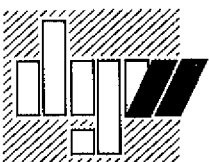


kust in beweging voorspellen van de veranderingen

2



INHOUD

1. INLEIDING	
meer water, minder land?	3
kustbeleid	3
2. AANGROEI OF ACHTERUITGANG?	
zandtransport	5
een balans uit evenwicht	5
duinafslag	5
3. FACTOREN DIE DE KUSTLIGGING BEÏNVLOEDEN	
golven	7
getij	7
zeespiegelstijging	7
wind	9
'zandgolven'	9
4. REKENMODELLEN	
meten is weten	11
van verleden naar toekomst	11
morfologische modellen	11
uit evenwicht	13
5. METHODE VOOR KUSTLIJNBEREKENINGEN	
bundeling van kennis	15
doortrekken van de ontwikkeling	15
zandbalans-model	15
plaatselijke ontwikkelingen	15
betrouwbaarheid van de methode	17
6. VOORSPELLING KUSTLIJNLIGGING	
situatie in 2030	19
betekenis voor het kustbeleid	19

meer water, minder land?

Als we niets doen, gaat onze kust op veel plaatsen steeds verder achteruit; Nederland wordt ieder jaar een stukje kleiner. Dat komt omdat onze kust voor het grootste deel uit zand bestaat. Dit zand wordt onder invloed van golven, getij en wind voortdurend verplaatst. Grijpen we niet in op plaatsen waar zand verdwijnt, dan worden onze stranden daar steeds smaller en lager. Bij hoge waterstanden kunnen golven dan de duinvoet bereiken en er slaat een stuk van de duinen. De Nederlandse kust is in 1990 overal veilig, Deltaveilig. Dat wil zeggen dat onze duinen en dijken een waterstand kunnen keren die eens in de tweeduizend jaar optreedt bij de Waddeneilanden, eens in de tienduizend jaar bij de Hollandse kust en eens in de vierduizend jaar bij de Deltakust. Ter vergelijking: de waterstand tijdens de februari-storm in 1953 komt gemiddeld eens in de 300 jaar voor. Op sommige plaatsen echter zijn de duinen inmiddels zo smal geworden, dat deze Deltaveiligheid niet meer overal gegarandeerd kan worden als de kust nog verder achteruit zou gaan. Gelukkig vinden we langs het grootste deel van de kust bredere duingebieden. Toch willen we op die plaatsen lang niet altijd zomaar een stuk duingebied aan de zee prijsgeven, omdat het gaat om een belangrijk stuk natuurgebied, of omdat het gebied voor recreatie of waterwinning gebruikt wordt.

kustbeleid



*Delflandse hoofden.
Traditionele wijze van kustverdediging.*

In 1989 werd daarom door de minister van Verkeer en Waterstaat de discussienota 'Kustverdediging na 1990' uitgebracht. Deze nota geeft een viertal manieren aan waarop wij in Nederland de komende 100 jaar met onze kust om kunnen gaan. Houden we de kustlijn vast, geven we duingebied aan de zee prijs, geven we duingebied prijs met uitzondering van de belangrijkste gedeelten, of gaan we op zwakke plaatsen de erosie stoppen en zelfs kustaangroei bevorderen? Dat zijn in grote lijnen de mogelijkheden waaruit gekozen kan worden. Welke methode we ook kiezen, de verdediging van onze kust kost geld, enkele tientallen miljoenen guldens per jaar. Dit geld willen we goed besteden. Dat wil dan zeggen dat we bijvoorbeeld geen dure strandhoofden moeten aanleggen op een plaats waar de kust over een jaar of tien niet meer achteruit gaat, maar juist aangroeit. Ook moeten we geen dure maatregelen treffen op plaatsen waarvan we het niet zo erg vinden als daar nog eens een stukje duingebied verloren zou gaan. Wel moeten we er voor zorgen, dat de veiligheid van Nederland gehandhaafd blijft. Er moeten dus wel maatregelen genomen worden op plaatsen waar door de kustachteruitgang de Deltaveiligheid over een aantal jaren niet meer gegarandeerd kan worden. Om een verantwoord kustverdedigingsbeleid uit te kunnen stippelen is het noodzakelijk om na te gaan wat de gevolgen van dat beleid zijn voor de kustlijnontwikkeling in de komende tientallen jaren; waar groeit de kust aan, waar kalft hij af? In het volgende laten we zien hoe een voorspelling van de kustlijnontwikkeling tot stand komt en met welke natuurlijke processen daarbij rekening gehouden wordt.

- Toelichting:
 A. getijtransport
 B. dwarstransport
 C. brandingsstroomtransport
 D. duinafslag
 E. transport door wind

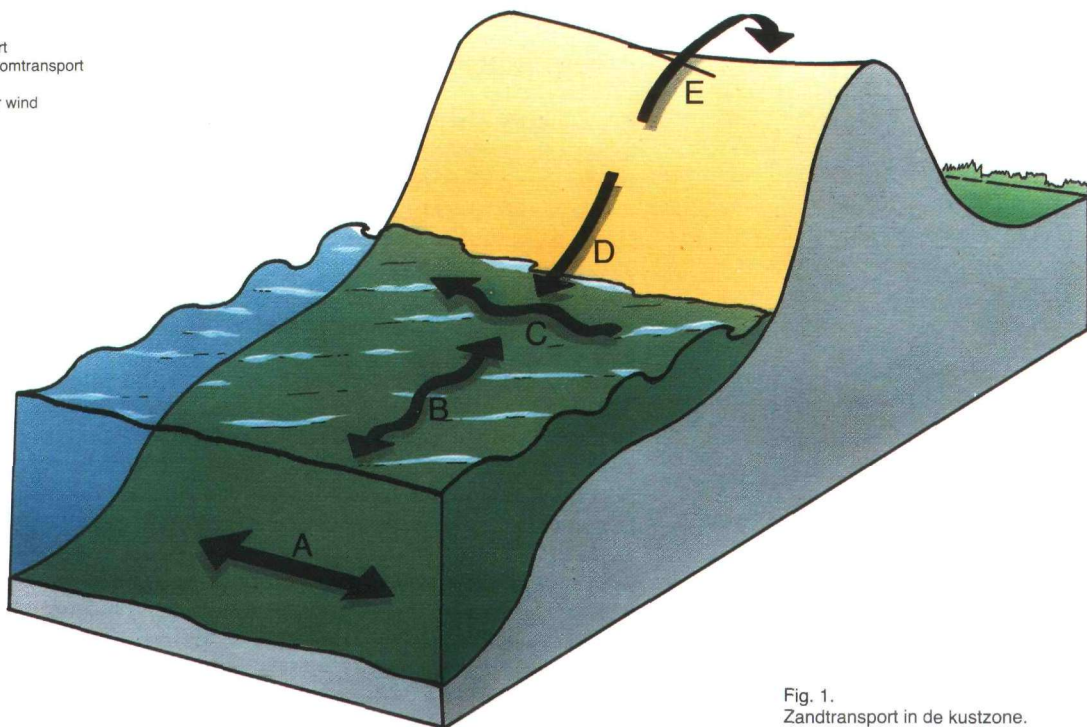


Fig. 1.
Zandtransport in de kustzone.

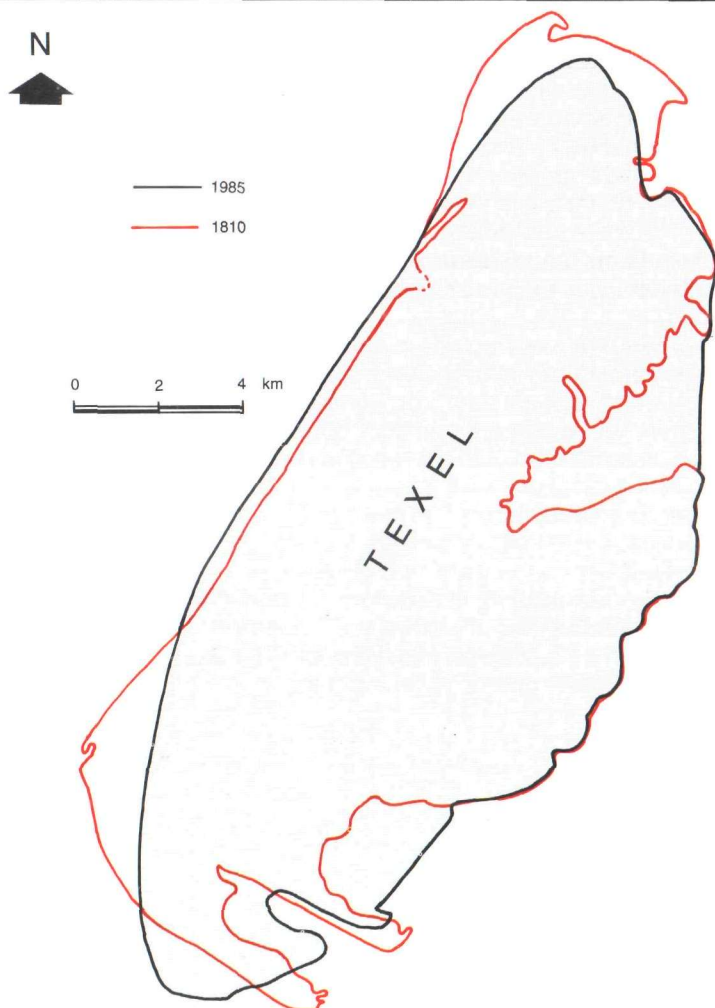
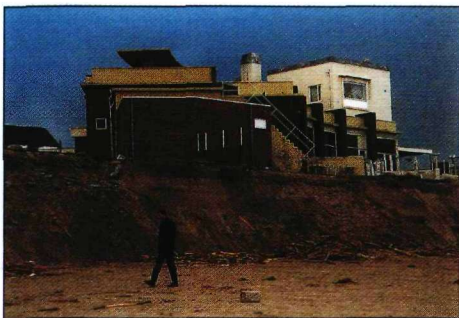


Fig. 2.
Kustlijnverplaatsing Texel.
 De Noordzeekust van Texel vertoont in de periode 1810-1985 op enkele plaatsen achteruitgangen tot 1,5 km. Over grote lengte is de kustlijn echter ca. 300 m zee-
 waarts verschoven.



Egmond aan Zee.

Situatie na de stormperiode van januari/februari 1990.

2. AANGROEI OF ACHTERUITGANG?

zandtransport

Een zandkust zoals wij die in Nederland kennen, is een ingewikkeld systeem. De kust bestaat uit een langgerekt gesloten gedeelte van Hoek van Holland tot Den Helder en aan weerszijden daarvan het Wadden- en het Deltagebied met een onderbroken kustlijn. Met name bij de onderbroken kust spelen veel verschillende natuurlijke processen door elkaar. Sommige van die processen hebben effect op de korte termijn (dagen, maanden), andere pas op de langere termijn (tientallen jaren). Daarnaast grijpen we als mens regelmatig in door de uitvoering van grote waterbouwkundige werken, zoals de afsluiting van de Zuiderzee en de Deltawerken.

Als we een stukje van de kust bekijken, zien we daar een heleboel gebeuren (figuur 1). Golven maken zand los van de vooroever en vooral van het strand. Dit zand kan meegevoerd worden door bijvoorbeeld de ebstroom en in een volgend kustvak worden afgezet; een groot deel hiervan komt dan met de vloedstroom weer terug. Gelijktijdig wordt zand door de getijstroom vanaf een ander kustgedeelte aangevoerd.

een balans uit evenwicht

Ieder kustvak verliest zo voortdurend zand en krijgt steeds weer zand terug. Deze (zand)balans is vaak niet in evenwicht. Soms is het verlies wat groter, soms de winst. Dit varieert van jaar tot jaar. Als in een kustvak over een wat langere periode (bijvoorbeeld vijf jaar) verlies optreedt, dan gaat in zo'n kustvak de kustlijn achteruit, we noemen dat erosie. Komt er zand bij, dan is er sprake van aangroei of sedimentatie.

Op veel plaatsen langs de Nederlandse kust treedt erosie op; onze kust gaat daar dus achteruit. Als we de afgelopen 100 jaar bekijken soms met gemiddeld 0,5 - 1 m per jaar (bijvoorbeeld langs de kust van Noord-Holland), soms met gemiddeld meer dan 5 m per jaar (zoals plaatselijk op Texel). Op andere plaatsen gaat de kust vooruit, zoals het middelste deel van de Hollandse kust en plaatselijk in het Wadden- en Deltagebied.

Om te bepalen of in de toekomst in een kustvak erosie of sedimentatie optreedt en hoeveel dat zal zijn, moeten we eerst meer weten over de processen die het zandtransport in de kuststrook beïnvloeden.

duinafslag

Op het eerste gezicht lijkt het alsof stormvloed de oorzaak zijn van kustachteruitgang. Door duinafslag verdwijnen dan namelijk dikwijls vele meters duin in de zee. In de meeste gevallen is deze duinafslag echter juist een gevolg van eerder opgetreden kusterosie. Immers, eroderende kusten hebben lage en smalle stranden, waardoor golven al bij een geringe verhoging van de waterstand de duinvoet bereiken. Na een storm ligt het grootste deel van het afgeslagen duinzand op het strand en de vooroever. Bij een stabiel kustgedeelte wordt dit zand in een rustige periode door getij en wind weer tegen het duin terug gebracht. Bij een eroderende kust echter, zal slechts een deel van het zand weer tegen het duin terug komen. Het andere deel wordt door golven en getij afgevoerd.

In beide gevallen zal na verloop van tijd het effect van de storm weer zijn uitgewist. Dat wil zeggen dat de situatie na een aantal jaren niet anders is dan wanneer er geen storm zou zijn opgetreden. Hoe zwaarder een storm is, hoe langer dit duurt. Na de stormvloed die optrad in februari 1953 duurde het soms meer dan tien jaar voordat het kustprofiel zich had hersteld (figuur 3).

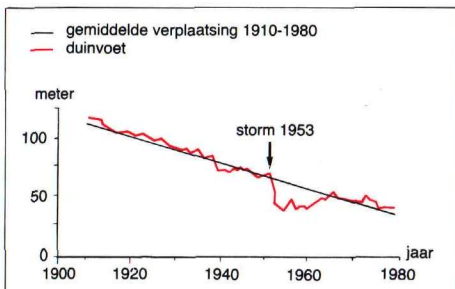
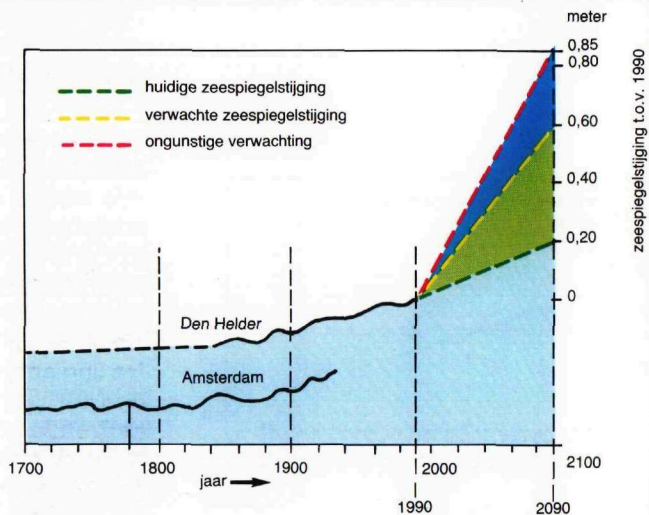
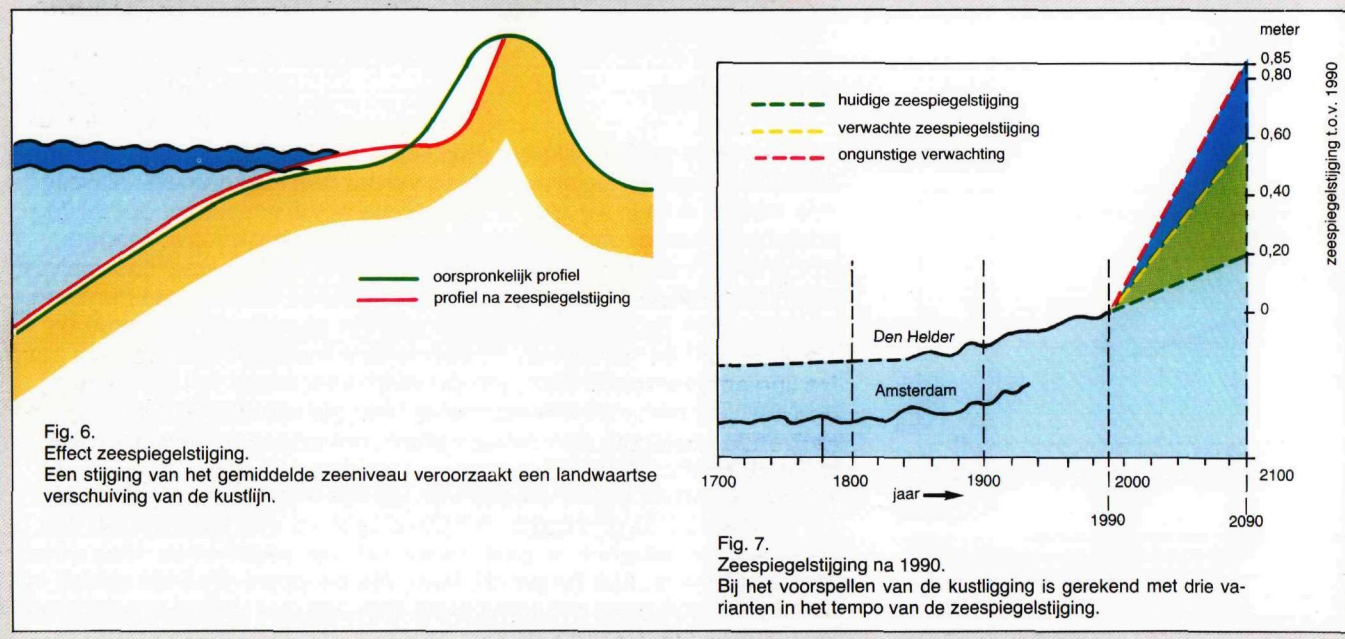
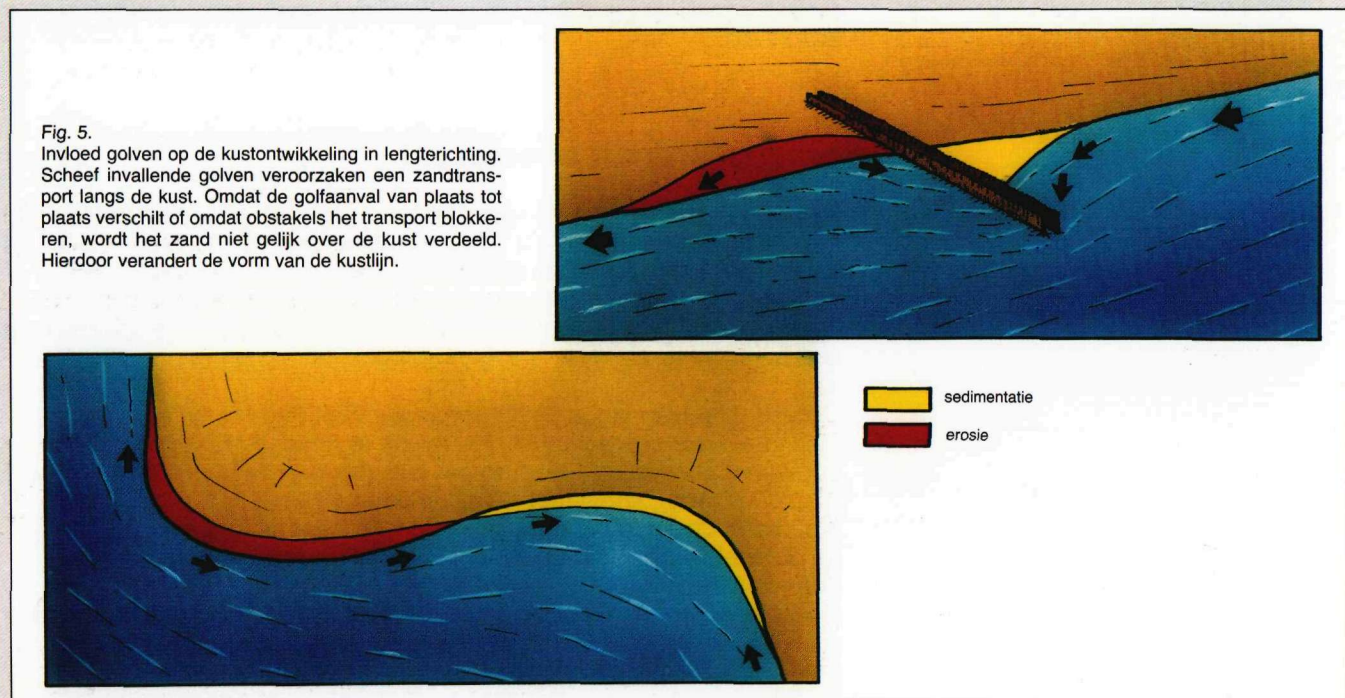
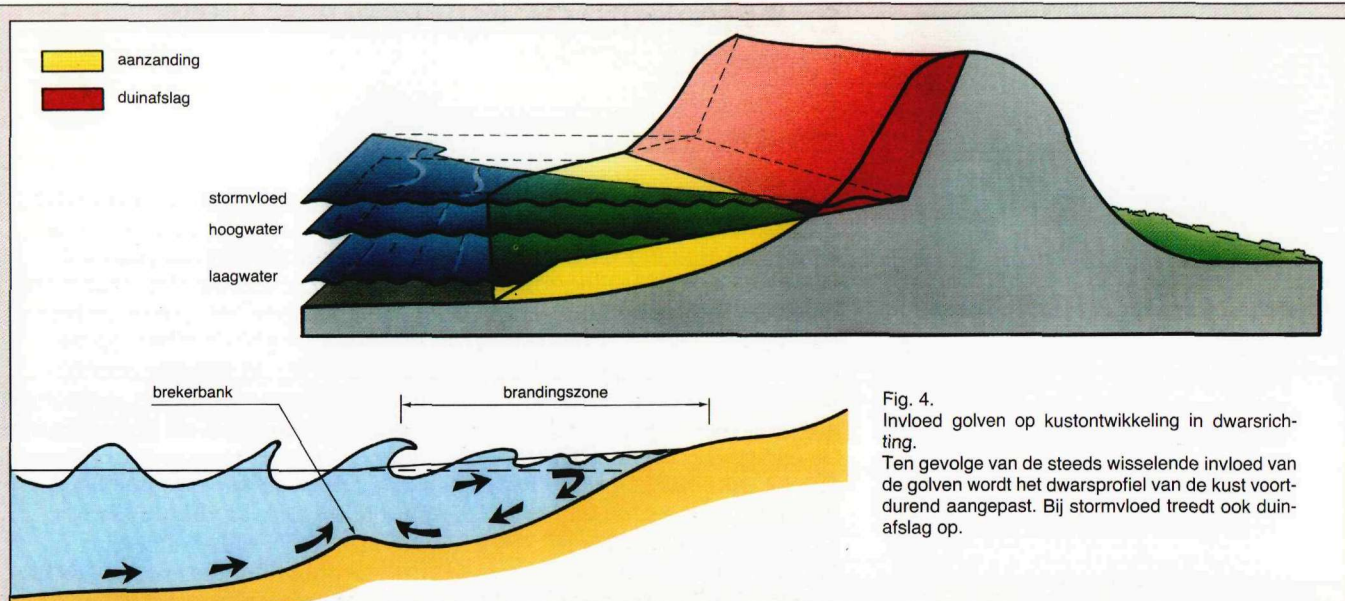


Fig. 3.
Effect zware stormvloed op ligging kustlijn.
De in februari 1953 opgetreden zware stormvloed veroorzaakte in het algemeen een aanzienlijke duinvoet-achteruitgang. In dit geval (omgeving Den Helder) lag de duinvoet na ca. 10 jaar weer op de lijn van de gemiddelde verplaatsing.



3. FACTOREN DIE DE KUSTLIGGING BEÏNVLOEDEN

golven

Als golven de kust bereiken komen ze in ondiep water en gaan ze de bodem 'voelen'. Het zand op de bodem wordt los gewoeld en, zolang de golven nog niet gebroken zijn, verplaatst in de richting van de kust (figuur 4). In het gebied waar de golven breken (brandingszone), vindt juist zandtransport in zeewaartse richting plaats. Dit komt doordat in de brandingszone water wordt opgestuwd en vervolgens langs de bodem naar zee terug stroomt, waarbij het los gewoelde zand meegenomen wordt. Net buiten de brandingszone wordt dus van twee kanten zand aangevoerd. Hierdoor ontstaan de zogenaamde brekerbanken. Doordat de golfomstandigheden aan de Nederlandse kust voortdurend veranderen, is ook de breedte van de brandingszone steeds weer anders en zal ook het strandprofiel voortdurend worden aangepast. In sommige gevallen (bijvoorbeeld bij hoge waterstanden) speelt ook duinafslag bij de vorming van het strandprofiel een rol.

Maar niet alleen loodrecht op de kust vindt zandtransport plaats. Als golven scheef op de kust invallen, ontstaat door de opstuwing een stroming (brandingsstroom) evenwijdig aan de kust. Deze stroming verplaatst het door de golven in beweging gebrachte zand van het ene kustvak naar het andere.

Onderbreken we de brandingsstroom, bijvoorbeeld door aanleg van havendammen of een strandhoofdenstelsel, dan wordt ook het zandtransport onderbroken. 'Voor' het strandhoofd ontstaat dan een zandoverschot en vindt sedimentatie plaats. 'Achter' het strandhoofd begint het transport opnieuw. Daar wordt echter geen nieuw zand aangevoerd, zodat erosie ontstaat en het strand achteruit gaat (figuur 5). Tussen de strandhoofden in blijft de totale hoeveelheid zand in principe gelijk.



IJmuiden.
Aangroei van de kust naast de havendammen.

getij

Langs het gesloten deel van de Noord- en Zuidhollandse kust hebben getijstromingen weinig invloed op de kustligging. Door de getijstromen worden weliswaar grote hoeveelheden zand heen en weer getransporteerd, maar de uiteindelijke verplaatsing van zand is niet groot. In de zeegaten van het Deltagebied en de Waddenzee is de invloed van het getij op de kustontwikkeling groter. Door voortdurend wisselende stromingsomstandigheden zijn in deze gebieden eb- en vloedgeulen ontstaan. Deze geulen kunnen verplaatsen, verdiepen en aanzanden. Soms verdwijnen geulen, terwijl op andere plaatsen nieuwe geulen ontstaan.

In het Deltagebied vinden we voor de koppen van de eilanden bovendien nog zogenaamde kortsluitgeulen tussen de verschillende (afgesloten) zeegaten. Deze kortsluitgeulen verplaatsen zich altijd naar de kust toe. Dit is één van de belangrijkste oorzaken van kustachteruitgang in het Deltagebied.

zeespiegelstijging

De vorm van het kustprofiel wordt bepaald door de golven en het getij. De ligging van het kustprofiel wordt echter bepaald door de gemiddelde waterstand. De zeebodem vlak voor de kust zal altijd proberen de (stijgende) zeespiegel te volgen (figuur 6). Het zand dat hiervoor nodig is, komt van het strand en uit de duinen. Daardoor schuift bij een stijgende waterstand het kustprofiel steeds verder landwaarts.

Als de gemiddelde zeespiegel versneld zal gaan stijgen als gevolg van het broeikas-effect, zal onze kust dus ook versneld achteruit gaan. Ter vergelijking: de afgelopen 100 jaar is de zeespiegel ca. 20 cm gestegen. De komende 100 jaar zou dat wel eens 60 of zelfs 85 cm kunnen zijn (figuur 7).

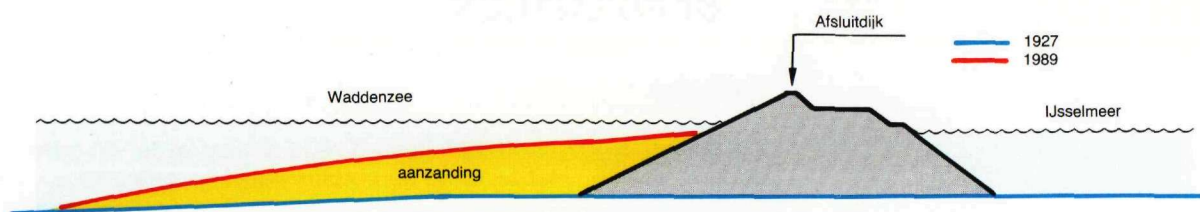


Fig. 8.
Nieuw evenwicht na afsluiten Zuiderzee.
Ten gevolge van geringere stroomsnelheden na de aanleg van de Afsluitdijk zijn de geulen voor deze dijk sterk verondiept.

getij-invloed

Een geulensysteem zoekt voortdurend naar een evenwichtssituatie. In elke dwarsdoorsnede van een geul moet de oppervlakte van het doorstroomprofiel zijn afgestemd op de hoeveelheid water die door die geul stroomt. Storten we bijvoorbeeld een hoeveelheid zand in een geul, dan wordt het dwarsprofiel van de geul kleiner. Daardoor zal de stroomsnelheid in de geul toenemen. Een hogere stroomsnelheid betekent meer erosie en het 'overschot' aan zand zal weer afgevoerd worden tot de oorspronkelijke situatie is hersteld.

Op dezelfde wijze als we hiervoor gezien hebben bij een enkele geul, zal ook een stelsel van geulen proberen om na een verandering in dat stelsel het evenwicht te herstellen. Een voorbeeld hiervan vinden we in de Oosterschelde. Daar is de getij-invloed verkleind door de aanleg van de Oosterscheldekering in de monding en twee (compartimenterings)dammen achterin het bekken. Er komt nu minder water de Oosterschelde in. Hierdoor zijn de stroomgeulen naar verhouding te groot voor de hoeveelheid water die er door stroomt, zodat de stroomsnelheden zijn afgenomen. De Oosterschelde zit als het ware te ruim in zijn jas. Het systeem probeert dit nu zelf te herstellen; platen en geulranden eroderen en de geulen vullen langzaam maar zeker op tot het systeem weer in

evenwicht is en de geuldoorsnede past bij de omvang van de getijstroom.

Tenslotte kunnen ook verschillende systemen met elkaar in evenwicht zijn. Verstoring van een dergelijk evenwicht kan voor die systemen verstrekkende gevolgen hebben. Zo werd voor de aanleg van de Afsluitdijk het water dat ieder getij de Zuiderzee in en uit stroomde, aangevoerd via het westelijk deel van de Waddenzee en het Marsdiep. Na afsluiting van de Zuiderzee waren de geulen voor de Afsluitdijk veel te ruim. Om het evenwicht tussen de geulafmetingen en de doorstromende hoeveelheid water te herstellen, vond een sterke verondieping van de geulen plaats (figuur 8). Zeer waarschijnlijk werd het zand dat hiervoor nodig was, onttrokken aan het gebied voor de Noordhollandse kust en voor de Waddeneilanden. Er was de afgelopen decennia dan ook sprake van een sterke kustachteruitgang in dat gebied. Verondersteld wordt, dat het systeem weer bijna in evenwicht is.



Texel.
De afsluiting van de Zuiderzee is een van de oorzaken van de kustachteruitgang op de Waddeneilanden.

wind

Door de overheersende windrichting vanuit zee wordt zand vanaf het strand en de voorste duinregel landinwaarts getransporteerd. Door het beplanten van de duinen met helm wordt geprobeerd het zand daar zoveel mogelijk vast te houden. Hoewel dat niet altijd lukt, is allang geen sprake meer van het op grote schaal verstuiven van duinen zoals in vroegere eeuwen voorkwam.

'zandgolven'

Veel veranderingen in de kustlijn kunnen verklaard worden als voldoende gegevens beschikbaar zijn over golven en getij. In het beeld van kustmetingen over de afgelopen 100 jaar (en soms nog langer terug) zijn echter ook onverklaarbare veranderingen waarneembaar. Het gaat hierbij om een verschijnsel dat wel aangeduid wordt als 'zandgolven'. Vooral op plaatsen in het Deltagebied en langs de Waddeneilanden gaat de kust soms 40 tot 100 jaar lang achteruit om vervolgens weer gedurende een zelfde periode vooruit te gaan. Deze verplaatsingen van de kustlijn kunnen variëren van een tiental tot enkele honderden meters (figuur 9). Soms houden zandgolven verband met het in de richting van de kust wandelen van een zandbank of het meanderen van getijgeulen. In veel gevallen is echter geen verklaring voorhanden en bestaat er hoogstens een vermoeden dat variaties in het getij een rol spelen.

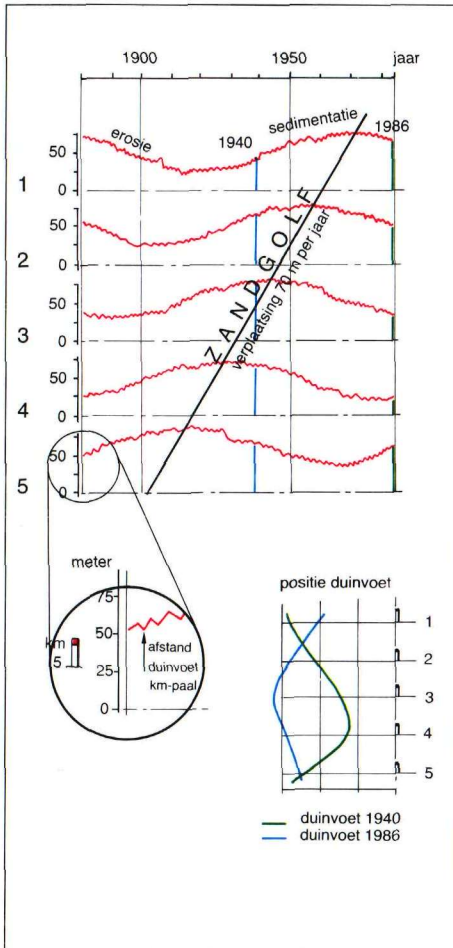
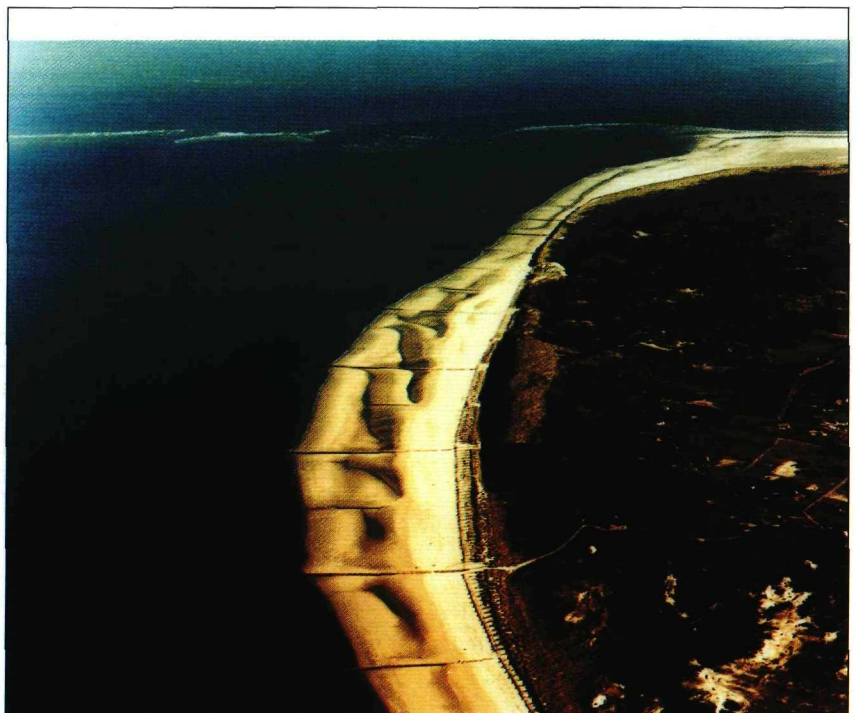


Fig. 9.
Zandgolven.
Door het kustgebied verplaatsen zandgolven met een geringe snelheid. Een kust die over een langere periode gezien stabiel is, kan hierdoor toch perioden van voor- en achteruitgang te zien geven.

Kop van Schouwen.
De plaatselijke kustaangroei door een zandgolf is hier duidelijk te herkennen.



morfologische modellen

Eenvoudige langtransportmodellen berekenen de verdraaiing van de kustlijn als gevolg van een toename of afname van het brandingsstroomtransport. Met deze modellen zijn voorspellingen mogelijk voor een periode van enkele jaren. Een voorbeeld van deze modellen is het model KUSTLINES.

Meer ingewikkelde modellen houden rekening met de gecombineerde effecten van brandingsstroom en getijstroom. Met deze modellen kan echter alleen berekend worden hoe een opgegeven bodenvorm in korte tijd verandert. Voor berekeningen over een langere periode moet steeds een nieuw berekende bodenvorm worden ingevoerd en moet voor de volgende tijdstep de verandering van die bodemligging worden berekend. Zo'n model dat ten behoeve van de Oosterscheldewerken is ontwikkeld, is COMOR (COastal MORfology).

Naar het dwarstransport door golven wordt momenteel nog veel onderzoek verricht. Op dit moment is één rekenmodel beschikbaar: CROSTRAN (CROSSHORE TRANsport). Uit figuur 10 blijkt dat hiermee de opbouw van een zandbank goed wordt nagebootst.

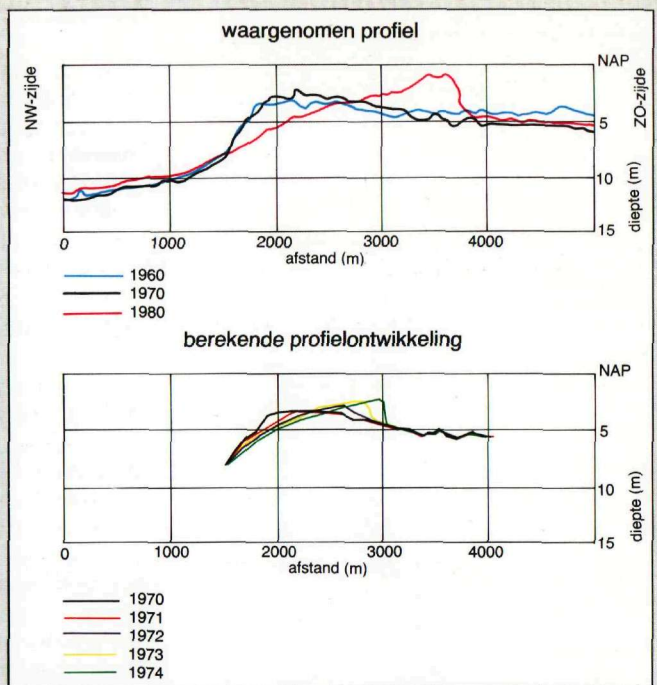
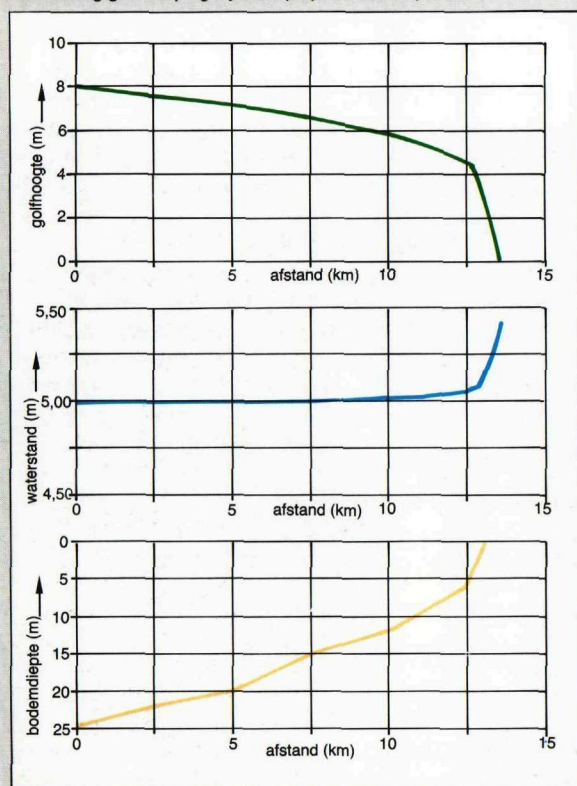


Fig. 10.
Profielontwikkeling bij de kop van Goeree-Overflakkee.
Vergelijking metingen met berekeningen.

Fig. 11.
Voorbeeld uitvoer model ENDEC.
Berekening golfdemping bij een oplopend bodemprofiel.



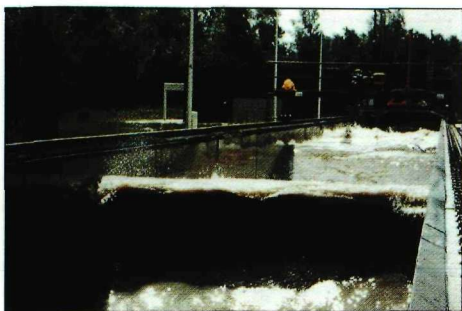
golfmodellen

Voor het berekenen van de opwekking en de voortplanting van golven in diep water zijn diverse rekenmodellen beschikbaar.

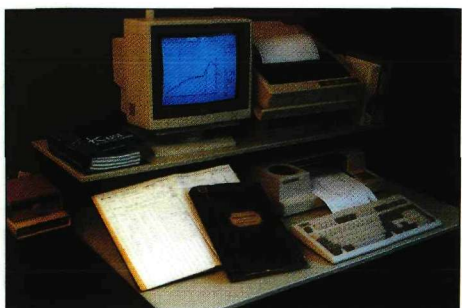
Voor de kustontwikkeling zijn vooral de opwekking en doordringing van golven in ondiep water (bankengebieden) van belang. Voor deze gebieden kunnen, afhankelijk van de situatie, twee golfmodellen gebruikt worden.

Het eerste model, ENDEC (ENergy DECay), wordt vooral gebruikt als de dieptelijnen evenwijdig lopen. Het is een zogenaamd één-dimensionaal model en berekent de golfveranderingen door de invloed van de bodem in de richting van de golfvoortplanting (figuur 11). Het model is niet geschikt voor golfgroeiberekeningen.

Het tweede model, HISWA (HIndcast Shallow WATER waves), is een twee-dimensionaal golfdoordringingsmodel dat wordt gebruikt als de dieptelijnen niet evenwijdig lopen. In dit model worden kustgebieden verdeeld in vierkante vakken (roosters) met afmetingen van enkele tientallen tot honderden meters grootte. Ter plaatse van de roosterpunten kunnen veranderingen van de golven (hoogte en richting) worden berekend onder invloed van de bodem, wind en het getij.



De Deltagoot van het Waterlooplekantie Laboratorium in De Voorst.
Dit is een belangrijk instrument bij het onderzoek naar de golfinvloed op de kust.



Gegevensopslag.
Vroeger werden kustgegevens in registers bewaard; tegenwoordig wordt alles in computerbestanden opgeslagen.

4. REKENMODELLEN

meten is weten

Vele eeuwen geleden werden al metingen uitgevoerd om de ligging van de kust te bepalen. Gedurende de laatste honderd jaar wordt de kust jaarlijks gedetailleerd opgenomen. Met name de laatstgenoemde metingen hebben in belangrijke mate bijgedragen aan het inzicht dat we hebben in de ontwikkeling van de kust en de processen die daarbij een rol spelen. Voorts zijn in waterlooplekantie laboratoria in schaalmodellen proeven uitgevoerd die onze kennis van zandtransporten en de daarmee samenhangende erosie- en sedimentatieprocessen hebben vergroot. De kennis die we met die natuurmetingen en laboratoriumproeven hebben verzameld, is gebruikt voor het opstellen van eenvoudige tot meer ingewikkelde rekenmodellen waarmee we voorspellingen kunnen doen voor de toekomstige kustontwikkeling. Hiernaast worden er enkele behandeld.

van verleden naar toekomst

Vooraf aan de hand van de meetreeksen uit de afgelopen 100 jaar zijn we in staat ons een beeld te vormen van de structurele voor- of achteruitgang van de kust en van het voorkomen van zandgolven (figuur 12). Plaatselijke verstoringen of veranderingen in waargenomen trends geven een indruk van het effect van bijvoorbeeld de aanleg van havendammen. We mogen onze voorouders dankbaar zijn voor deze schat aan waardevolle gegevens.

Als voor een bepaald kustvak geen grote ingrepen of veranderingen in het golf- en getijklimaat worden verwacht, is er geen reden om aan te nemen dat het kustgedrag op die plaats anders zal worden. In dat geval kan een voorspelling van de kustontwikkeling eenvoudig opgesteld worden door de veranderingen in het verleden door te trekken naar de toekomst. Het voordeel van dit eenvoudige 'model' is dat het uiteenrafelen van de ingewikkelde kustprocessen achterwege kan blijven.

morfologische modellen

Als het doortrekken van de ontwikkeling uit het verleden niet zonder meer mogelijk is, zullen we de kustontwikkeling door berekeningen moeten voorspellen. Hierbij zijn voor de bepaling van het zandtransport langs de kust en het zandtransport loodrecht op de kust verschillende formules beschikbaar. Deze formules zijn gebruikt in rekenmodellen die erosie- en sedimentatieprocessen onder invloed van golven en getij nabootsen en daardoor een nieuwe kustlijn of een nieuw kustprofiel berekenen. We spreken hier van 'morfologische' modellen. Morfologische modellen worden vooral gebruikt als veranderingen in het golf- of getijklimaat, en dus in het kustgedrag, verwacht worden. Dit is ondermeer het geval bij het ontwerpen van grote waterbouwkundige werken in de kustzone of bij eventuele meteorologische veranderingen. Voorbeelden van dit laatste zijn een wijziging van de overheersende windrichting of een ander niveau van de zeespiegel. Ook minder grootschalige beïnvloeding kan worden berekend. Zo zijn detailmodellen gebouwd voor alle havenmonden aan de Hollandse kust. Om met morfologische modellen te kunnen rekenen, moeten (invoer-)gegevens bekend zijn over golven en getijstromingen. Deze gegevens kunnen berekend worden met verschillende golf- en stromingsmodellen.

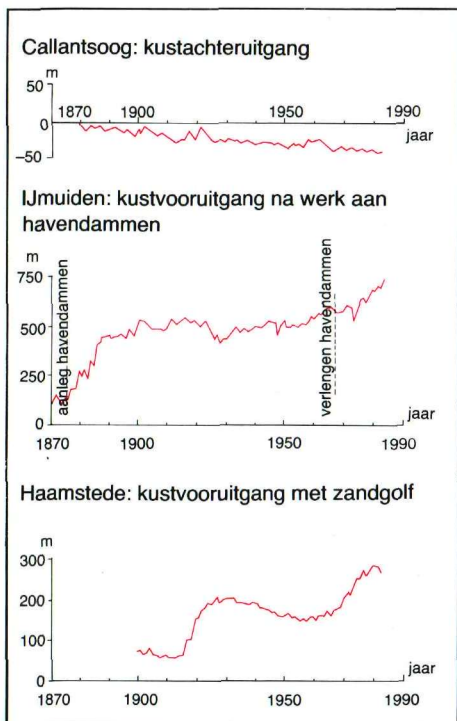


Fig. 12.
Kustgrafieken.
Per gebied is de kustontwikkeling verschillend. Gebiedskennis is vereist voor een juiste analyse van meetreeksen.

stromingsmodellen

Voor het voorspellen van stroombeelden in een nieuwe situatie of onder gewijzigde omstandigheden, werd vroeger vaak gebruik gemaakt van een waterloopkundig laboratorium. Daar werd op schaal de nieuwe situatie nauwkeurig nagebouwd. Daarna werd in dat schaalmodel de getijbeweging nagebootst en werden de stroombeelden fotografisch vastgelegd. Dit type model wordt een **fysisch model** genoemd.

Tegenwoordig worden stroombeelden voorspeld met behulp van computers. Hierbij worden **mathematische modellen** gebruikt. In deze modellen wordt de bodem weergegeven met behulp van vierkante vakken of vakken met een variabele grootte. Hierdoor ontstaan roosterpunten die de rekenelementen van het model vormen. De invoer van deze modellen bestaat uit waterstanden en/of stroomsnelheden en stroomrichtingen aan de randen van het gebied. In korte tijdstappen (bijvoorbeeld 10 minuten) kunnen de stroomsnelheid, stroomrichting en waterstand in de roosterpunten worden berekend. De rekenresultaten kunnen in plaatjes worden weergegeven, zoals stroombeelden (figuur 13), stroomgrafieken, getijkrommen.

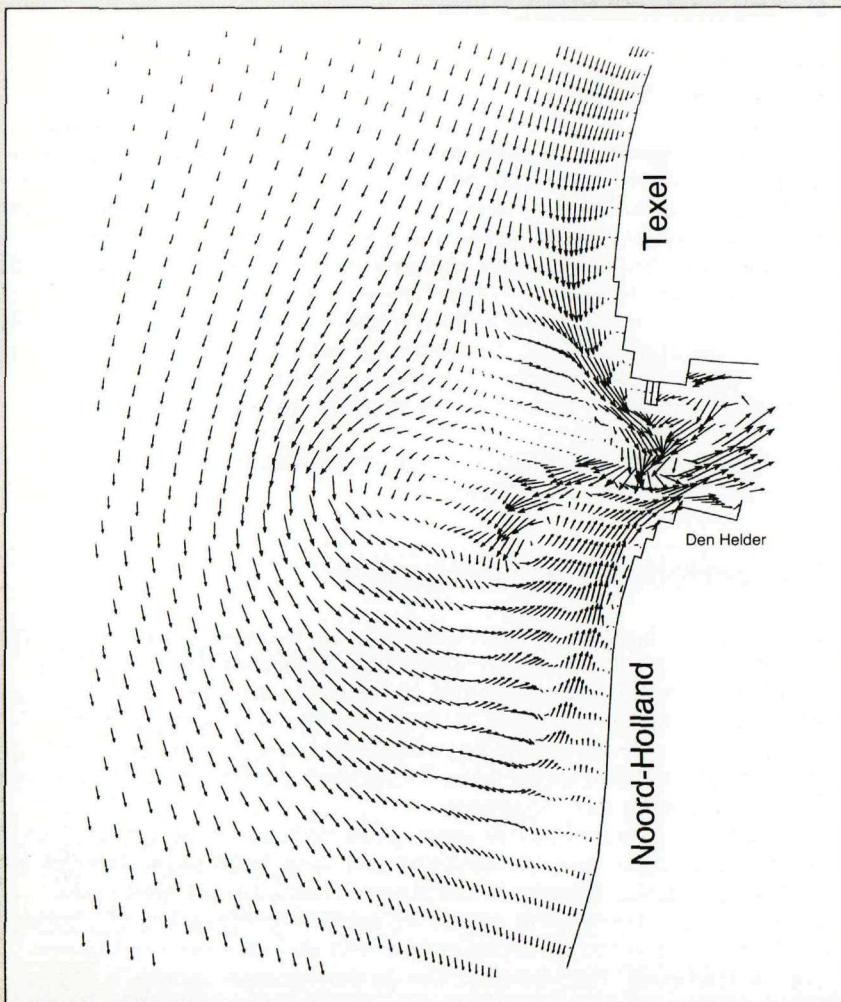


Fig. 13.
Resultaat stromingsmodel voor de Hollandse kust.
Berekend stroombeeld omstreeks hoogwater in de omgeving van Den Helder.



Veerse dam.
Plaatvorming na de afsluiting van het
Veersche Gat.

uit evenwicht

Soms is het kustgedrag zo ingewikkeld, dat dit (nog) niet met een rekenmodel nagebootst kan worden. Dit komt bijvoorbeeld voor na een menselijk ingreep zoals het afsluiten van een zeearm. Het duurt dan vele tientallen jaren voordat in het gebied voor de afsluitdam een nieuw evenwicht is ingesteld. Bij het opstellen van voorspellingen in dergelijke gevallen kan vaak gebruik gemaakt worden van de ervaring die is opgedaan in vergelijkbare situaties in binnen- of buitenland. Daarbij is het verband tussen een ingreep en de gevolgen ervan door metingen vastgesteld.



*Kustmetingen.
Aan de hand van de jaarlijkse dieptemetingen
wordt de kustontwikkeling nauwlettend gevolgd.*

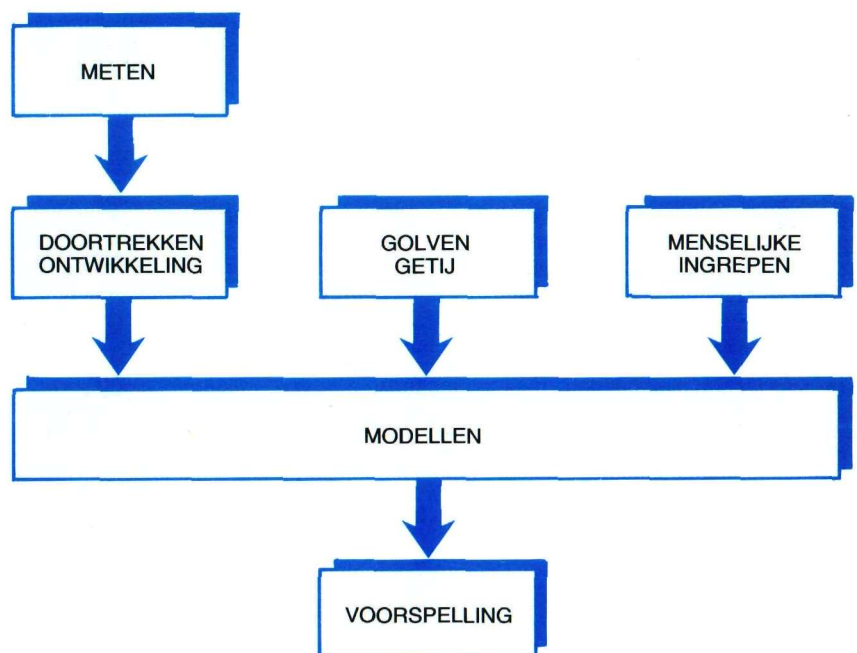


Fig. 14.
Stroomschema kustlijnvoorspelling.

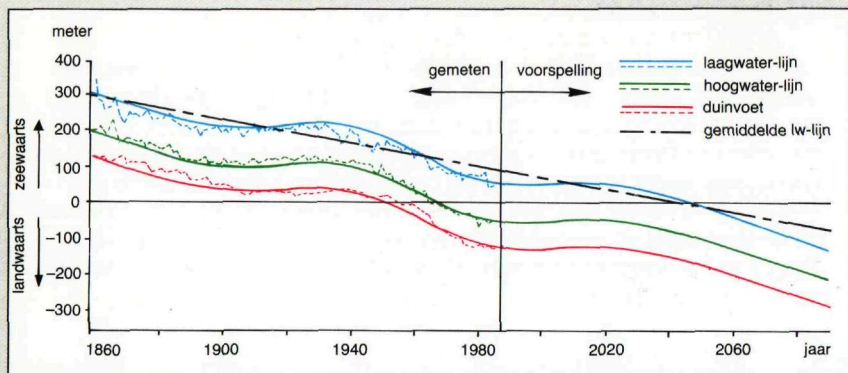
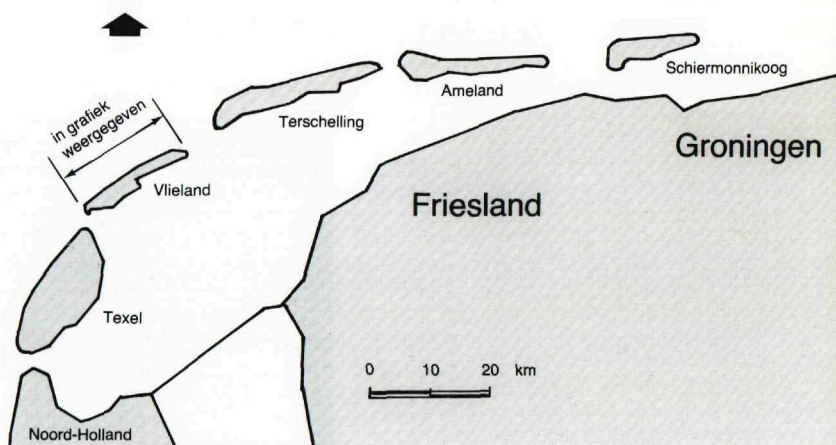


Fig. 15.
Vlieland, omgeving km 43 (zie ook figuur 16).
Uit de metingen blijken perioden van voor- en achteruitgang van de kust op te treden. De rechte lijn, die het gemiddelde van de fluctuaties van de laagwaterlijn weergeeft, laat een jaarlijkse kustachteruitgang van 1,65 m zien.

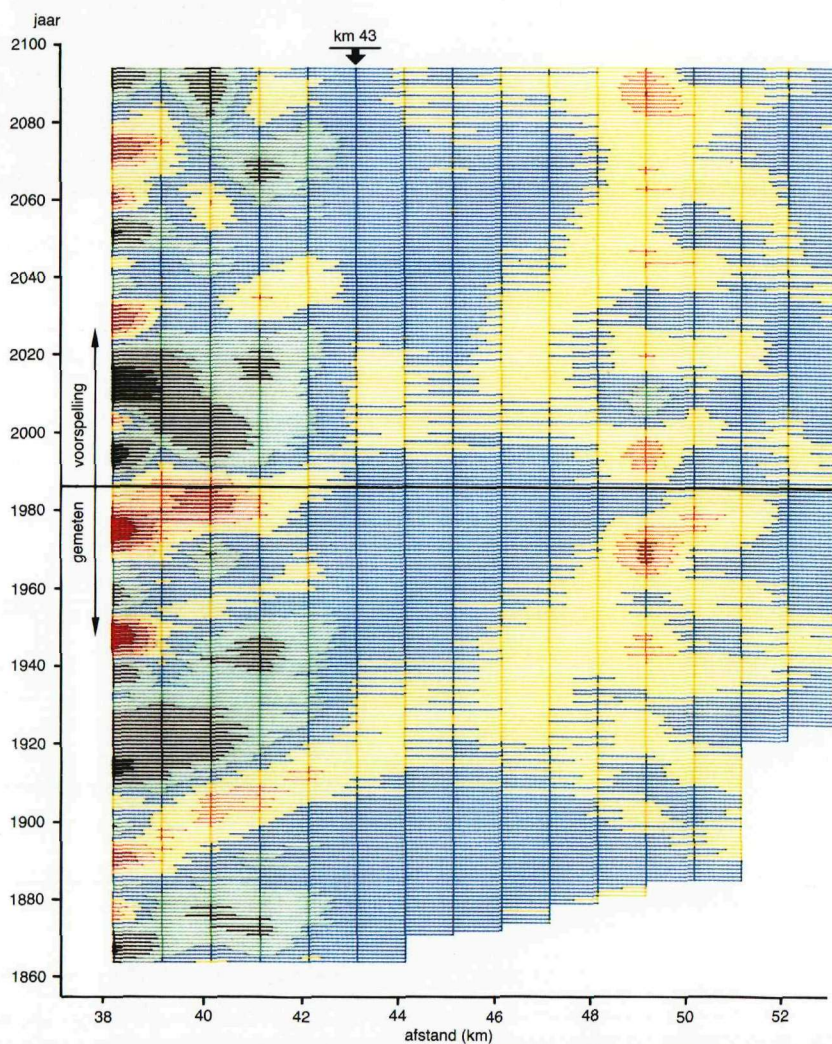
Fig. 16.
Verplaatsingssnelheden kustlijn Vlieland.
De grafiek is samengesteld uit de meetreeksen van een aantal naast elkaar liggende meetraaien en geeft een overzicht van de jaarlijkse voor- of achteruitgang van de kust. De verplaatsingen zijn gemeten in de periode 1860-1986. Het beeld na 1986 is samengesteld m.b.v. voorspellingsmethodieken op de computer.
Een dergelijke presentatie geeft meer inzicht in de bewegingen van de kustlijn dan de kustlijnverplaatsingen in de afzonderlijke meetraaien (figuur 15). Uit de grafiek blijkt bijvoorbeeld dat de omslag van de kustachteruitgang naar kustvooruitgang t.p.v. km 43 omstreeks 1907 en 1985 begon. Deze omslag kwam eerder westelijk van dit punt voor. Hier komen dus van west naar oost lopende zandgolven voor.



toelichting:

verplaatsing per jaar

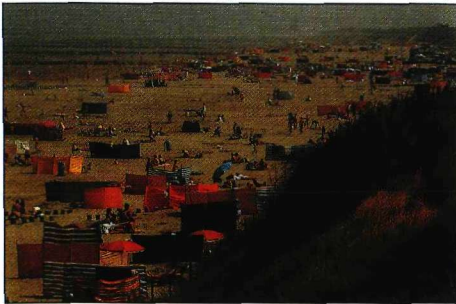
- meer dan 20 m zeewaarts
- 10-20 m zeewaarts
- 5-10 m zeewaarts
- 0- 5 m zeewaarts
- 0- 5 m landwaarts
- 5-10 m landwaarts
- 10-20 m landwaarts
- meer dan 20 m landwaarts



5. METHODE VOOR KUSTLIJNBEREKENINGEN

bundeling van kennis

Om een bruikbare voorspelling van de kustlijnontwikkeling voor Nederland op te stellen zoals gedaan is voor de discussienota 'Kustverdediging na 1990', werkt de Rijkswaterstaat samen met het Waterloopkundig Laboratorium en de Technische Universiteit Delft. Hierdoor kunnen de resultaten van lang lopende onderzoekprogramma's gecombineerd worden met de ervaringen die in de loop der jaren zijn opgedaan bij diverse projecten aan de kust.



Strandrecreatie.

Het behoud van de duinenkust is een van de doelstellingen van het kustbeleid.

doortrekken van de ontwikkeling

Een voorspelling voor kustontwikkeling komt in een aantal stappen tot stand (figuur 14). Voor een eerste schatting wordt aangenomen dat de morfologische processen, die onder de invloed van het heersende golf- en getijklimaat bepalend zijn voor de kustlijnontwikkeling, niet zullen veranderen. In dat geval kan voor iedere kilometer kust de ontwikkeling uit het verleden gewoon worden doorgetrokken voor de periode 1990 - 2090 (figuren 15 en 16). Omdat we voor de volgende eeuw echter veranderingen in golfaanval, getijbeweging en zeespiegelstijging verwachten, moeten we die eerste schatting van de kustontwikkeling aanpassen met behulp van de kennis die we hebben van morfologische processen. Hiervoor wordt een zogenaamd zandbalansmodel gebruikt.

zandbalans-model

Sommige grootschalige veranderingen kunnen een grote invloed hebben op de ontwikkeling van kustsystemen of estuaria. Gedacht kan worden aan zeespiegelstijging (achteruitgang van de kustlijn), verandering van het windklimaat (invloed op de golfrichting, dus op de brandingsstroom) en aan de afsluiting van zeearmen (invloed op getijstromingen en aanvoer van riviersediment).

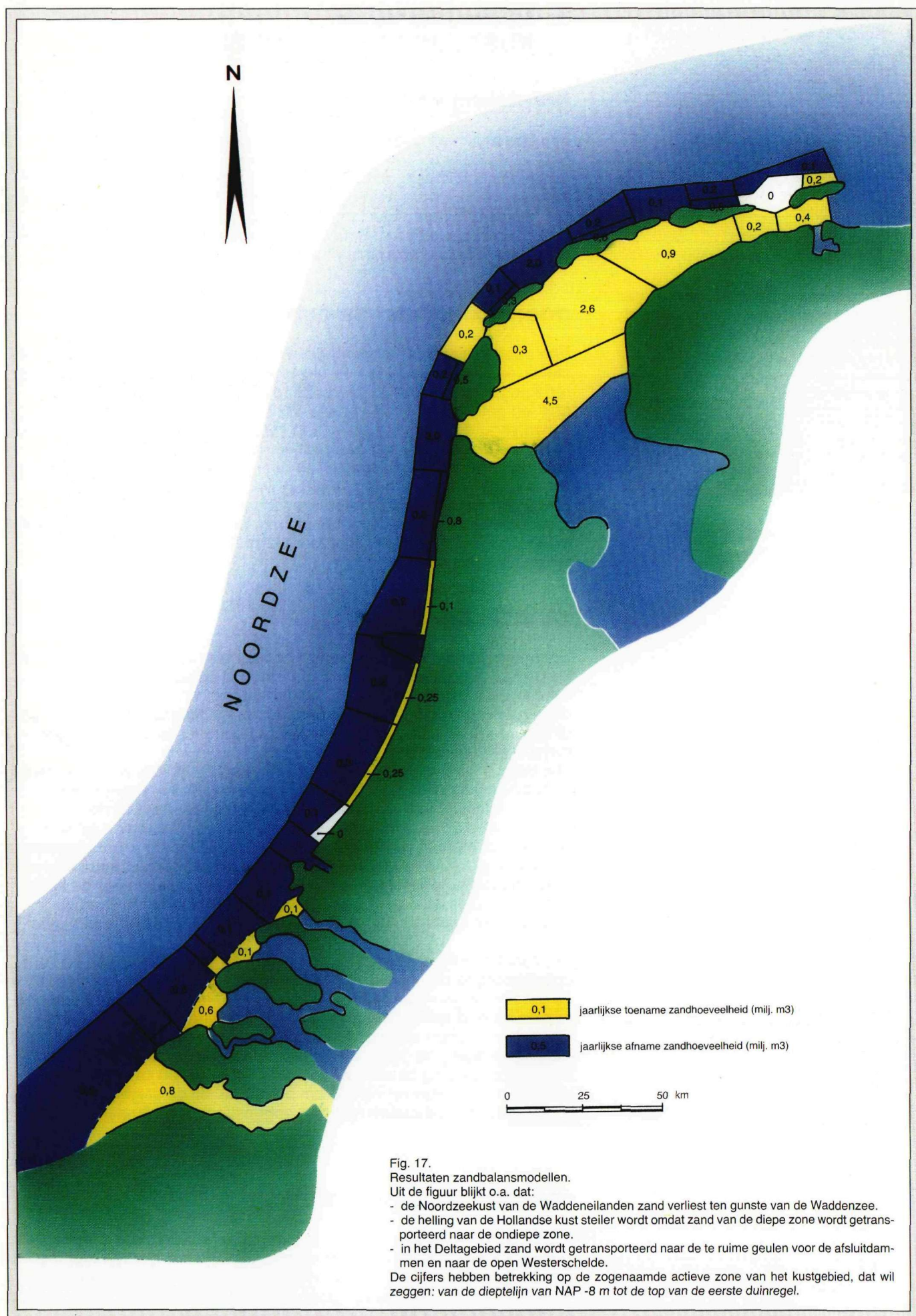
Met behulp van morfologische modellen kan apart voor ieder van deze genoemde veranderingen het effect op de zandtransporten in een bepaald kustsysteem worden berekend. Veranderingen in de zandtransporten kunnen voor delen van een kustsysteem leiden tot een positieve of een negatieve zandbalans. Op deze wijze is het mogelijk om aan te geven of onder bepaalde omstandigheden kustaangroei of kustachteruitgang verwacht mag worden. Dit is gedaan voor de kustsystemen zoals wij die hebben: de gesloten Hollandse kust en de onderbroken kusten in het Waddengebied en het Deltagebied (figuur 17).

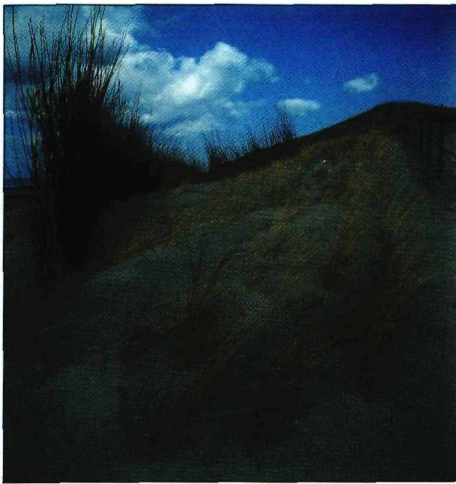
Het zandbalans-model wordt gebruikt om de voorspelling van de kustontwikkeling te corrigeren voor de effecten van een aantal verschillende grootschalige veranderingen. Zo kan er rekening worden gehouden met de invloed van de Deltawerken, de afsluiting van de Zuiderzee en met een versnelde stijging van de zeespiegel. Voor de discussienota 'Kustverdediging na 1990' zijn er voorspellingen opgesteld voor de kustlijnontwikkeling bij een zeespiegelstijging van 20 cm per eeuw, van 60 cm per eeuw en van 85 cm per eeuw. Bij de stijging van 85 cm is ook rekening gehouden met een ongunstiger windklimaat.

plaatselijke ontwikkelingen

Als de gecorrigeerde ontwikkeling voor de verschillende kustgedeelten is vastgesteld, moet er ook nog rekening gehouden worden met meer plaatselijke effecten (figuur 18). Hiervan zijn eerder al genoemd:

1. het effect van zandgolven (met name bij de Wadden- en Deltakust);
2. de invloed van havenmonden (Hollandse kust).





Duinvorming.

De kustbeheerder stimuleert duinvorming door het plaatsen van stuifschermen. Met een helmbeplanting wordt het verstuiven van duinen tegengegaan.

betrouwbaarheid van de methode

We zijn in staat om op de manier zoals hiervoor is aangegeven een vrij gedetailleerd beeld te geven van de kustligging in de periode 1990 - 2090. Maar hoe betrouwbaar is dit beeld?

In de eerste plaats treden in het beeld van de zandgolven onregelmatigheden op, die niet kunnen worden verklaard en waarmee geen rekening kan worden gehouden bij het opstellen van de voorspelling. Daarnaast is het zo, dat in de morfologische modellen wel veel kennis is opgenomen, maar dat toch ook nog kennis ontbreekt om alle details van in de natuur optredende processen in deze modellen te beschrijven. Met andere woorden: de uitkomst van morfologische modellen kan geen precieze weergave van de werkelijkheid zijn, al is het daar wel een bruikbare benadering van. Tenslotte zal het duidelijk zijn dat een voorspelling minder betrouwbaar is naarmate de voorspelde situatie verder in de toekomst ligt.

De betrouwbaarheid van een voorspelling is het grootst als de ontwikkeling in het betreffende kustvak weinig wordt beïnvloed door de ontwikkeling in aangrenzende kustvakken. Dit is het geval bij het grootste gedeelte van de Hollandse kust en de middelste kustvakken van de Waddeneilanden.

De betrouwbaarheid van een voorspelling neemt af naarmate een bepaald kustgedeelte meer beïnvloed wordt door andere kustsystemen zoals bijvoorbeeld zeearmen. Dit speelt vooral een rol in het Waddengebied en in het Deltagebied. Voor een schatting van de toekomstige kustligging in die gebieden bieden de voorspellingen die gebaseerd zijn op het doortrekken van de ontwikkeling gedurende de afgelopen 100 jaar, de meeste houvast.

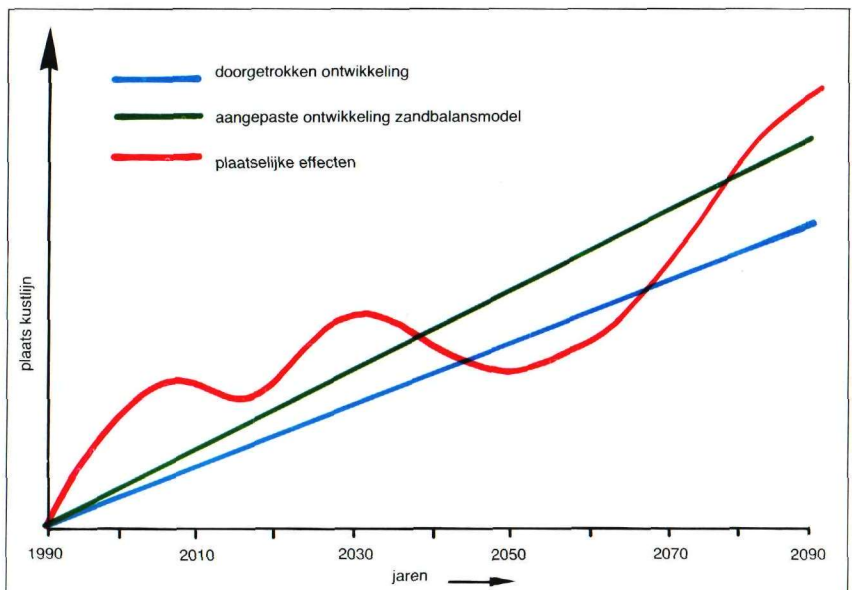


Fig. 18.

Bijstellen kustvoorspelling.

De doorgetrokken ontwikkeling wordt gecorrigeerd in verband met verwachte veranderingen, zoals bijvoorbeeld een versnelde stijging van de zeespiegel.

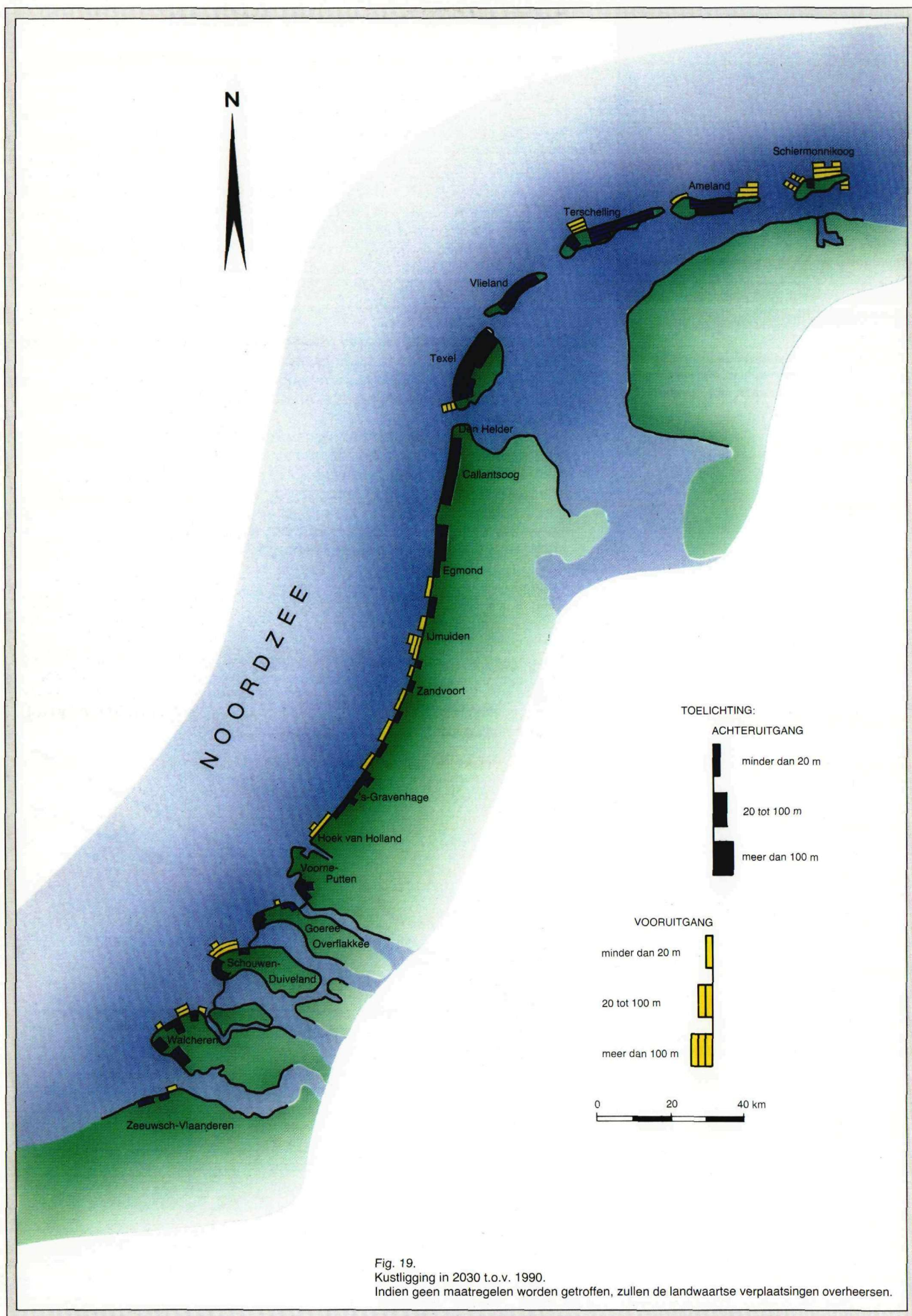


Fig. 19.
Kustligging in 2030 t.o.v. 1990.
Indien geen maatregelen worden getroffen, zullen de landwaartse verplaatsingen overheersen.

6. VOORSPELLING KUSTLIJNLIGGING



Suppleren volgens de 'Rainbow-methode' (Schouwen, 1987).

Zandsuppletie is een flexibele vorm van kustverdediging.

situatie in 2030

Wat betekenen al deze modellen en de resultaten ervan nu in de praktijk? In figuur 19 is op de kaart van Nederland als voorbeeld een voorspelling gegeven voor de kustlijnverplaatsing in de periode 1990 - 2030.

Let wel, het gaat hier om een voorspelling van de veranderingen in de kustlijn zonder menselijke beïnvloeding. In de praktijk zijn we echter voortdurend bezig met de kust. Daarbij kan worden gedacht aan strandophogingen, duinverzwaringen, het aanbrengen van strandhoofden en dergelijke.

betekenis voor het kustbeleid

Voorspellingen als deze spelen een belangrijke rol bij het vaststellen van het kustverdedigingsbeleid door de minister van Verkeer en Waterstaat.

Zoals eerder is vermeld wordt in de discussienota 'Kustverdediging na 1990' een aantal mogelijkheden aangegeven hoe wij met onze kust kunnen omgaan. Voor ieder van die mogelijkheden is nagegaan wat dat voor de ligging van de kust over een aantal jaren betekent, maar ook wat de eventuele aanlegkosten zijn, welk onderhoud nodig is en welke belangen (recreatie, natuur, drinkwater e.a.) in de kuststrook verloren gaan (figuur 20). Iedere mogelijkheid heeft zo zijn eigen prijskaartje. Het bedrag dat op dit kaartje staat is grotendeels afhankelijk van de prognose van de kustontwikkeling, die is bepaald volgens de methode die hiervoor is aangegeven. Het belang van een goede voorspelmethode wordt des te duidelijker als we kijken naar de bedragen op de verschillende prijskaartjes. De kosten van de beleidsalternatieven in de genoemde discussienota variëren van enkele tientallen tot circa honderd miljoen gulden per jaar.

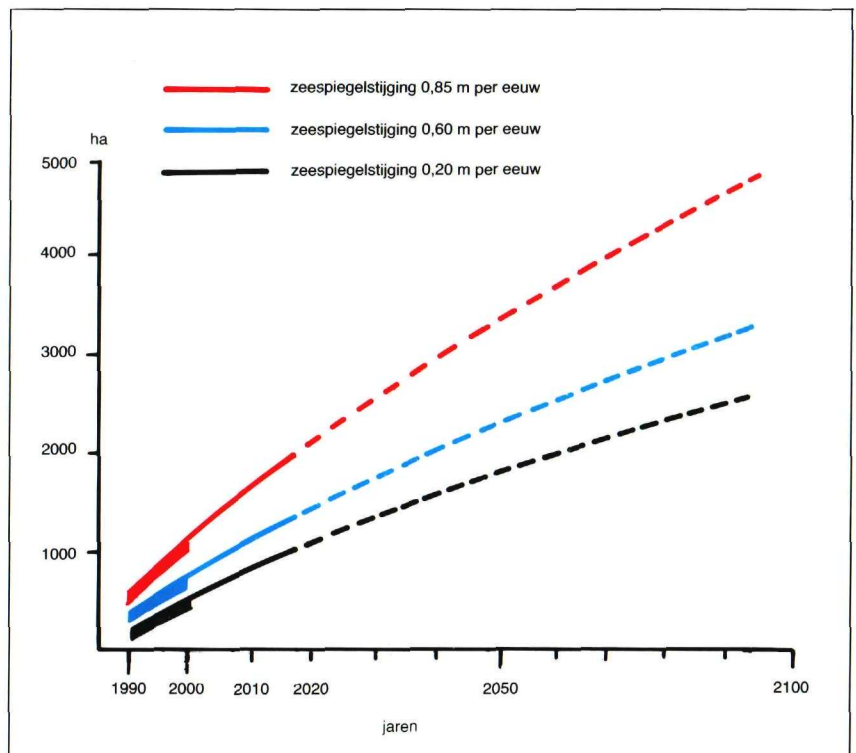


Fig. 20.
Verwacht verlies duinareaal.
De grafiek geeft het verlies weer bij een zeespiegelstijging per eeuw van 0,20 m (huidige stijging), 0,60 m (verwachting) en 0,85 m (ongunstige schatting). Dit verlies kan bijvoorbeeld door zandsuppleties worden voorkomen.

LITERATUUR

Rijkswaterstaat (1989).
Kustverdediging na 1990, discussienota.
Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Stive, M.J.F., et al (1989).
Kustverdediging na 1990, technisch rapport 5, kustvoorspelling, voor-
spelling kustlijn 1990 - 2090.
Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Rijkswaterstaat (1988).
Handboek zandsuppleties.
Waltman, Delft.

COLOFON

Tekst:
Piet Roelse, RWS Dienst Getijdewateren, Middelburg.

Redactie:
Rien Boeije, Jaap Consemulder, Piet Roelse; allen RWS Dienst Getijdewateren,
Middelburg.

Vormgeving
Afdeling Visuele Vormgeving, Dienst Getijdewateren, Middelburg

Druk:
Den Boer Drukkers, Middelburg.

Foto's:
Jan van den Broeke (omslag, pag. 11 ond.)
Deltaphot (9).
archief Dienst Getijdewateren (pag. 3, 7, 8, 17).
Meetkundige Dienst (pag. 5, 15).
Harry van Reeken (pag. 12, 13).
Volker Stevin Baggermij. (19).
Waterloopkundig Laboratorium "De Voerst" (11 bov.).

Illustraties.
Jan van den Broeke, RWS Dienst Getijdewateren, Middelburg.

© Copyright 1990 Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.

ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

de kust handhaven



DE KUST HANDHAVEN

De Nederlandse kust staat al eeuwen onder druk van wind en golven.

Voorals het stormt en de golven tegen de duinvoet rollen, spoelt vaak veel zand weg. Bij regelmatig terugkerende stormen wordt dat effect versterkt, zoals begin 1990 nog eens duidelijk is gebleken. Het zandverlies wordt niet voldoende gecompenseerd door het opstuiven van zand vanaf het strand in het zomerseizoen, waardoor de schade aan de duinen plaatselijk nog wel eens wordt hersteld. Er verdwijnt dus steeds meer zand uit de kust dan er langs natuurlijke weg bijkomt. Kortom, de kust wijkt langzaam terug.

Als we niets doen, zijn er omstreeks de eeuwwisseling enkele honderden hectares land verdwenen en over honderd jaar naar schatting 2000 ha. Er ontstaat dan bovendien gevaar voor het achterliggende land. De stormramp van 1953, waarbij grotere delen van ons land onder water liepen, liggen menig Nederlander nog vers in het geheugen.

Daarna kregen afsluiting van de zeegaten en versterking van de waterkeringen voorrang. Maar de Deltacommissie waarschuwde destijds ook al voor het verder afkalven van de kust. Dat afkalven gebeurde al eeuwen, maar de laatste 200 jaar had men kans gezien om - bijvoorbeeld door het aanleggen van strekdammen - de achteruitgang af te remmen.

Toch kalft ongeveer de helft van onze duinenkust elk jaar een stukje af. Soms worden daarbij gebouwen bedreigd, soms ook een natuurgebied. Bij smalle duinen kan dat op korte termijn de veiligheid in gevaar brengen. Ook waar dat niet het geval is, gaan toch waardevolle duinen verloren.



ZANDSUPPLETIES

De gedachte dat we eens verlost moeten worden van die eeuwige kustafslag bestond allang. Geen overstromingen meer - daar was men het al eerder over eens en daarvoor werd het Deltaplan uitgevoerd - maar ook geen verlies aan kustgebieden.

Het antwoord hierop luidt: zandsuppletie, het aanvullen van de kust met zand uit zee, zodat het strand weer hoger komt te liggen en de duinen beter beschermd worden. Er zijn tegenwoordig grote zandzuigers, waardoor zandsuppleties betrekkelijk eenvoudig en goedkoop zijn uit te voeren. Deze methode is bovendien milieuvriendelijk. Men brengt immers de kust in zijn natuurlijk staat terug. Het nadeel is dat zandsuppleties eens in de paar jaar (gemiddeld 5 tot 6 jaar) moeten worden herhaald. Dat kost geld. Maar als we niets ondernemen, ontstaat op langere termijn een situatie waarbij de duinen elke reserve missen en de veiligheid op het spel komt te staan. Dan moet alsnog tegen hoge investeringen worden ingegrepen. Zandsuppleties zijn bovendien op de meeste plaatsen goedkoper dan welke andere methode ook.

De regering heeft zich over deze problematiek beraden met als doel een beleid voor de lange termijn te verwezenlijken. Na inspraak en advisering door deskundigen is gekozen voor het handhaven van de kust op de huidige plaats door genoemde zandsuppleties. Dat kost jaarlijks ongeveer 60 miljoen gulden en dat is meer dan de ongeveer tien miljoen die tot nu toe voor kustonderhoud wordt uitgetrokken om incidentele schade te herstellen. Het beleid is vastgelegd in de nota "Kustverdediging na 1990".



VIER ALTERNATIEVEN

De keuze "Handhaven" is één van de vier beleidsalternatieven die in de discussienota Kustverdediging na 1990 werden gepresenteerd. Die nota verscheen in mei 1989 en daarna hebben verscheidene advieslichamen en instanties daarover hun licht laten schijnen.

- Het eerste alternatief was "Terugtrekken". Dat betekent alleen waar de veiligheid wordt bedreigd de kustachteruitgang stoppen, bijvoorbeeld waar de duinenrij smal is.
- Een ander alternatief was "Selectief handhaven". Daarbij zou ook worden ingegrepen als andere belangen dan alleen de veiligheid op het spel staan, zoals duin- en natuurbehoud, bescherming van economische belangen onder andere voor de strandrecreatie en het behoud van de drinkwatervoorraden in de duinen.
- Dan was er nog een alternatief onder de naam "Zeewaarts uitbreiden". Dat laatste - uiteraard tevens de duurste oplossing - zou er op neer komen, dat men op zwakke plaatsen de kust zeewaarts gaat uitbouwen door bepaalde constructies aan te brengen.

Deze drie alternatieven heeft de regering niet gekozen. Als meest praktische oplossing ziet men het al genoemde alternatief "Handhaven van de kustlijn" waar die in 1990 ligt. De zogenaamde Deltaveiligheid (na de stormramp van 1953 vastgesteld voor de gehele kust) blijft in stand en alle belangen in de duinen worden beschermd.



Deze keuze past in een duurzame ontplooiing van de samenleving. Want waarom zouden wij ons als Nederlanders om ons aardse bestaan bekommeren als we niet eerst eens kijken of de zeeweringen wel sterk genoeg zijn om ons voortbestaan te verzekeren.

De manier waarop we de kust in stand houden moet bovendien een gezonde ontwikkeling van het kustgebied mogelijk maken. Dan gaat het in de eerste plaats om een aanpak waarbij het natuurlijk karakter en de charme van strand en duinen behouden blijven. Daarnaast moet eventuele kustuitbouw mogelijk blijven op plaatsen waar dat nodig of nuttig blijkt. De aanpak van zandsuppleties leent zich daar goed voor. Bij de keuze voor het handhaven van de kust heeft de regering zich er ook rekenschap van gegeven, dat de belangen die door de kustachteruitgang worden bedreigd, namelijk de veiligheid en de belangen in de duinen zelf, op zich al zo groot zijn dat de kosten van 60 miljoen gulden per jaar ruimschoots zijn gerechtvaardigd.

DYNAMISCH HANDHAVEN

Handhaven betekent dus de kustlijn vasthouden waar hij nu ligt. Voor de dijken gold dat allang. Dijken zijn starre zeeweringen, door mensenhanden aangelegd. Die werden altijd al in stand gehouden. Met de zandige duinen is dat anders; die is flexibel.

Bij de duinen zal er nog wel wat beweging in de kustlijn blijven; nu eens een stukje vooruit en dan eens achteruit. Dat past in de natuurlijke beweging van de duinkust, maar men gaat die flexibiliteit nu aan banden leggen. De marges, die daarvoor gelden, worden afgesproken met de provincies en de waterschappen langs de kust. Het kan blijken dat enige verschuiving van de kustlijn in een bepaald gebied het gemakkelijker zal maken om de kustlijn daarna te handhaven. Dat kan een landwaartse of een zeewaartse verschuiving zijn. In dat laatste geval komen de methoden van de zeewaartse filosofie misschien goed van pas. Op Texel en in Zeeuws-Vlaanderen worden daar plannen voor uitgewerkt.

Kustlijn en duinvoet blijven dus enigszins in beweging. Dat benadrukt de dynamiek in de kust, waarop vooral de natuurbeschermers hebben aangedrongen. Bovendien zal het - waar er ruimte voor is - bij de uitvoering van het duinonderhoud mogelijk zijn om natuurlijke processen als verstuiwing weer kansen te geven.

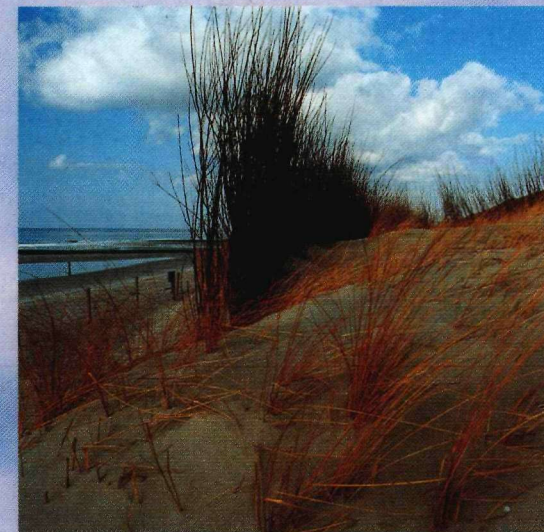
Kiezen voor handhaven is dus eigenlijk kiezen voor "dynamisch handhaven".



BESTUURLIJK SAMENSPEL

Bij de kustverdediging zorgt het rijk voor de bestrijding van de kustachteruitgang; de waterschappen houden de waterkering op sterkte. Deze laatste hebben dus een belangrijke uitvoerende taak. De ontwerp-Wet op de Waterkering is op deze taakverdeling gebaseerd. Zij bepaalt dat rijk en waterschappen per provincie samenwerken in een provinciaal overlegorgaan. Het voorzitterschap van het overleg berust bij de provincie, omdat die de relatie naar de ruimtelijke ordening kan leggen. Door dit overleg kan de uitwerking per kustvak plaats vinden, zoals de marges, een eventuele verlegging van de kustlijn, eventueel toelaten van verstuiwing of van sluffers. Dat kan beter per provincie gebeuren dan centraal vanuit Den Haag, omdat er nauwkeurig moet worden ingespeeld op plaatselijke aspecten en belangen. Rijkswaterstaat zorgt er, als onderdeel van het ministerie van Verkeer en Waterstaat, voor dat deze uitwerkingen passen in het grote landelijke geheel van de kustverdediging.

De provincie is dus de spil en het aanspreekpunt als het gaat om de uitwerking in de regio. Rijkswaterstaat, die in alle provinciehoofdsteden met regionale directies is vertegenwoordigd, voert de werken uit die nodig zijn om de kust op haar plaats te houden.



De nota "Kustverdediging na 1990" is verkrijgbaar via de SDU, telefoon 070-3789880 of via de boekhandel.

1990
Uitgave Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Vormgeving: Rijkswaterstaat,
Dienst Getijdewateren, Visuele Vormgeving

Informatie:
Voorlichting Verkeer en Waterstaat
Plesmanweg 1-6
2597 JG 's-Gravenhage
telefoon 070 - 3517086/3517049