Vlissingen en omgeving; zeedijk met bestortingswerken, gedeeltelijk uitgevoerd als boulevard; doel is primair waterkering, daarnaast ook beteugeling van de Sardijngeul.
- Zeedijken Breskenspolders; zeedijken met bestortingen, primair werkend als waterkering.
- Kivittepolder Cadzand; duinvoetverdediging uitgevoerd als dijk; afslagstabilisatie en waterkering.

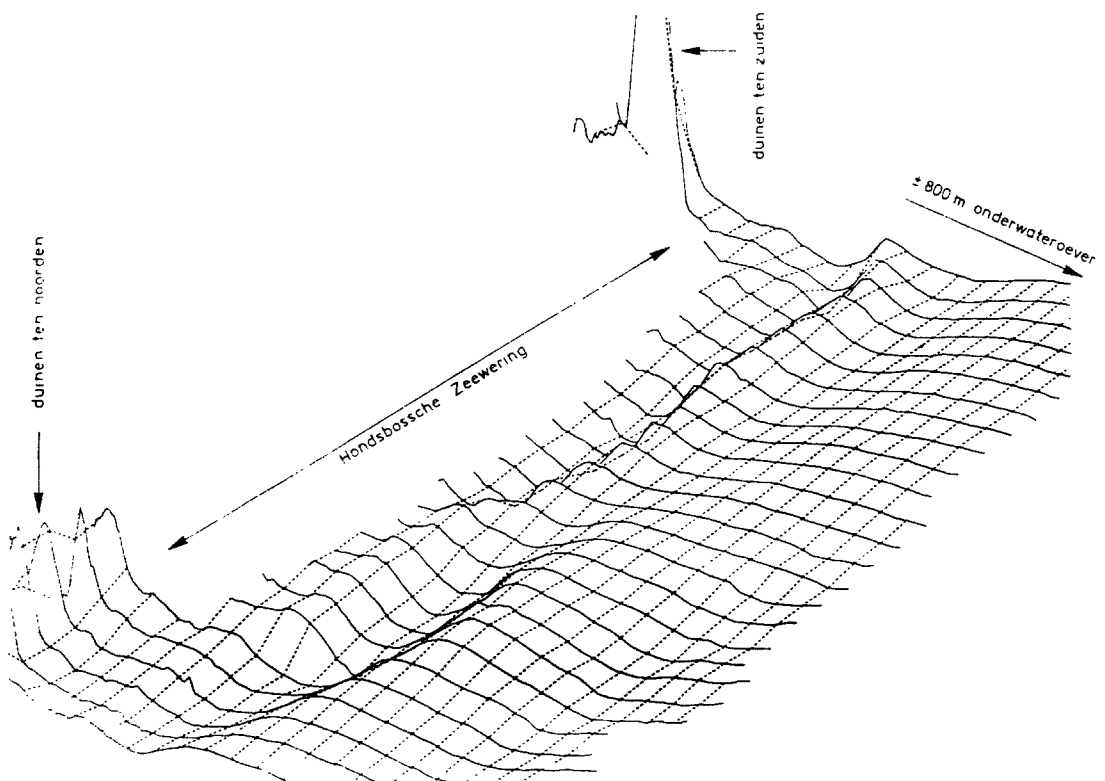
Gedetailleerde omschrijving van de genoemde verdedigingen zijn te vinden in Technisch Rapport 16 *Harde kustverdediging, zeedijken, havengebieden en strandmuren*. Voor een analyse van de werking van deze elementen zal in dit rapport een scheiding gemaakt worden tussen elementen langs een geul en elementen zonder geul ervoor.

#### 3.2 Elementen langs een getijgeul

De dijken die langs een geul liggen zijn het bolwerk Eijerland, de Helderse Zeewering, de Westkappelse Zeedijk, de verdedigingen bij Zoutelande en Vlissingen en de dijken in Zeeuws-Vlaanderen tussen Breskens en Nieuwvliet.



Figuur 3.1 Onderwateroever in de buurt van de Hondsbossche Zeewering



Figuur 3.2 Onderwateroever bij van de Hondsbossche Zeewering

Zonder uitzondering liggen deze dijken binnen de oorspronkelijke kust, ook al is dat voor een deel van de boulevard van Vlissingen als sinds 1326. De oorspronkelijke kust heeft soms bestaan uit duinen, die door opdringende geulen en golven werden geerodeerd. Toen de duinen zo waren aangetast dat ze onvoldoende zeeverend waren, werden ze omgebouwd tot dijken. Op andere gebieden heeft de eerste zeevering bestaan uit dijken op droogvallende platen (Vlissingen, Zeeuws-Vlaanderen, deel Helderse Zeevering). Al deze dijken zijn doorgebroken en een of meerdere keren vervangen door meer naar binnen gelegen dijken. Bij het moeten verlaten van het oude dijktracee heeft steeds een opdringende geul (Marsdiep, Sardijngeul, Wielingen) een grote rol gespeeld.

Op dit moment zijn bij deze dijken vrijwel overal bestortingswerken aanwezig die die directe aanval door de getijstroom voorkomen. Soms zijn dit kribben met verzwaarde koppen, in andere gevallen is een bestorting evenwijdig aan de dijk aangebracht.

Sinds 1750 zijn alle genoemde dijken op hun plaats gehandhaafd. De effecten van de zeedijken zijn in vrijwel alle gevallen het vastleggen van getijgeulen, waardoor lokaal verdieping is opgetreden. Daarnaast liggen veel dijken aan het "begin" van een kustvak, waardoor er geen zandvoeding voor de naastgelegen kustvakken is. Deze kustvakken gaan eroderen. Hierdoor moet of de dijk uitgebreid worden, of moet een kunstmatige zandvoeding plaats vinden. Een duidelijk voorbeeld hiervan in de erosie in de omgeving van Joossesweg aan de zuidzijde van de Westkappelse Zeedijk. Bij vrijwel alle zeedijken aan diepe geulen zijn deze negatieve effecten op aangrenzende kustvakken waar te nemen.

### 3.3. Elementen met een flauwe onderwateroever

De Hondsbossche en Pettemer zeevering heeft voor de dijk dezelfde onderwateroever als de aanliggende kustvakken, zie figuur 3.1 en 3.2. De dijk steekt ten opzichte van de aanliggende duinen enigszins in zee en heeft daardoor geen strand. Ook het patroon van de brandingsruggen op de onderwateroever loopt gewoon door voor de dijk, en wordt klaarblijkelijk niet beïnvloed door de zeevering. Geconstateerd kan worden dat de zeevering hier weinig tot geen invloed op het erosieproces zelf gehad heeft.

Ter plaatse van de strandmuren waar nauwelijks erosie optreedt (Scheveningen, Katwijk, Noordwijk) kan geconstateerd worden dat er in het geheel geen invloed is van de strandmuur op de kust. Tijdens normale winterstormen treedt bij een onverdedigd duin altijd enige afslag op. Dit afgeslagen zand zet zich af op het strand en stuift in het daaropvolgende seizoen weer tegen de duinvoet aan. Door de bouw van een duinvoetverdediging of een boulevard op een stabiel kustvak wordt deze dynamiek doorbroken. Tijdens de winterstormen zal er geen zandvoeding uit het duin mogelijk zijn, en treedt over het algemeen een verlaging op van het strand. Dit zand komt 's zomers voor een groot deel weer terug. Omdat dit afhankelijk is van het weer heeft gedurende sommige zomers het strand een (uit recreatief oogpunt) te lage ligging. Door suppletie is dit probleem op te lossen (Scheveningen).

Ditzelfde verschijnsel wordt waargenomen bij de eroderende kustvakken met een duinvoetverdediging (bijv. bij Cadzand). Daar komt echter het zand in de zomer niet terug, omdat het in de getijgeul verdwenen is. In dit geval wordt de kustachteruitgang (=achteruitgang van de duin-

voet) omgezet in een strandverlaging. Voor het overall kustgedrag maakt dat echter niet zoveel uit. Er blijft een vaste hoeveelheid zand aan kustvak onttrokken worden.

Bij de duinvoetverdediging op Schouwen (steile, aangroeiende kust) kan ook geconstateerd worden dat deze geen invloed (meer) heeft op de morfologie.



Zeedijk

## 4 DE DELTAWERKEN

### 4.1 Inleiding

Door de uitvoering van de deltawerken is de hydraulische toestand in de voordelta ingrijpend veranderd. Dit heeft grote konsekventies op de morfologie van dit gebied. De veranderingen in het voordelta-gebied zijn echter geen onderwerp van studie in dit rapport; slechts de invloed van deze veranderingen op de kust komt aan de orde.

### 4.2 Morfologische veranderingen in de voordelta

Uit het voordelta-onderzoek (Kohsiek en Mulder, 1989) is gebleken dat er, door het (gedeeltelijk) wegvallen van de getijstroom in en uit de zeegaten, bankvorming zal optreden in de voormalige zeegaten. Dit zal voornamelijk het geval zijn in de monding van het Haringvliet en voor de Brouwersdam. Tegelijkertijd zal de buitenrand van de voordelta (de NAP -10 lijn) landwaarts verplaatsen. Door dit proces komt veel zand vrij dat zich voor een deel ook op de kust zal afzetten. De verwachting is dat met name de kuststroken waar geen getijgeulen voor liggen, sterk zullen verzanden (NW Schouwen, NW Goeree). Dit proces kan mogelijk versterkt worden doordat de nieuwe zandbanken een extra golfremmende werking hebben, waardoor de golfaanval op de kust ook minder wordt. Dit laatste zal echter niet van doorslaggevende betekenis zijn, omdat de nieuwe banken voornamelijk bescherming zullen gaan bieden aan de deltdammen, en slechts in mindere mate aan de bestaande kust.

### 4.3 Voorne en de Slufter

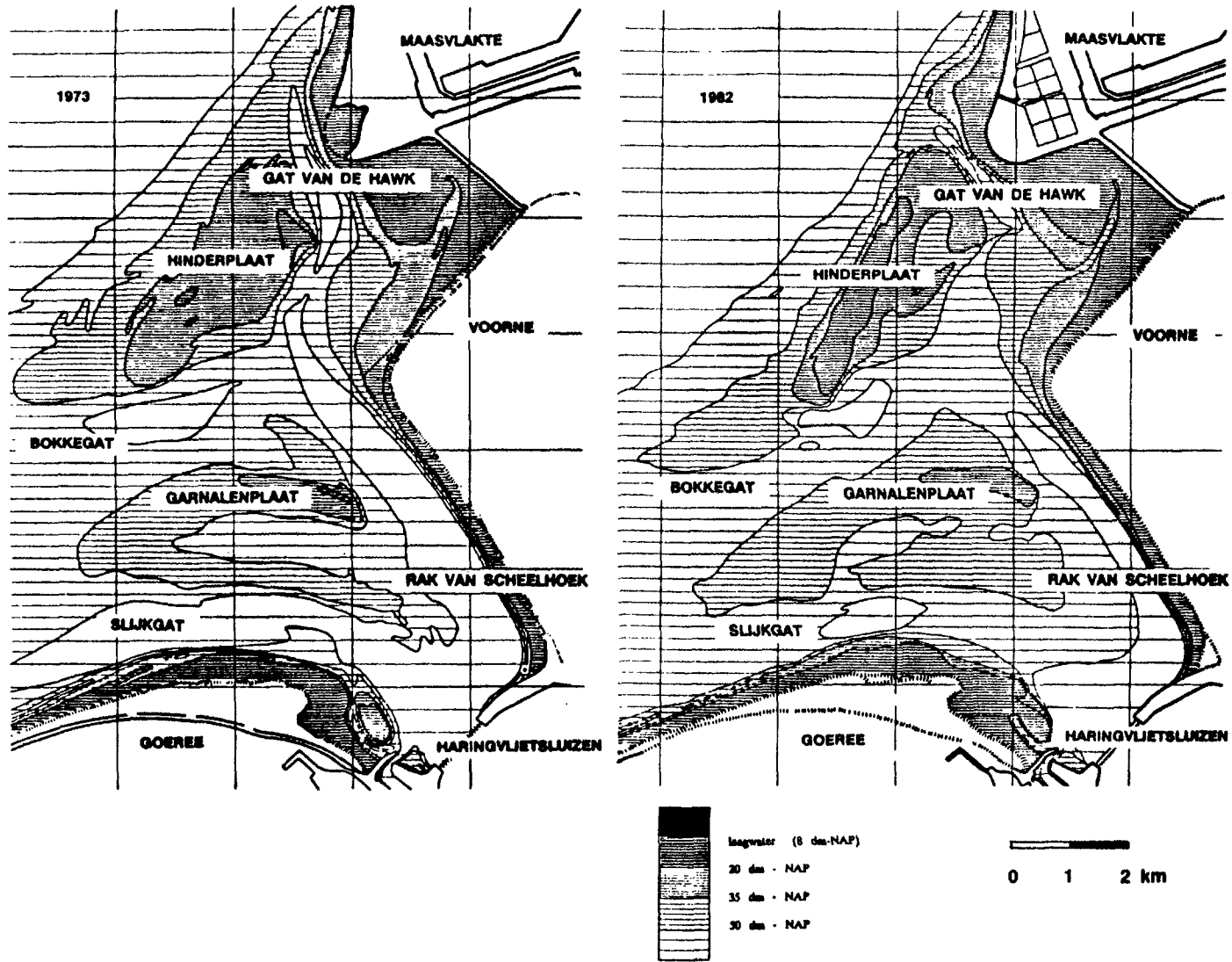
In de monding van het Haringvliet zijn bovengenoemde processen al enige jaren bezig (zie figuur 4.1 en 4.2, ontleend aan Van der Spek, 1987). Hier blijkt duidelijk het omhoog komen van de Hinderplaat, alsmede de erosie van de buitenrand van de voordelta.

Door de aanleg van de Slufter is de kust van Voorne nog meer beschermd, en de verwachting is dat het gebied tussen de Slufter en Voorne voor een groot deel zal aanzanden/aanslibben. Door dit proces zal de golfaanval op de kust minimaal worden, en zal er geen sprake meer zijn van erosie.

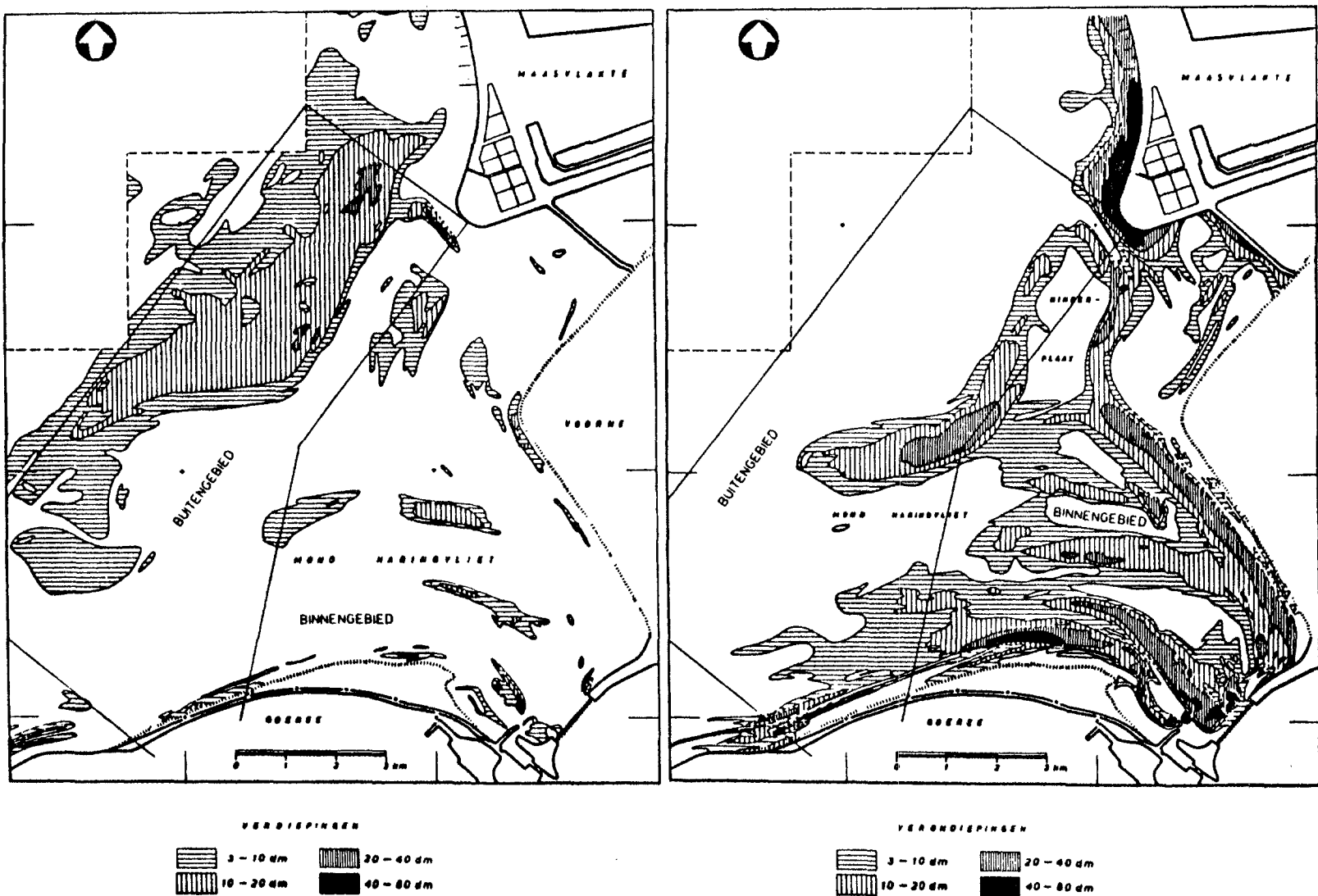
### 4.4 Het Brouwersdamgebied

Ook voor de Brouwersdam ontstaan zandbanken. Deze banken zullen zich verbreden en landwaarts verplaatsen. Tussen deze banken en de kust van Goeree bevindt zich momenteel een klein geultje, dat opengehouden wordt door het getijverschil tussen het bekken voor de Brouwersdam en het bekken voor de Haringvlietsluis (zie fig. 4.3). De verwachting is dat dit geultje blijft bestaan, doch zich niet zal verbreden. Hierdoor blijft er sprake van enige getijstroom voor de kust van Goeree. Indien dit geultje afgesloten wordt (op natuurlijke of kunstmatige weg), dat zal dit zeer waarschijnlijk tot uitbouw van de kust van Goeree leiden.

Figuur 4.1 Bodeligging van de Haringvliedmond in 1973 en 1982



Figuur 4.2 Diepte veranderingen in de Haringvlietmond tussen 1971 en 1981





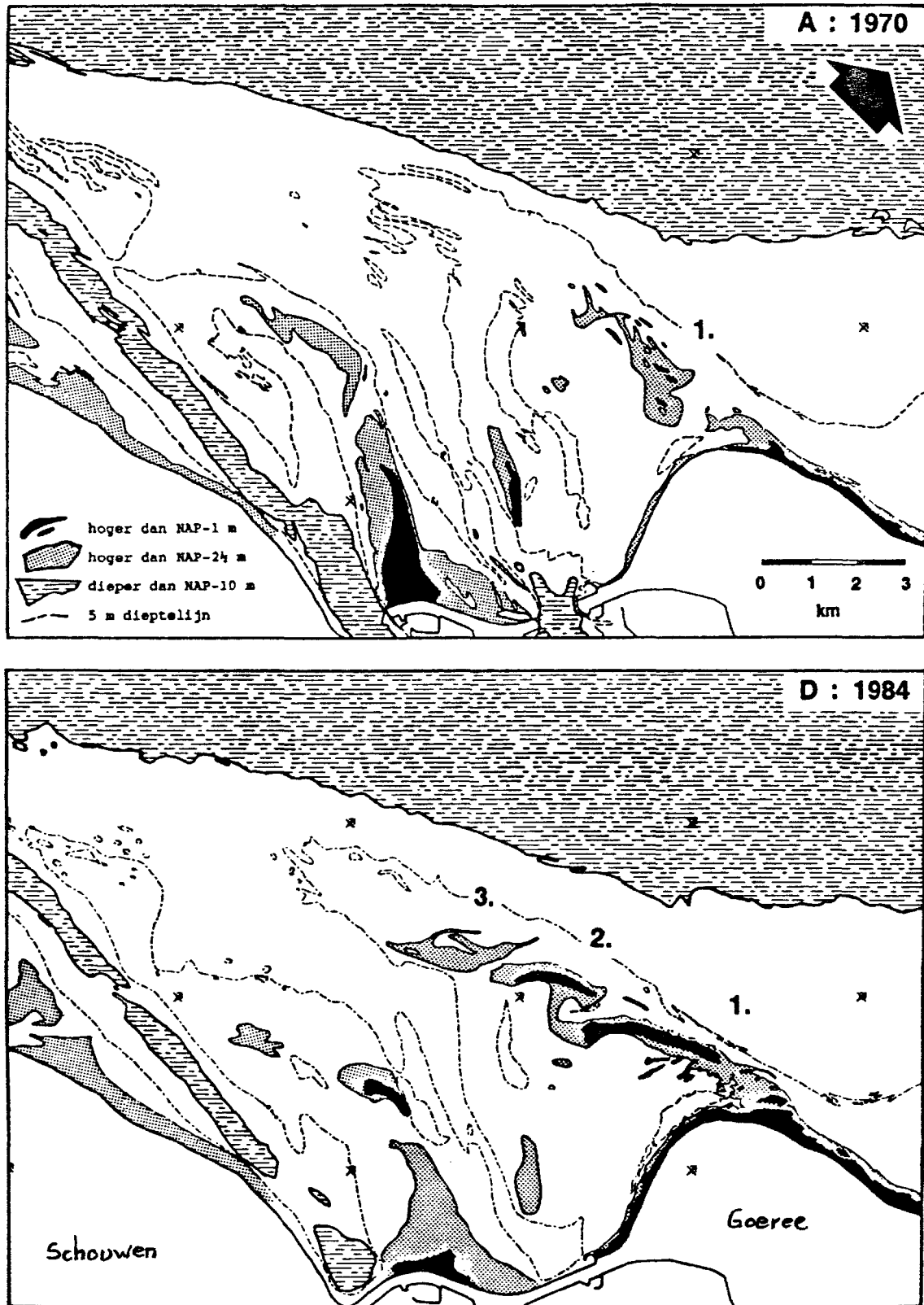
Door het wegvallen van de getijstroom is de noordelijke oever van Schouwen veel stabiel geworden. Deze oever zandt momenteel behoorlijk aan, waardoor de veiligheid van noord-Schouwen aanzienlijk toeneemt. Dit proces gaat echter steeds langzamer, omdat naarmate de aanzanding dichterbij de Brouwersdam komt, de aandrijvende krachten (=golven) minder worden, en de op te vullen waterdiepte groter wordt.

#### 4.5 De Oosterschelde

De veranderingen in de mond van de Oosterschelde zijn niet zodanig dat zij een wezenlijke verandering van het geulenpatroon veroorzaken. De verwachting is daarom dat de invloed van de Oosterscheldewerken op de kust niet zo groot is. Gezien de recente oplevering van deze werken is het nog niet mogelijk uitspraken te doen op grond van meetgegevens.



Brouwersdam



Figuur 4.3 Diepteligging van het Brouwersdamgebied in 1970 en 1984

## 5 OVERIGE CIVIELE WERKEN

Hieronder wordt verstaan de invloeden van de kombergingsverkleining door inpolderingen of afsluitingen in estuaria en de effecten van bodemdaling door gas- en oliewinning.

Het is niet mogelijk gebleken om een relatie te leggen tussen de de kombergingsverkleiningen en de veranderingen in het gedrag van de kust. Zelfs aanzienlijke wijzigingen, zoals de afsluiting van de Zuiderzee en de Lauwerszee zijn niet aantoonbaar in het kustgedrag terug te vinden. Wel hebben zijn invloeden op het dwarsprofiel van de getijgeulen, die op zullen hun beurt weer een indirecte invloed op het gedrag van de kust gehad hebben, maar ook dit is moeilijk direct aantoonbaar.

Bodemdaling t.g.v. gas- en aardoliewinning hebben wel een directe invloed op de kust. Voor Ameland zijn hiervoor door het Waterloopkundig Laboratorium 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 waarnemingsreeksen na aanvang van de gaswinning.

De effecten van bodemdaling op de kust zijn volledig vergelijkbaar met de effecten van zeespiegelrijzing. Op de zeespiegelrijzing wordt in een aantal andere Technische Rapporten in detail ingegaan, dit zal hier niet herhaald worden.

## 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Ten aanzien van de havendammen van IJmuiden, Scheveningen en Hoek van Holland is geconstateerd 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. Gezien het feit dat het niet in de verwachting ligt dat er nieuwe havendammen gebouwd zullen worden is nader onderzoek om de kennis op dit gebied te verbeteren, niet nodig. Indien echter overgegaan wordt op zeewaartse kustverdediging met harde elementen (zie Technisch Rapport 20) zullen mogelijk gelijkwaardige constructies gebouwd worden. Het is in die gevallen zinvol om de waarnemingen die gedaan zijn na de bouw van met name de havendammen van IJmuiden en Hoek van Holland zeer gedetailleerd te analyseren, en te gebruiken als ijk materiaal voor kustmorfologische modellen.

Ten aanzien van zeedijken en boulevards wordt geconstateerd dat zij slechts een zeer beperkte invloed hebben op het grootschalig 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 lijerrosie van 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 optreden, 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 de suppleren) stranden.

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

Kennis om zeedijken te bouwen en in stand te houden is aanwezig. Het onderhoud van de bestortingen van zeedijken is een dure zaak. Meer kennis inzake de stabiliteit en het erosieproces van deze bescherming

kan leiden tot een verlaging van de onderhoudskosten (rationeel kustonderhoud).

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.

Het is noodzakelijk om voor de kustontwikkeling in de wat verdere toekomst een beter beeld te hebben van de ontwikkelingen in de voordelta. Het volgen van de processen aldaar is derhalve nodig.

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. Een relatie tussen berekeningen van het effect van de bodemdaling op Ameland en de waargenomen kustligging is nog niet mogelijk vanwege de te korte waarnemingsreeks na aanvang van de gaswinning.

Gezien het identieke effect van bodemdaling en zeespiegelrijzing is het aan te bevelen om de ontwikkeling van het eiland Ameland zeer nauwkeurig te volgen, en te trachten de relatie bodemdaling/kusterosie ook via meetgegevens kwantitatief te bepalen.

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 invloed van havendammen is voor periodes van enkele 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.

Algemeen onderzoek naar de effecten van harde verdedigingen op de kustmorfologie is geen zaak van hoge prioriteit, als niet overgegaan wordt op Zeewaartse kustverdediging. Wel dient aandacht besteed te worden aan rationalisatie van het onderhoud van de harde verdedi-

gingen en aan de effecten van bodemdaling door gaswinning (met het oog op de zeespiegelrijzing).

## Literatuuroverzicht

Bakker, W.T. (1971)

De dynamica van kusten

Rijkswaterstaat, nota WWK 71-22

Kohsiek, L.H.M. (1988)

Kustafslag en -aangroei in Nederland

Rijkswaterstaat, nota GWAO-88.007

Kohsiek, L.H.M. en Mulder, J.P.M. (red) (1989)

De voordelta, een watersysteem verandert

Rijkswaterstaat, samenvatting van nota GWAO-88.002

Poel, S.J. (1985)

Kustontwikkeling Noord-Holland bezuiden IJmuiden

Rijkswaterstaat, nota WWKZ-85.H003

Spek, A.J.F. van der (1987)

Inventariserend morfologisch onderzoek Voordelta; beschrijving van de ontwikkeling van de buitendelta's van Haringvliet en Grevelingen

Rijkswaterstaat, nota GWAO-87.105

Waterloopkundig Laboratorium (19..)

Stroombeeld bij de havenhoofden van IJmuiden

rapport M526