

BN 219

Ura van de kist

Makina Techniek 1999

62 (10) 890-901

J. Drankers en J. H. H. van der
Nederlands Centrum voor Kustonderzoek

Zand aan de wandel

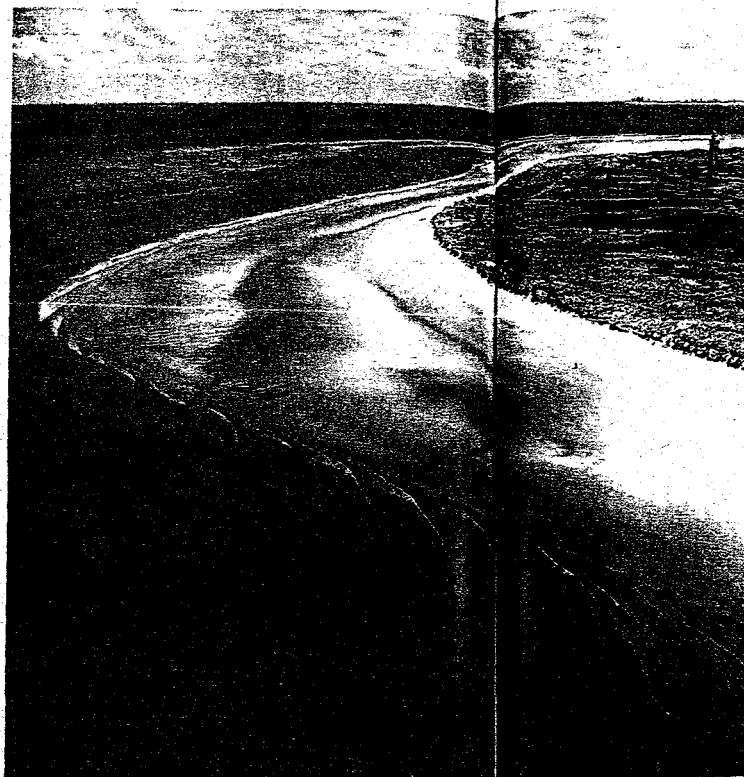
HET FUNDAMENT VAN ONZE KUST

Een wandeling langs het strand kan ons veel duidelijk maken over de dynamiek van de kust. De belangrijkste processen kunnen zichtbaar worden, want al je spelen aan het fundament van de kust: de vooroever.

De kust vormt een natuurlijke begrenzing van de lage landen. Die grens is minder vast dan wel eens wordt verondersteld. In de afgelopen eeuwen is hij op veel plaatsen landwaarts verschoven, soms wel meer dan een kilometer. Maar er zijn ook plaatsen waar de kust aangroeit, bijvoorbeeld bij de afgesloten zeearmen in het deltagebied. De kust is ongetwijfeld het meest dynamische stukje Nederland. Bij een wandeling langs het strand kunnen we ons verbazen over de verscheidenheid aan vormen die het spel van zand en water veroorzaakt. De wisselwerking tussen stroom, golven en kust omvat processen met zeer verschillende karakteristieke tijd- en ruimteschalen. We wandelen eerst een tijdje langs het strand om hiervan een indruk te krijgen. Vervolgens bekijken we enkele nieuwe inzichten in het gedrag van het kuststelsel, die uit recent onderzoek naar voren zijn gekomen en die grote invloed hebben op het kustbeheer.

Natte voeten

We gaan op pad wanneer de zee zich van het strand terugtrekt. Niet te dicht langs de waterlijn, want de ene keer blijken de golven veel verder het strand op te lopen dan de andere. Als je niet oppast heb je zo natte voeten. Her en der vallen grote ribbels velden droog. Van nabij bekeken blijkt dat in de uitlopers van de golven tussen de ribbels een heuse zandstorm op microschaal woedt. Het ribbelpatroon verandert daardoor geleidelijk, maar dat lijkt de ligging van het strand niet direct sterk te beïnvloeden. Berekeningen wijzen echter uit dat er op den duur wel degelijk sprake kan zijn van aanpassing van het strandprofiel door de repeterende zandverplaatsing tussen de ribbeltjes. Het bestaan van de ribbels velden kan in verband worden gebracht met grootschaliger onregelmatigheden in de strandligging. Op sommige plaatsen is het strand verdiept en wordt ons de pas afgesneden door een klein binnenzeetje, een zwin, dat door een zandbank is gescheiden van de zee. Eén of meerdere geulen doorsnijden de zandbank en verbinden het zwin met het open water. Deze geulen of *muien* kunnen ver in zee doorlopen en zijn gevaarlijk voor zwimmers, want er staat meestal een sterke zeewaartse stroming. Lopende langs het strand zien we dat muien en zwinnen zich vaak herhalen in een ritmisch patroon.



1. De breedte van het strand bij de kop van Goeree varieert golfsgewijs langs de kust. Deze zandgolf loopt langzaam noordwaarts. Op het strand zijn muien en ribbels velden zichtbaar.

2. Dwarsprofiel van de kust. De kustverdedigingsstrook bestaat uit duingebied, strand en vooroever. Deze drie onderdelen beschermen gezamenlijk het polderland tegen overstroming.

Wie regelmatig terugkomt, constateert dat dit patroon met de tijd evolueert. Zeker gedurende een stormachtige periode kunnen vorm en ligging compleet veranderen.

Met enig ontzag zien we enkele baders dapper de zee in stappen. Bijna honderd meter uit de kust hebben ze nog vaste grond onder de voet, maar dan dreigen ze kopje onder te gaan. Iets verder komen ze weer boven. De zeebodem blijkt daar ineens te stijgen! Er liggen inderdaad meerdere rijen banken voor de kust, soms wel drie of vier. Dat deze banken *brekerbanken* worden genoemd, valt te begrijpen als we bij stormachtig weer naar de zee kijken. We zien deze banken dan gemarkeerd door verschillende rijen van schuimkoppen. Daar breken de invallende golven. Het is merkwaardig dat de brekerbanken door dit golfgeweld niet worden weggevaagd. Wat houdt ze eigenlijk in stand? Uit metingen

bleekt dat de banken niet vastliggen, maar in de loop der jaren zeewaarts bewegen.

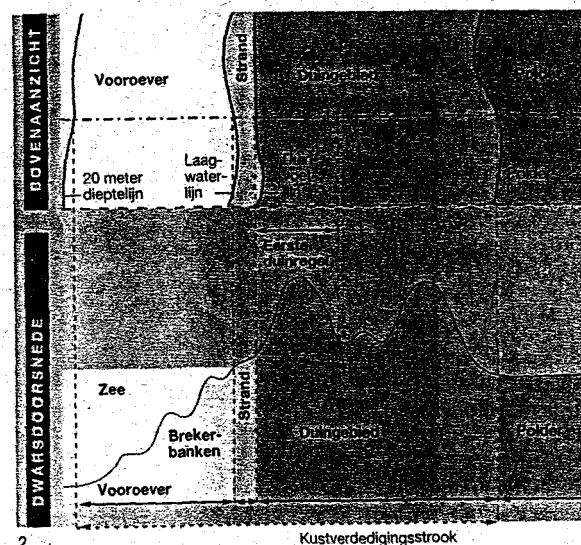
Wanneer we doorlopen, merken we dat de breedte van het strand geleidelijk verandert. Over een tiental tot enkele tientallen kilometers wisselen brede en smalle stranden elkaar af. In deze verbreding of versmalling zit ook een tijdritmiek, maar die kan wel honderd jaar bedragen. De dynamiek van de kuststrook is ook verder op zee merkbaar. Daar waar zeearmen tot ver uit de kust grote zandmassa's hebben afgezet, is de zeebodem in beweging onder invloed van golven en stromingen. Er kunnen banken of eilanden ontstaan, zoals de Voordelta voor de Zeeuwse kust, of de Razende Bol in het Marsdiep. Met een verrekijker kunnen we die vanaf het strand waarnemen. De banken verplaatsen zich naar de kust, maar daar zijn vele tientallen jaren mee gemoeid.

Al deze waarnemingen leren ons dat het gedrag van de kust bepaald wordt door een aansluiting van processen op ruimte- en tijdschalen die variëren van centimeters en minuten tot kilometers en eeuwen. Maar daarmee is het gedrag van de kust nog niet verklaard. Eén van de vele onderzoekers die zich over dit vraagstuk hebben gebogen is Hans Einstein, de zoon van de beroemde natuurkundige. Hoewel de achterliggende principes van de kustdynamiek zijn terug te voeren op de

klassieke wetten van Newton, zag Einstein senior toch weinig kans om een handje te helpen. Hij hield zich liever bezig met minder complexe zaken zoals de relativiteitstheorie, zo hield hij zijn zoon voor.

Veiligheid

We kunnen de kust in Nederland niet gewoon aan de krachten van de natuur overlaten. De veiligheid komt dan in het geding. Er zijn plaatsen waar de zeewering uit nog maar een enkele duinregel bestaat, die kunstmatig in stand wordt gehouden. Kusterosie zou het risico van doorbraken ontoelaatbaar doen toenemen.



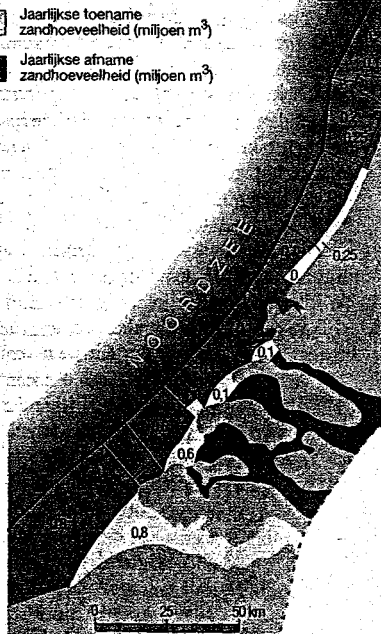
2

Kustverdedigingsstrook

Door de langzame afkalving van de kust die zich op veel plaatsen voordoet, versmalt het strand en wordt waardevol duingebied aan de zee prijsgegeven. De verantwoordelijkheid voor de bescherming van Nederland tegen kusterosie ligt bij Rijkswaterstaat. Een van de middelen die hierbij worden toegepast is *zand-suppletie*: het aanvoeren van zand uit zee naar de kust. Daarnaast wordt onderzoek uitgevoerd om voldoende kennis op te doen van de dynamiek van kustprocessen, zodat het handhaven van de kust met een zo groot mogelijke doelmatigheid kan worden uitgevoerd. Daarbij wordt rekening gehouden met het gedrag van de kust op grote tijdschalen. In de afgelopen

Jaarlijkse toename
zandhoeveelheid (miljoen m³)

Jaarlijkse afname
zandhoeveelheid (miljoen m³)

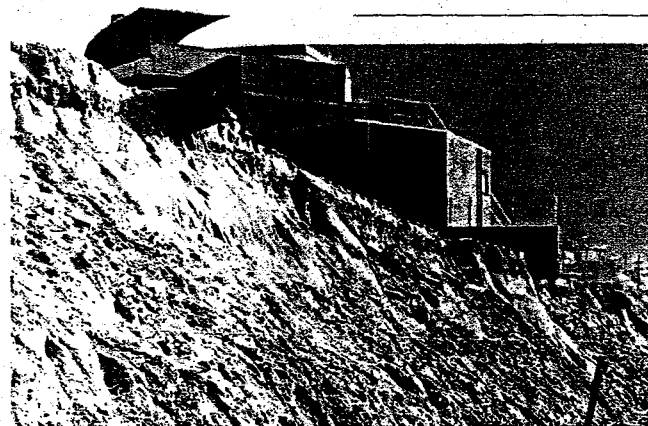


3

tien jaar is baanbrekend nieuw inzicht voor het beheer van de kust verworven in het onderzoeksproject *Kustgenese*. Dit is een project van het Nederlands Centrum voor Kustonderzoek, een samenwerkingsverband van de Technische Universiteit Delft, het Waterloopkundig Laboratorium en Rijkswaterstaat.



4



5. Duinafslag bij Egmond aan Zee, na de stormperiode in 1990. Vaak is duinafslag een gevolg van eerder opgetreden kusterosie.

3. De gemiddelde zandbalans van het Nederlandse kustsysteem, uitgedrukt in de jaarlijkse verandering van het zandvolume in een aantal kustvakken. De afbeelding laat zien dat de Waddenzee en de Zeeuwse zeearen zand invangen, terwijl de diepere vooroevers zand verliest. De breedte van de kustvakken is in zeewaartse richting overdeven. De cijfers hebben betrekking op de actieve zone van het kustgebied, dat wil zeggen van NAP min 8 meter tot de top van de eerste duinregel.

4. Delflandse hoofden. Deze stenen dammen voorkomen het transport van zand langs de kust.

Zandhonger

Door het project *Kustgenese* is duidelijk geworden dat de Nederlandse kust over de hele lengte zand verliest. Dat is niet overal zichtbaar aan het strand. Het zandverlies treedt namelijk vooral onder water op. Het onderzeese fundament van de Nederlandse kust versmalt, de kust versteilt. Waarschijnlijk is dit proces al lang aan de gang, doordat minder zand vanuit zee naar de vooroevers kan worden aangevoerd dan in het verleden, toen de zeespiegel lager lag. Het zeezand ligt nu te diep om door golven en stroom te kunnen worden meegenomen. Bij een versnelde stijging van de zeespiegel zal de versteiling van de kust dus toenemen, als we de kust tenminste niet achteruit laten gaan. Maar een belangrijke invloed hebben ook de verdieping van rivieren en zeearen en de afdamming van getijdebekkens. Hierdoor wordt minder zand afgevoerd naar zee en is er in het kustgebied sprake van *zandhonger*: een negatief saldo van aanvoer en afvoer van zand. Onze kust is dus niet in evenwicht. De versteiling van de kust zal op den duur meer zandsuppleties noodzakelijk maken, willen we de kustlijn handhaven.

Door welke processen wordt het zandverlies veroorzaakt? Kunnen we deze processen beïnvloeden en de zandlekken dichten?

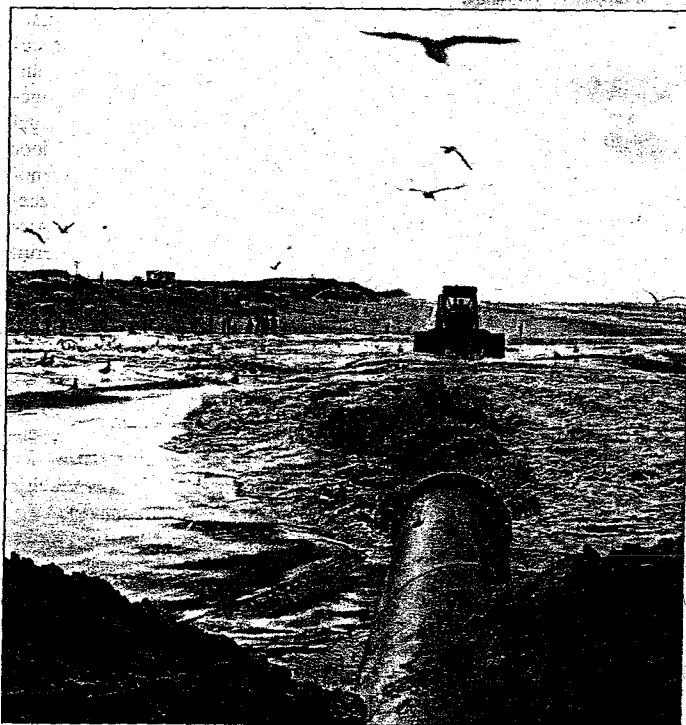
In het verleden was de algemene opvatting dat zand vooral evenwijdig aan de kust wordt getransporteerd: het *langtransport*. Golfwerking is de belangrijkste oorzaak. Brekende golven geven, wanneer ze scheef op de kust

invallen, een deel van hun energie af aan stroming langs de kust. Deze stroming, die sterker is dan de getijstrooming, is geconcentreerd in het gebied waar golven breken en waar dus veel zand wordt opgewerveld. Daardoor worden grote zandhoeveelheden langs de kust getransporteerd in de richting van de overheersende golfval, in Nederland van zuidwest naar noordoost. Om dit langtransport tegen te gaan zijn op veel plaatsen langs de kust strandhoofden aangelegd, stenen dammen die zo'n honderd meter de zee ingaan. Langs de Hollandse kust wordt het langtransport door golfval uit het zuidwesten voor een deel gecompenseerd door golfval uit het noordwesten. Anders is het bij de waddenkust en bij de zeegaten in het deltagebied, waar de symmetrie in de golfval en in het langtransport is verbroken. Bovendien proberen getijgeulen zich bij de koppen van de eilanden in de vooroever in te snijden. Strandhoofden spelen hier een wezenlijke rol bij de verdediging van de

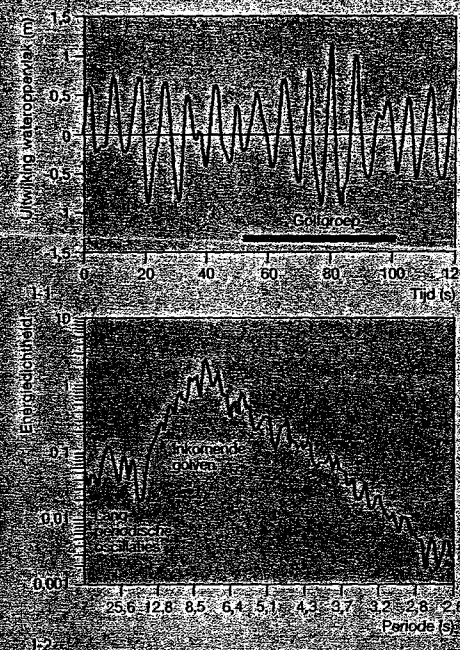
Golven op de vooroever

Golven ontstaan door de kracht die de wind uitoefent op het wateroppervlak. In het golfveld dat ontstaat op een groot wateroppervlak als de Noordzee hebben de golven niet allemaal dezelfde richting en golflengte. Voor elke golf-richting kan een spectrum worden gedefinieerd, dat de verdeling aangeeft van de golfenergie in verschillende spectrale banden. Voor de Noordzee liggen de golf frequenties meestal tussen de 0,1 en 0,2 Hz; we spreken van korte golven. In het golfveld treedt veel interferentie op. Daardoor lijkt het dat de golven in groepen aankomen op de kust. Perioden van hoge golven worden afgewisseld met perioden van lage golven.

Door de niet-lineaire wisselwerking in het golfveld ontstaan ook golven met lage frequenties die met de golfgroepen zijn geassocieerd. Deze laagfrequente golven kunnen (afhankelijk van hun frequentie) op de vooroever worden versterkt en de vorm aannemen van een staande golf, loodrecht op de kust. De golflengte blijkt



6. Momenteel wordt de kustachteruitgang vooral bestreden met suppleties op het strand. Daarbij wordt zand uit zee aangevoerd en op het strand aangebracht.



van dezelfde orde van grootte te zijn als de afstand tussen de brekerbanken. Daarom wordt wel aangenomen dat de brekerbanken op de vooroever samenhangen met deze laagfrequente staande golf en gevormd worden in de golfknoten of buiken.

Een soortgelijke laagfrequente golf kan ook ontstaan door het breken van korte golven op de vooroever. De energie van de brekende golven wordt voor een deel omgezet in een waterstandsverhoging naar de kust, die fluctueert met de frequentie van de golfgroepen, waardoor een laagfrequente golf ontstaat. Uit wiskundig modelonderzoek blijkt dat de wisselwerking van deze laagfrequente golf met de korte golven verantwoordelijk zou kunnen zijn voor de zee-waarse verplaatsing van de brekerbanken. Maar ook andere mechanismen zijn denkbaar, bijvoorbeeld de invloed van zware stormen die gepaard gaan met kustafslag. Toekomstig onderzoek moet uitsluitsel geven.

1.1. Waterstandfluctuaties door golven. Een golfgroep bestaande uit 7-8 golven is zichtbaar.
1.2. Energiespectrum van invallende golven, opgenomen bij storm voor de kust bij Egmond aan Zee.

kust. Toch zijn ze niet afdoende om de kusterosie te stoppen.

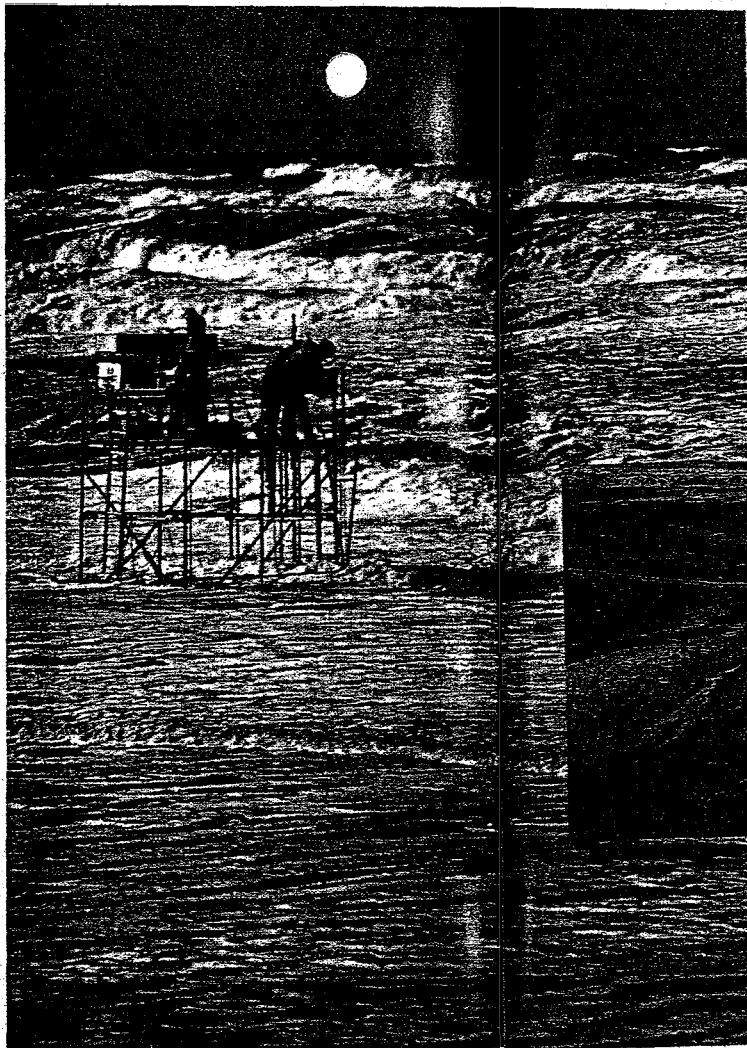
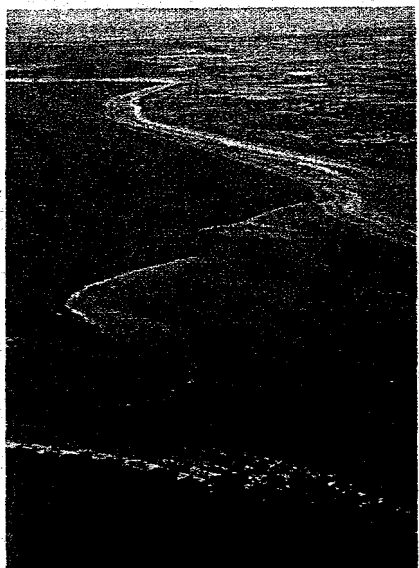
In *Kustgenese* is aangetoond dat ook zandtransport dwars op de kust een belangrijke rol speelt in de kustdynamiek. Weer vormen golven de voornaamste drijvende kracht. Modellen wezen in eerste instantie echter niet op zandverlies, maar juist op zandtransport naar de kust toe. Belangrijkste oorzaak is de vervorming die golven ondergaan bij het naderen van ondieper water. Hierdoor wordt de periode van kustwaartse waterbeweging korter dan de periode van zeewaartse beweging. De landwaartse pieksnelheid wordt daarentegen groter en daarmee ook het landwaartse zandtransport. De modellen waren echter te eenvoudig en hielden niet voldoende rekening met het bankenpatroon op de vooroever. Metingen in het brandingsgebied voor de kust en in laboratoriumgoten maakten duidelijk dat er ook niet goed was gekeken naar de wisselwerking tus-

sen golven en stroming en naar de structuur van het snelheidsveld onder brekende golven. De huidige wiskundige modellen zijn veel realistischer, maar om de vergelijkingen op te lossen blijven vereenvoudigende aannames nodig. Daardoor kennen de modellen een onzekerheidsmarge die het nauwkeurig voorspellen van dwarstransport onmogelijk maakt. Uit een recente proef met een zandsuppletie op de vooroever bij Terschelling blijkt dat in de brandingszone zand naar de kust beweegt. Dit biedt perspectief om een terugtrekkende kust efficiënt in stand te houden. Bij Terschelling wordt achteruitgang van de kust vooral veroorzaakt door het wegvaaien van zand naar de duinen. Dit zandverlies wordt door natuurlijke golfwerking aangevuld vanuit de vooroever, en de vooroever blijft zelf in stand dankzij de zandsuppletie vanuit zee. Deze suppletie is veel goedkoper dan een zandsuppletie op het strand.

Het blijkt niet goed mogelijk om de proces-
n die op de vooroever plaatsvinden met één
pe model te beschrijven. Er moet onder-
heid worden gemaakt tussen delen van de
vooroever waar golfwerking bepalend is voor
et gedrag van de kust en delen waar de in-
loed van getijstromen zich doet gelden. Dit
atste is het geval op de vooroever, zeewaarts
an de brekerbanken en bij de zeegaten tussen
e delta- en Waddeneilanden.

De invloed van zeearmen

De zeegaten hebben een grote invloed op het
 nederlandse kuststelsysteem. In de getijgeulen
issen de eilanden treedt een sterke stroming
p die in staat is grote hoeveelheden zand te
erplaatsen. Hierdoor wordt een systeem van
anken gevormd, zowel in het zeegat als daar-
uiten, zodanig dat de zandverplaatsingen bij
loed ongeveer gecompenseerd worden door
e zandverplaatsingen bij eb. Toch is er sprake
van een netto transport dat veroorzaakt
wordt door zandoverschot of zandtekort in de
eearm, het zeegebied landwaarts van het zee-
at. Tegenwoordig hebben bijna alle zeearmen
en zandtekort. Er is zandhonger in de Wes-
erschelde als gevolg van verdieping van de



8

scheepvaartgeul naar Antwerpen, er is zand-
honger in de Oosterschelde als gevolg van de
compartimentering (de afsluiting van het Vol-
kerak en het Zoommeer) en er is zandhonger
in de Waddenzee, onder andere door zeespie-
gelstijging, bodemdaling, zandwinning en
door geulverdieping (voornamelijk in de
Eems-Dollard). Via transport door het getij in
het geul-bankensysteem rond het zeegat en via
transport langs de kust door golven wordt
zand uit de kuststrook onttrokken en naar de
zeearmen gevoerd. Het is nog niet mogelijk
een gedetailleerde modelbeschrijving op te
stellen van dit ingewikkelde transportproces.

7. Banken in zee voor de
kust van Schouwen. Deze
banken hebben zich ge-
vormd als gevolg van de
veranderde stroom- en
golfpatronen na afsluiting
van de Zeeuwse zeear-
men.

8. Meetopstelling in de
branding bij Egmond voor
onderzoek naar het effect
van golven op zandtrans-
port.



9

9. Het Zwin, gelegen tús-
sen Het Zoute en Cad-
zand, was vroeger een in-
drukwekkende zeearm die
tot Brugge reikte. De
zandhonger van het Zwin
is inmiddels gestild.

zeewater 'kruip' daardoor onder het lichtere
kustwater door in de richting van de kust en
drijft het kustwater in een oppervlaktelaag
richting zee. De overheersende westenwind
werkt deze kustcirculatie weliswaar tegen,
maar niet voldoende om het beeld om te draai-
en. Toch is er bijna geen netto zandverplaat-
sing vanuit het diepere water naar de brand-
dingszone toe. Een verklaring daarvan is dat
op dieper water zand minder gemakkelijk door

de stroom wordt meegenomen, omdat de golven minder in staat zijn om het zand op te woelen. Waarschijnlijk speelt ook het getij een rol. Hoewel de getijstroming in hoofdzaak de kust volgt, is er toch een kleine hoek met de kust die varieert met de diepte en met de getijfase: eb of vloed. Dit komt door de aardrotatie. De hoek die de getijstroming bij de bodem met de kust maakt is bij de grootste vloodsnel-
heden zeewaarts gericht. Nu zijn de maximale vloodsnel-
heden voor de Nederlandse kust over het algemeen groter dan de maximale ebsnel-
heden. Bij vloed treedt daar-

om het grootste zandtransport op. Dit trans-
port gaat echter voor een klein deel zeewaarts,
wat zandverlies naar zee veroorzaakt. Voorlo-
pig zijn dit theoretische beschouwingen, die
nog onvoldoende met metingen zijn getoetst.

Bouwen met de natuur

Voorlopig is het inzicht kwalitatief van aard,
en gebaseerd op zandbalansberekeningen,
waarbij gebruik wordt gemaakt van nauwkeu-
rige dieptepeilingen van het kustgebied.

Uit de peilingsgegevens blijkt tevens dat het
zandverlies van de kust vooral plaatsvindt in
het deel van de vooroever dat even buiten de
brandingszone ligt. Hier spelen behalve gol-
ven ook andere zeestromingen een belangrijke
rol. Nabij de bodem is de stroming gemiddeld
landwaarts gericht. De oorzaak daarvan ligt in
de dichtheid van het water langs de kust, die
door de uitstroom van rivieren, vooral de Rijn,
lager is dan de dichtheid van het zeewater. Het

Bij onze strandwandeling hebben we gezien
dat de kust het resultaat is van een dynamische
wisselwerking tussen water en zand. De ver-
schiedenheid aan patronen in het kustprofiel
en de verschillende tijdschalen van verande-
ring geven aan dat we te maken hebben met
een veelheid aan processen met een complexe
samenhang. Wat we zien aan het strand wordt
voor een groot deel bepaald door wat zich af-
speelt onder water, op de vooroever. *Kustge-
nese* heeft veel inzicht gebracht in het onder-
zeese fundament van de kust. Het fundament
is niet in evenwicht en als we daar niets aan
doen zal de kust versneld achteruitgaan.

Voor het toekomstige onderzoek zijn twee zaken van belang. In de eerste plaats de toekomstige ontwikkeling van de kust. Het kuststelsel heeft in deze eeuw grote ingrepen ondergaan, door de afsluiting van de Zuiderzee, door de deltawerken en door de havenwerken bij Zeebrugge, Hoek van Holland en IJmuiden. Stromingspatronen zijn op grote schaal veranderd en natuurlijke zandtransporten zijn verlegd. Geologisch onderzoek naar de ontstaansgeschiedenis van onze kust leert dat zulke veranderingen op lange termijn doorwerken en dat ze zullen leiden tot een nieuw evenwicht in de kustligging. Daarbij spelen



10

10. Een kaart van de kop van Noord-Holland omstreeks het jaar 1300 met daarachter de contouren

van de huidige kust. De achteruitgang van de kustlijn is duidelijk zichtbaar.

Een niet-lineair systeem

De watermassa's in kustzeen zijn voortdurend in beweging. Die beweging heeft vooral een golfkarakter: de stroming wisselt regelmatig van richting. De belangrijkste energiecomponenten van de beweging zijn het getij, waarvan de grootste component een periode van ongeveer 12,5 uur heeft en de windgolven, waarvan de periode meestal tussen 5 en 10 seconden ligt. Door het golfkarakter van de waterbeweging wisselt ook de zandverplaatsing van richting.

Toch kan er wel degelijk sprake zijn van een netto verplaatsing van zand. De invloed die de

bodem uitoefent op de golfvoortplanting speelt hierbij een belangrijke rol. Door onregelmatigheden in de bodemligging ontstaan vaste circulatiepatronen in de waterbeweging, die de zandverplaatsing in een bepaalde richting versterken en in een andere richting tegenwerken. Door de niet-lineaire invloed van de bodemwrijving op de golfbeweging verliest deze bovendien het sinusoidale karakter. Ook andere niet-lineaire termen in de voortplantingsvergelijking dragen hiertoe bij. Het gevolg is dat de stroming in heen en weer gaande richting asymmetrisch wordt: bijvoorbeeld een kortdurende snelle beweging heen

en een langzame beweging terug. Omdat bij de snelle beweging veel meer zand wordt opgeweeld dan bij de langzame beweging betekent dit een netto zandverplaatsing in die richting. Als dit netto zandtransport afhankelijk is van de plaats, dan verandert de bodemligging en dat heeft weer zijn invloed op stroming en het zandtransport. Er ontstaat een wisselwerking tussen veranderingen in de bodemligging en veranderingen in waterbeweging door toedoen van netto zandverplaatsingen.

Verstoren van de bodemligging kunnen de waterbeweging zo beïnvloeden dat het zandtransport de verstoring versterkt. Deze verstoringen zullen spontaan groeien totdat compenserende factoren een rol gaan spelen. Het ontstaan van bodembibbels in ondiep water kan op deze manier worden verklaard. Misschien speelt niet-lineairiteit van de wisselwerking tussen bodemligging en waterbeweging ook een rol bij de ontwikkeling van de kustligging op grote schaal en lange termijn: in dat geval zijn voorspellingen van de toekomstige kustligging alleen mogelijk in statistische zin. Onderzoek op dit gebied is nog in volle gang.



11

11. De bescherming die de kust tegen stormvloed biedt, is niet alleen te danken aan de hoogte en breedte van het duin, maar ook aan de breedte

van het strand en de vooroever. Bij het handhaven van de kustlijn speelt de bestrijding van erosie op de vooroever een centrale rol.

vragen als: welke rol gaat de Voordelta vervullen in de zandbalans van de kust? Hoe reageert de Waddenzee op de bodemdaling en de zeespiegelstijging? Bovendien zijn de mogelijkheden voor verdere kustuitbreiding verre van uitgeput en dienen verschillende plannen zich al aan. Met de huidige stand van kennis kunnen we de gevolgen alleen voor de korte termijn goed inschatten.

In de tweede plaats zal het kustonderzoek zich in de toekomst sterker moeten richten op het onderhoud van de vooroever. De proef met de zandsuppletie op de vooroever bij Terschelling laat zien dat we de zee een deel van het werk kunnen laten doen, als we het ten minste goed aanpakken. Dit 'bouwen met de natuur' komt ook het ecosysteem van de kust ten goede, omdat we de natuurlijke processen intact laten. In de komende jaren zal een nieuw onderzoeksprogramma de inzichten die verkregen zijn uit het project *Kustgenese* verder uitdiepen en toepasbaar maken voor de kustbeheerders. Die kunnen er dan voor zorgen dat de kust veilig en in stand blijft en dat we ook in de toekomst onbezorgd van een strandwandeling kunnen genieten.

Bronvermelding illustraties

Wil Meinders, Wateringen: pag. 890-891, 11
Ministerie van Verkeer en Waterstaat/Directoraat-Generaal
Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst Afdeling Grafische
Techniek, 's-Gravenhage: 1, 4, 5, 6 en 7
Toon Fey, Heukelum: 9
Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Holland
Noorderkwartier, Edam: 10
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs.