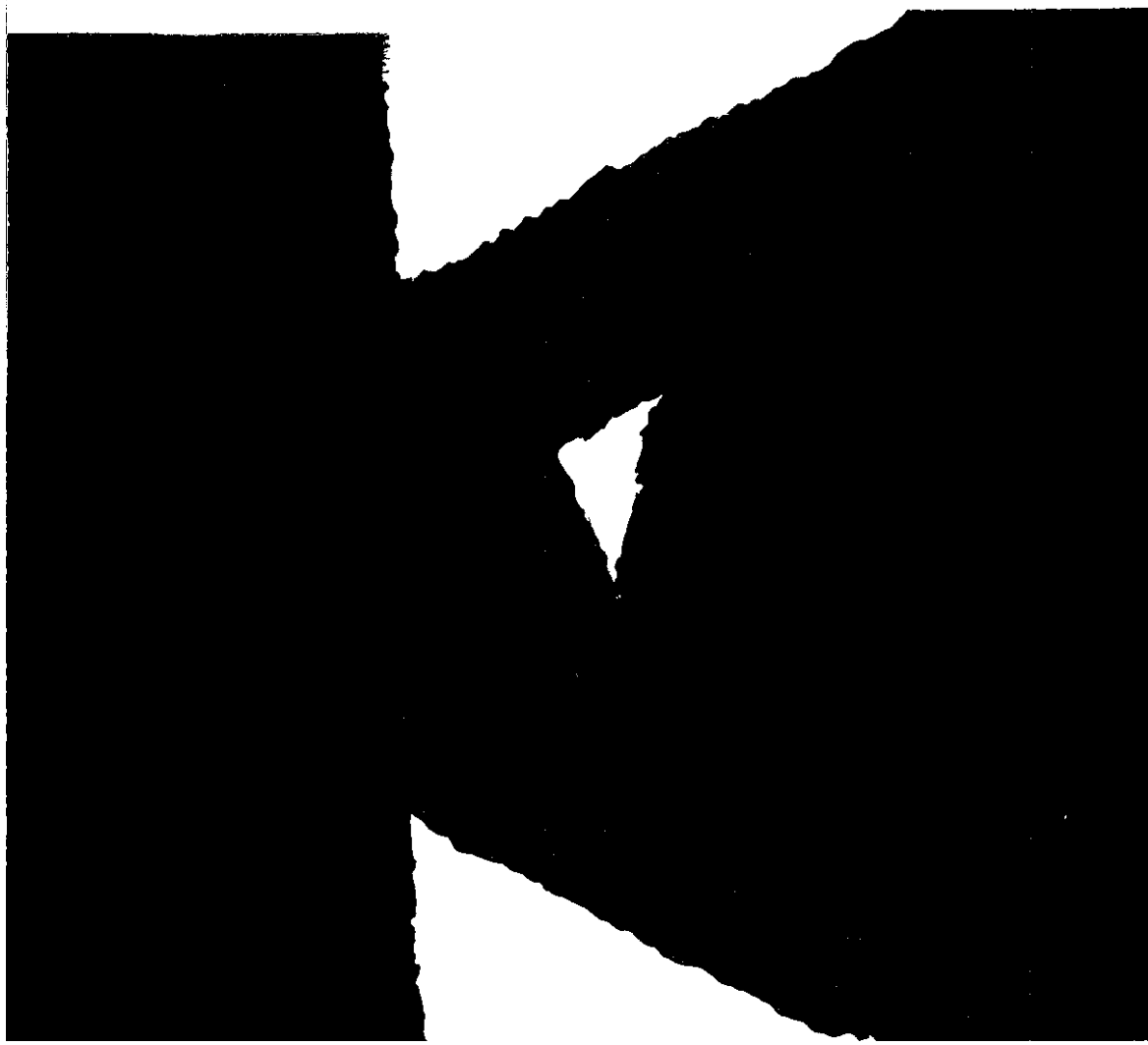


Driemaandelijks Bericht
nummer 117, augustus 1986

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
2597 AT 's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers.

Staatsuitgeverij
Postbus 20014
2500 EA 's Gravenhage
Telefoon 070-78 99 11

De prijs bedraagt f 29,50 per jaar
of f 7,75 per nummer

Inhoud

Thema-nummer Morfologie

Inleiding 339

Bodemontwikkeling in het benedenrivierengebied na de afsluiting van het Haringvliet 340

Morfologische processen in de Oosterschelde 345

Morfologische modellen 353

Kortsluitgeulen 361

Een nieuw wad-achtig gebied? 368

Kustbeheer en kustverdediging 372

Toekomstig kustbeheer 377

Samenvattingen/Summaries 382

Vorderingen 386



Een deltagebied in natuurlijke ontwikkeling wordt gekenmerkt door voortdurende, maar vaak langzame veranderingen in de vorm van de bodem. Gaat echter de mens ingrijpen in de natuurlijke situatie, zoals bij de Deltawerken is gebeurd en nog altijd gebeurt, dan kan dat leiden tot betrekkelijk snelle morfologische ontwikkelingen. Het is van groot belang deze ontwikkelingen te onderkennen en zo mogelijk te voorspellen. Enerzijds hebben zij invloed op de functies van de omgeving: de veiligheid, de scheepvaart, de natuur en het milieu, anderzijds kunnen zij een belangrijke randvoorwaarde vormen voor het ontwerp en de uitvoering van de voorgenomen civieltechnische werken.

Het voorspellen van morfologische veranderingen wordt mogelijk gemaakt door de beschikbare wetenschappelijke kennis, maar niet zelden ook door het persoonlijk inzicht en de ervaring van de morfoloog. Een voorbeeld daarvan zien we in de diversiteit die er bestaat in de formules om het zandtransport te voorspellen. Zo'n formule is vaak een combinatie van fysica en van coëfficiënten die zijn bepaald met behulp van experimenten of uit natuurmetingen. In iedere formule zit dan ook een subjectief element dat voortkomt uit de ervaring en het inzicht van een bepaalde onderzoeker; vaak is dan ook aan zo'n formule de naam verbonden van de opsteller, zoals in de medische wetenschap een ziekte veelal met de naam van de ontdekker aangeduid wordt.

Evenmin als de medicus zal de morfoloog in staat zijn overal een verklaring en een geneesmiddel voor te vinden. Onderzoek is en blijft noodzakelijk, zowel in het laboratorium als in de natuur. Een belangrijke ontwikkeling in dit onderzoek betreft het verbeteren van meetmethoden en meetinstrumenten. Daarnaast is, door de hoge vlucht van de automatisering, de verwerking van meetgegevens verbeterd, zowel qua betrouwbaarheid als wat de hoeveelheid betreft. Dit draagt bij tot de kwaliteit van de interpretatie en tot de scherpere toetsing van wiskundige modellen. Hoewel computermodellen, waarin steeds meer processen en hun interacties geformuleerd kunnen worden, een niet weg te denken hulpmiddel zijn, blijft de natuur de morfoloog toch nog steeds verrassen en noodzaakt ze hem op nederige wijze zijn blik te verbreden. In de adviespraktijk moet daarom een zekere voorzichtigheid betracht worden, ook als men

Inleiding

zo goed mogelijk rekening heeft gehouden met wetenschap, terreinverkenning, ervaring en randvoorwaarden.

Dit themanummer geeft de stand van zaken weer ten aanzien van de morfologische ontwikkelingen in ons benedenrivierengebied en langs de kust, in relatie tot de Deltawerken. Omdat volledigheid op dit terrein niet mogelijk is, wordt volstaan met een aantal onderwerpen waaruit de breedte van het probleemveld blijkt. Deze lijn wordt in het laatste artikel doorgetrokken naar een beleidsvisie van nationaal karakter.

De gedeeltelijke afsluiting van de zee-armen in het Deltagebied heeft morfologische gevolgen voor een gebied dat zich uitstrekt van de bovenstroomse rivieren tot en met de kustzone. De onderwerpen van deze aflevering zijn zo gerangschikt dat men als het ware een zeewaartse bootreis maakt door het gebied. Beginnend bij de bodemveranderingen in de benedenrivieren van het noordelijke Deltabekken belanden we vervolgens in het estuarium van de Oosterschelde. Daar wordt stilgestaan bij het onderzoek naar het gedrag van geulen, platen, slikken en schorren. Tevens wordt aandacht besteed aan de wiskundige modellen die dienen om het morfologisch gedrag te simuleren en te voorspellen. In de monding van de Oosterschelde speelt zich de problematiek van de kortsluitgeulen af, een kenmerkend voorbeeld van de interactie tussen de natuurlijke morfologie en de uitvoering van het werk aan de stormvloedkering. Verder zeewaarts ontmoeten we de Voordelta; daar doen zich interessante wad-achtige ontwikkelingen voor. Vanuit zee gezien vormt de kustverdediging een zaak om letterlijk en figuurlijk bij stil te staan.

Als onderdeel van de Deltawerken werd in 1969 het Volkerak afgesloten, en in 1970 het Haringvliet. Daardoor is de hydraulische situatie in het noordelijk Deltabekken ingrijpend veranderd.

Bodemontwikkeling in het benedenrivierengebied na de afsluiting van het Haringvliet

Het getij kan nu alleen nog via de Nieuwe Waterweg het benedenrivierengebied binnendringen, en het zeewater dat tijdens vloed is binnengekomen kan, met het water dat wordt aangevoerd door de Lek, de Waal en de Maas, ook alleen langs de Nieuwe Waterweg ongehinderd afstromen naar zee.

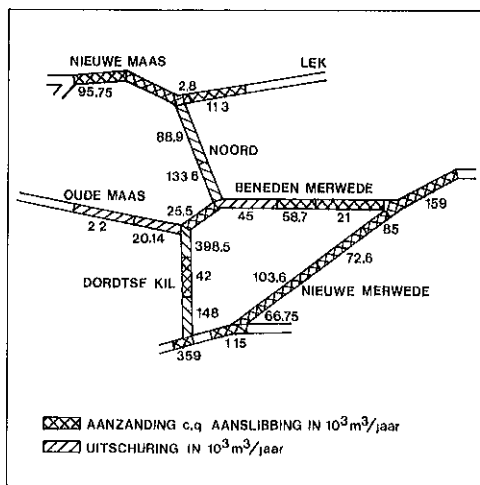
Daarnaast speelt de in 1970 gereedgekomen Rijnkanalisatie een rol. Die veroorzaakt dat de Waal bij lage afvoeren van de Bovenrijn nu meer water afvoert dan vóór de kanalisatie, en de Lek minder, omdat de stuwen in de Nederrijn dit zo regelen.

Afhankelijk van het afvoerniveau van de Bovenrijn kan een deel van het water tijdens eb afstromen door de Haringvlietstuwen. Hiertoe is een lozingsprogramma opgesteld dat tot doel heeft de afvoer via de Nieuwe Waterweg zolang mogelijk te houden op minimaal 1500 m³/s, om zo de verzilting van het noordelijk Deltabekken zoveel mogelijk te beperken. Om dit te bereiken is het lozingsprogramma gerelateerd aan de afvoer van de Bovenrijn bij Lobith. Bij een afvoer tot 1100 m³/s staan tijdens de ebperiode alleen de zout- en visriolen van de Haringvlietstuwen open; er wordt dan gemiddeld over het getij 10 m³/s gespuid. Bij een afvoer tussen 1100 en 1700 m³/s staat een doorstroomopening van 25 m² van de schuiven open, ten behoeve van een geringe doorspoeling, er wordt dan gemiddeld over het getij 50 m³/s gespuid. Bij afvoeren tussen 1700 en 9500 m³/s worden de schuiven verder geheven, afhankelijk van de afvoer. Overschrijdt de afvoer de 9500 m³/s, dan worden de spuisluizen helemaal geopend.

De veranderingen die na de twee genoemde afsluitingen optraden in de hydraulische

situatie van het noordelijk Deltabekken, raken vooral de stromingen, dus het horizontale getij, en in de meeste gevallen ook het verticale getij, ofwel de waterstanden.

De belangrijkste verandering, die vele andere wijzigingen met zich brengt, is opgetreden in de verdeling van de oppervlatafvoer langs de verschillende riviertakken. Vóór de afsluitingen had men te doen met forse getijstromen op het traject Nieuwe Merwede - Hollands Diep - Haringvliet; nu zijn de stroomsnelheden op dit traject sterk afgenomen. Op het bekken van het Hollands Diep en Haringvliet vindt men nog slechts een getijverschil van enkele decimeters. Daarentegen zijn de stroomsnelheden op de Oude Maas en de Noord groter geworden. Ook veranderde de resulterende stroomrichting op de Dordtse Kil en het Spui:



vóór de afsluitingen was die zuidwaarts gericht, erna noordwaarts. Deze veranderingen in de hydraulische situatie zijn niet uitsluitend het gevolg van de afsluiting van het Volkerak en het Haringvliet, maar ook van infrastructurele aanpassingen, zoals de verruiming van de Dordtse Kil. Een secundair gevolg daarvan is verandering van de bodemligging van de rivieren in het benedenrivierengebied, die overigens pas op langere termijn zichtbaar wordt.

Berekeningen

Voordat de sluitingen van het Volkerak en het Haringvliet werden gerealiseerd, was al voorzien dat er forse veranderingen zouden optreden in de hydraulische situatie, en als gevolg daarvan veranderingen van de bodem-

ligging van de rivieren in het benedenrivierengebied.

Teneinde enig inzicht te krijgen in de te verwachten veranderingen van de bodemligging zijn zandtransportberekeningen uitgevoerd. In het 'Rapport Deltacommissie-deel 5' staat met betrekking tot deze berekeningen: 'Hierbij is uitgegaan van een stromingstoestand die volgde uit een getijberekening met als randvoorwaarde een gemiddeld getij in zee en een gemiddelde opperwaterafvoer. Aan de uitkomsten van deze zandtransportberekeningen moet slechts een kwalitatieve waarde worden toegekend, daar niet vaststaat dat de tijdschaal bij de variatietoestanden dezelfde zal zijn als bij de bestaande toestand.'

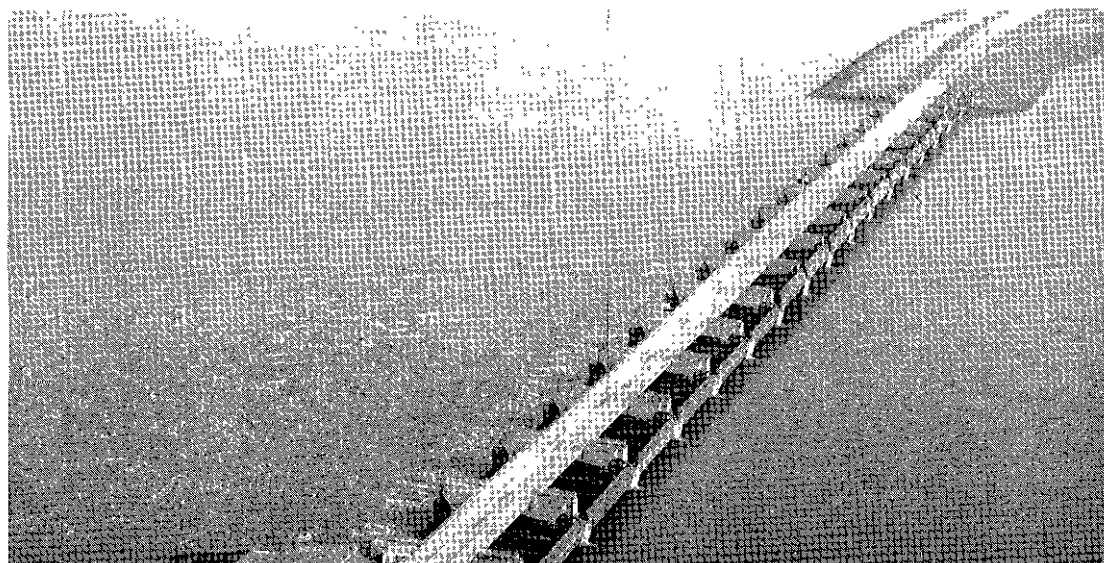
In figuur 1 worden de resultaten van deze berekeningen weergegeven, voor zover het de uitschuringen en aanzandingen betreft. Verder zegt het rapport van de Deltacommissie nog: 'Bovendien kunnen uit deze berekeningen de volgende conclusies worden getrokken'

1. De zandvoeding vanaf de Waal bij Gorinchem zal iets minder worden.
2. De zandtransportcapaciteit op de drie Merweden neemt zodanig af dat ondanks de verminderde zandaanvoer de aanzandingen op de Boven-Merwede en de Nieuwe Merwede gelijk zullen blijven, waardoor het Hollandsch Diep bovenstrooms van de bruggen vrijwel geen zand meer zal ontvangen
3. De Noord en de Dordtsche Kil zullen aan een vrij sterke uitschuring worden blootgesteld, evenals in mindere mate de mond van de Beneden-Merwede'

Met betrekking tot de berekeningen wordt nog de volgende opmerking gemaakt: 'Bij de berekeningen is van de veronderstelling uitgegaan dat de bodem van de betrokken

Fig 1 Berekende zandtransporten in het benedenrivierengebied na de voltooiing van het oorspronkelijke Deltaplan, bij gemiddelde Rijnafvoer

De Haringvlietssluiten



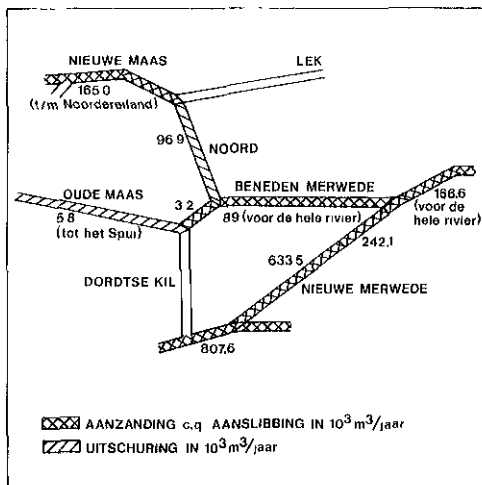


Fig. 2 Aanzanding en uitschuring gemiddeld per jaar over de periode 1971-1982

rivieren geheel uit zand bestaat. Aangezien in de bodem van de Noord en de Dordtsche Kil naast zand ook klei voorkomt, hebben de berekende getallen vooral hier slechts een kwalitatieve waarde, daar de aanwezigheid van klei de uitschuring zal afremmen.

Ten aanzien van de Rotterdamse Waterweg concludeert het rapport dat 'het getijvolume op deze belangrijke scheepvaartweg zal afnemen, hetgeen een tendens tot aanzanding ten gevolge zal kunnen hebben'.

Zowel voor als na de afsluitingen van het Volkerak en het Haringvliet werden en worden de rivieren in het benedenrivierengebied frequent gelood. Aan de hand van de resultaten daarvan is onderzoek gedaan naar de bodemontwikkeling van deze rivieren in de periode 1971-1982. Bij dit onderzoek is ook rekening gehouden met het in de onderzochte periode uitgevoerde onderhoudswerk, zowel baggeren als bestorten.

Figuur 2 geeft, over de periode 1971-1982, de gemiddelde aanzanding of uitschuring weer over hetzelfde gebied als het rapport van de Deltacommissie. Vergelijking van de voorspelde en de opgetreden verschijnselen laat zien dat de voorziene uitschuring van de Noord en de Oude Maas benedenstrooms van de Dordtse Kil inderdaad is opgetreden, zij het dat beide rivieren minder zijn uitgeschuurd dan werd verwacht. Ook de voorspelde aanzanding van de drie Merweden, uitgezonderd het benedendeel van de Beneden-Merwede, het Hollands Diep tot aan de bruggen, het gedeelte van de Oude Maas voor Dordrecht en een deel van de Nieuwe Maas is opgetreden. Maar vooral op het traject Boven-Merwede-Nieuwe Merwede-Hollands Diep is aanzienlijk

meer sediment afgezet dan was verwacht: wel ongeveer vier keer zoveel.

De verwachte uitschuring van het benedenstroomse deel van de Beneden-Merwede is eveneens geconstateerd, ook al is dit niet te zien in figuur 2. De rivier is daar bekeken als één geheel, maar de resulterende aanzanding wordt geheel veroorzaakt door het bovenstroomse deel van de rivier.

Van de ontwikkeling van de Dordtse Kiltenslotte is nog niets te zeggen, omdat het onderzoek nog niet zover is gevorderd. Tussen 1970 en 1979 zijn hier omvangrijke reconstructiewerkzaamheden uitgevoerd, waarvan de effecten de natuurlijke ontwikkeling mogelijk verre overtreffen.

Het tot nu toe uitgevoerde onderzoek geeft bepaalde ontwikkelingen aan voor het gehele benedenrivierengebied (zie figuur 3).

Er treedt sedimentatie op langs de zuidrand van het noordelijk Deltabekken, op de drie Merweden, op de Oude Maas voor Dordrecht, in het zuidelijk deel van het Spui, in de Nieuwe Maas en in een deel van de Nieuwe Waterweg. Opvallend bij het sedimentatieproces zijn de grote hoeveelheden die tot afzetting komen op het traject Nieuwe Merwede-Hollands Diep-Haringvliet en op de Amer: gemiddeld per jaar wel 5,4 miljoen m^3 , terwijl in het gehele noordelijke Deltabekken, uitgezonderd de Maasmond en de havens, gemiddeld per jaar ongeveer 7,9 miljoen m^3 sedimenteert. Uit het onderzoek is ook gebleken dat het zwaartepunt van het sedimentatieproces in het gebied langzaam via het genoemde traject van oost naar west opschuift. Het zwaartepunt is nu al opgeschoven tot voorbij het splitsingspunt Dordtse Kil-Hollands Diep.

Erosie treedt op in de Noord, in de Oude Maas

Fig. 3. De bodemontwikkeling in het benedenrivierengebied in de periode 1971-1982



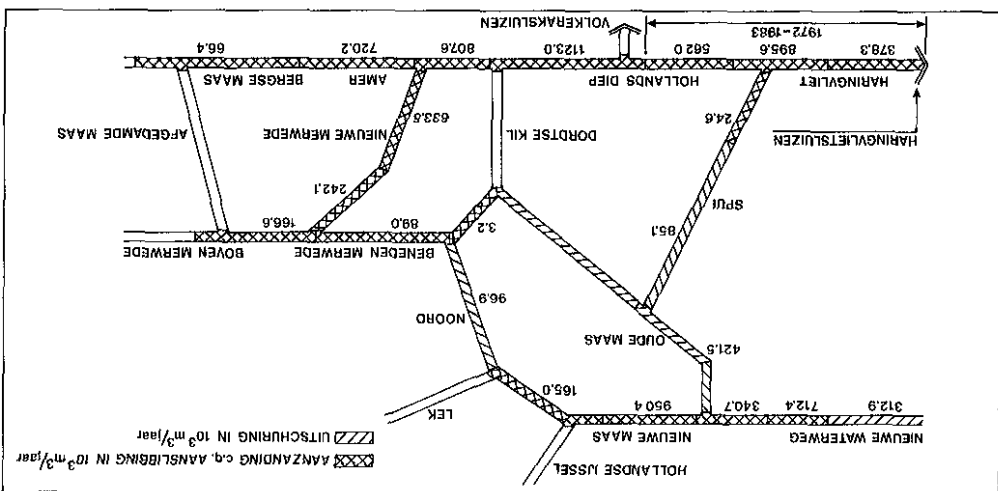
Rivierlandschap

Op grond van het onderzoek naar de ontwikkeling van de bodemligging per rivier mag verwacht worden dat de tendenties die nu aanwezig zijn, zich nog geruime tijd zullen

Ontwikkelingen in de toekomst

voortzetten, tenzij er maatregelen worden genomen. Als er niet wordt ingegrepen, zullen de rivieren vroeger of later min of meer een evenwichtssituatie bereiken. Hoe die uit zal vallen wordt voor het grootste deel bepaald door het afvoerniveau van de rivieren, en door de hoeveelheid sediment die aangevoerd wordt, voornamelijk door de rivieren. In het algemeen is de verwachting dat op middellange termijn in het noordelijk Deltabekken aanzienlijk zal blijven optreden, behalve op de Noord, de Oude Maas en het Spui, die verder zullen uitschuren. Het zwaartepunt van het aanzandingsproces zal langs de zuidrand

op.
erosieproces in het Spui van noord naar zuid
Over de periode 1971-1982 schuift het
975 duizend m³ bodemmateriaal uitschuift.
de voormoede rivieren bij elkaar gemiddeld
gemiddeld per jaar 420 duizend m³, terwijl in
de Oude Maas benedenstrooms van het Spui:
'trapjeslijn'. De erosie is vooral aanzienlijk in
bodem is opgehoogd in verband met de
Nieuwe Waterweg; daar echter pas sinds de
groot deel van het Spui en in de mond van de
benedenstrooms van de Dordtse Kil, in een



steeds verder het benedenrivierengebied binnendringen.

Op de lange termijn zal ook in het Haringvliet forse aanzanding optreden, waardoor in het Haringvliet-Hollands Diep-bekken net zo'n geulensysteem zal ontstaan als zich nu voordoet in de benedenloop van de Nieuwe Merwede, en zoals eertijds in de Biesbos, voordat de Nieuwe Merwede werd gegraven. Door het opschuiven van het aanzandingsproces zal eerder afgezet fijn materiaal, slib, worden afgedekt door het grovere materiaal zand.

De geschetste ontwikkelingen kunnen een aantal minder gunstige neveneffecten met zich meebrengen. Bij doorgaande aanzanding neemt de beschikbare diepte af, waardoor er problemen kunnen ontstaan voor de zeevaart op de Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg, en in de zeevaartgeul die door het Hollands Diep loopt naar het industrieterrein bij Moerdijk. Voor de binnenvaart zijn in eerste instantie problemen te verwachten op de Nieuwe Merwede en de Amer. Er zal dan steeds meer gebaggerd moeten worden, waarbij zich onmiddellijk de vraag voordoet, waar de verontreinigde specie kan worden geborgen. Een ander gevolg zal de afname zijn van het doorstroomprofiel, waardoor een goede en vlotte afvoer van water en ijs kan worden belemmerd. Bij verdere aanzanding van het Hollands Diep-Haringvliet zal bovendien de waterloopkundige situatie in het gehele noordelijke Deltabekken veranderen.

Dan is er nog het probleem van de verontreiniging. Aan het door de rivieren aangevoerde sediment zijn microverontreinigingen gehecht, zware metalen zoals cadmium, lood en kwik, en organische verontreinigingen als PCB's. Als dit sediment zich afzet, vormt zich op de bodem van de rivier een sterk verontreinigde laag, die voor het milieu van de rivier nadelige gevolgen kan hebben.

Tengevolge van bestrijding aan de bron en de daardoor verbeterde waterkwaliteit is er nu sprake van een geleidelijke verbetering. Aangezien het zwaartepunt van het sedimentatieproces nog steeds doorschuift van oost naar west, vindt echter ook nog steeds een doorgaande belasting met en verspreiding van verontreinigd sediment naar het westen plaats.

Bij doorgaande uitschuring in de eerder genoemde riviertakken zou, wanneer er geen maatregelen worden genomen, de stabiliteit van kunstwerken zoals bruggen en tunnels en die van oevers en oeververdedigingswerken gevaar kunnen lopen. In de bodem aanwezige min of meer waterdichte lagen, kleilagen bijvoorbeeld, kunnen bij voortgaande uitschuring aangetast of doorbroken worden, waardoor vervuild rivierwater in contact kan komen met het relatief schone grondwater. Het is ook nog mogelijk dat in het verleden afgezette relatief sterk met microverontreinigingen belaste sedimentlagen als gevolg van uitschuring eroderen, wat verdere verspreiding van de verontreinigingen tot gevolg heeft.

Geomorfologie is de wetenschap van de processen die zich afspelen op het raakvlak van de aarde, de atmosfeer en de hydrosfeer; de confrontatie van elkaar beïnvloedende sferen resulteert in een bepaald type landschap. Echter ook de mens speelt in toenemende mate een belangrijke rol in de vormgeving van het landschap, met name bij ons, in de 'Lage Landen'.

Morfologische processen in de Oosterschelde

Ontmoetingsgebieden tussen zee en rivier zijn immers uiterst vruchtbaar; ze vormen in de geschiedenis de bakermat van vele hoog ontwikkelde culturen. De grootste bevolkingsdichtheden werden van oudsher dan ook aangetroffen in deltagebieden.

De krachtenverhouding tussen werkzame factoren bepaalt de dynamische kustvorm. De Nederlandse delta wordt gekenmerkt door vele onderbrekingen van de kustlijn bij de Zuidhollandse en Zeeuwse eilanden in het zuidwestelijk deel van de delta. Hier spelen de afbrekende krachten van getijdestromingen een relatief grote rol; een voorbeeld waar vooral de opbouwende krachten van de rivier werkzaam zijn is de Nijldelta.

De complexiteit van de onderlinge beïnvloeding van de opbouwende en afbrekende krachten wordt geïllustreerd door het feit dat afslag in een bepaald gebied weer materiaal levert voor een belendend gebied. Zo kan een eroderende golfwerking sediment wegnemen en via stromingen langs de kust elders deponeren.

Hetzelfde geldt, afhankelijk van de schaal waarop men de processen beschouwt, voor de werking van getijdestromingen.

Gezien de lage ligging van deltagebieden kan een geringe verstoring in de milieubepalende krachten al grote verschuivingen veroorzaken in het dynamisch evenwicht van de morfologische kusteenheden. Zulke verstoringen kunnen bijvoorbeeld het gevolg zijn van menselijke ingrepen als dammenbouw of beïnvloeding van de atmosfeer en de ozon-laag, die immers kunnen leiden tot versnelde afsmelting van ijsmassa's en rijzing van de zeespiegel.

In het Deltagebied van Nederland kan men in hoofdzaak drie procesbepalende factoren

onderscheiden. De rivieren Rijn, Maas en Schelde zorgen voor de aanvoer van sediment; zij zijn de opbouwende krachten. Getijstromingen, wind en golven vormen het belangrijkste deel van de afbrekende krachten. Verder hebben we te maken met een relatieve zeespiegelrijzing van 10 tot 15 cm per eeuw. Kennis van de morfologische processen in Zuidwest-Nederland is van belang, zowel tijdens de bouw als na de voltooiing van de kustwaterbouwkundige werken.

Morfologische kennis is tijdens de bouw van de Oosterscheldewerken gebruikt onder meer voor het bepalen van het tracé van de stormvloedkering en de compartimenteringsdammen. De werkeilanden Roggenplaat en Neeltje Jans waren immers geprojecteerd op de ondiepe gebieden in de monding van de Oosterschelde. De stabiliteit en de natuurlijke ontwikkelingen van deze platen zijn bij deze keuze van belang geweest (Bericht 96, mei 1981). De tracé-keuze van het zuidoostelijk deel van de Philipsdam, met de vreemde slinger naar St.-Philipsland, stoelt met name op het groeiende besef dat men zoveel als mogelijk de hoog gewaardeerde schorgebieden diende te sparen.

Kennis van de geomorfologische gesteldheid van de gebieden achter de dammen is ook gebruikt bij de landschappelijke inpassing van de damaanzetten en hun overgang naar het oude land.

Bij de uitvoering van de Deltawerken zijn vele miljoenen m³ grond verzet. Een groot deel van de vrijkomende specie, die goeddeels afkomstig was van de bij de Oosterscheldedekering uitgegraven cunetten, is zo goed mogelijk ingepast in het nieuwe landschap. Deze specie werd gebruikt voor een aanzet tot



strand- en duinvorming op het Damvak Geul, en fungeert daar voorwaarde-scheppend voor natuurlijke ontwikkelingen en recreatief gebruik

Anderzijds werden zandwinlocaties gekozen die zo min mogelijk schade aan het natuurlijk milieu veroorzaakten. Kennis van de natuurlijke veranderingen van getijdgeulen en platen heeft zeker bijgedragen tot het kiezen van verantwoorde locaties.

We konden onze kennis recentelijk aanzienlijk vergroten door het in gebruik nemen van gemodificeerde apparatuur als de zijwaartse sonar, en van nieuw ontwikkelde meetinstrumenten, zoals de akoestische zandtransportmeter en de zanddiktemeter. Vergroting van inzicht in morfologische processen onder water heeft bijvoorbeeld een rol gespeeld bij de aanpak van aanzandingen tijdens cruciale

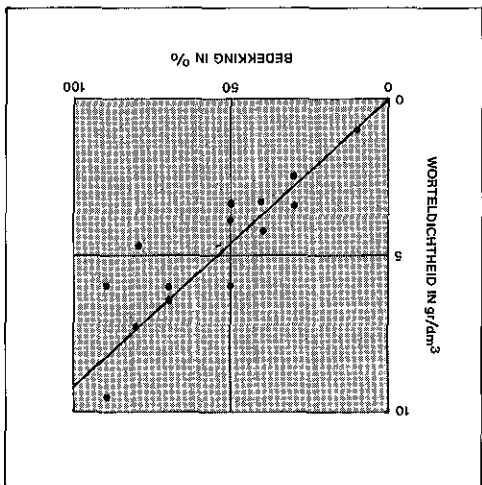
momenten van de bouw van de stormvloedkering, zoals de plaatsing van de pijlers.

Na de voltooiing van de Oosterscheldewerken zal de morfologie van de Oosterschelde zich aanpassen aan de nieuwe situatie met gereduceerd getij. Dit brengt ons op een geheel ander aspect van toepassing van morfologische kennis.

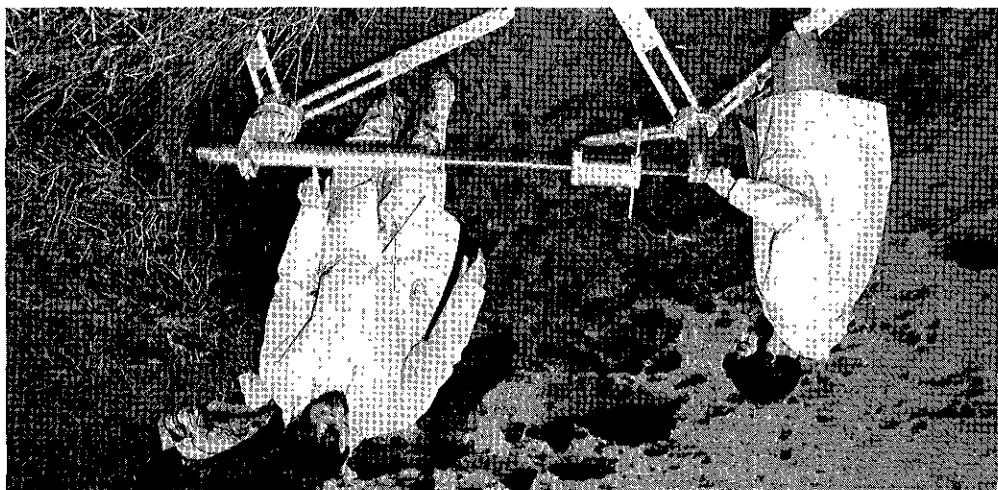
De morfologische processen die voor een groot deel de gesteldheid, de samenstelling en de kwaliteit van de intergetijdegebieden en de geulbodems bepalen, kan men ook beschouwen als abiotische processen, die voorwaarde-scheppend zijn voor de biotische processen. Met andere woorden, het rijke plantaardige en dierlijke leven in en op de bodem van een getijdebekken zoals de Oosterschelde, en van de Voordelta, worden voor een deel bepaald door morfologische en

Fig 1. Verhouding tussen
wortelrichtheid en bedek-
kingsgraad

Bemonstering van het schor
in verband met treksterkte-
proeven



bodemkundige processen.
Het is deze samenhang tussen abiotische en
biotische factoren die de waarde bepaalt van
de natuur, de visserij en de recreatie. Handha-
ving en uitbreiding van de eerste twee
functies wordt als beleidsdoelstelling omschre-
ven in het Beleidsplan Oosterschelde (Bericht
95, februari 1981). We kijken daarom nu eerst
naar de morfologische processen en de
mogelijke veranderingen die na de voltooiing
van de Oosterscheldewerken zullen optreden
ten aanzien van de drie morfologische
eenheden: schoren, platen en slikken, en de
getijdgeulen in het intergetijdgebied.
Schoren
Schoren zijn hooggelegen, meestal enigszins
beschutte, begroeide buitendijkse randgebie-
den in een getijdgebied. Zij worden ten
minste nog enige tientallen malen per jaar
overspoeld. Het zijn thans gebieden met een
rijke flora en fauna, maar na de voltooiing van
de Oosterscheldewerken raken ze onderhevig
aan gereduceerde overspoeling.
Na het gereedkomen van de compartimente-
ringsdammen blijft nog maar een derde deel
van deze vanuit natuur oogpunt hooggewaar-
deerde gebieden over, niet meer dan 600 ha.
De rest wordt achtergelaten en daardoor
onttrokken aan de getijde-inval, die
essentieel is voor het voortbestaan. De
belangrijkste morfologische processen die
zich op, in en nabij de schoren voordoen, zijn
sedimentatie en erosie in het overgangsgebied
tussen schor en slik, het belendende interge-
tijdsgebied, en opslibbing tijdens overspoeling
door hoog water.



Volgens zeer voorlopige schattingen zouden de schorren zich uitbreiden onder invloed van de afnemende getijwerking. Welke processen daarin een rol spelen werd behandeld in Bericht 105 (augustus 1983).

Het blijkt echter dat er alleen gedurende stormachtige weersomstandigheden sprake is van slibimport, en wel via de schorrekken naar het schoroppervlak. Dit is gemeten met behulp van een sediment-balansonderzoek in de monding van een schorrekreek. In de toekomst gaan overspoelingsfrequentie en -duur met 50 tot 100% terug, afhankelijk van de hoogteligging van het schoroppervlak. Men verwacht als gevolg hiervan een reductie van de ophoging van het schoroppervlak met ten minste 25%

De schorrekken zullen in de toekomst onderhevig zijn aan grotere sedimentatie, ten

gevolge van aanpassingen van het doorstroomprofiel. De essentiële reliëfverschillen tussen de oeverwallen en de krekken zullen dan afnemen, hetgeen op een termijn van enige tientallen jaren aanleiding kan geven tot reliëfvervaging.

Uit inventariserend onderzoek blijkt dat 70% van de schor-slikovergangen nu bestaat uit eroderende schorkliffen van een halve tot anderhalve meter hoog, 20% uit min of meer stabiele schorkliffen, en 10% uit een geleidelijke overgang tussen schor en klif. De eroderende schorkliffen schrijden terug met een meter per jaar. De hoogteligging van de onderkant van het klif varieert tussen N.A.P. en N.A.P. + 1,5 m; vooral dit laatste is zeer bepalend voor de toekomstige overspoelingsduur en -frequentie van deze gebieden.

Uit de resultaten van het vervolgonderzoek,

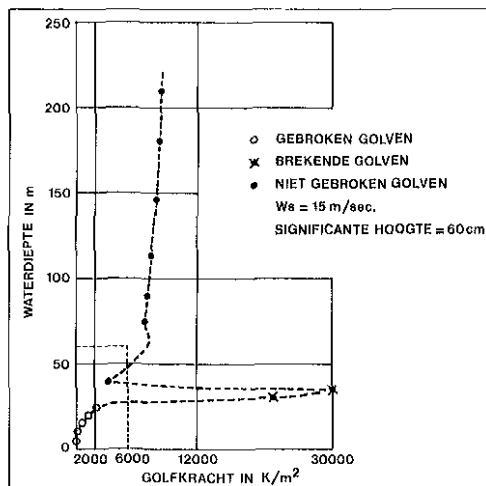


Fig 2 Golfkrachten als functie van de waterdiepte

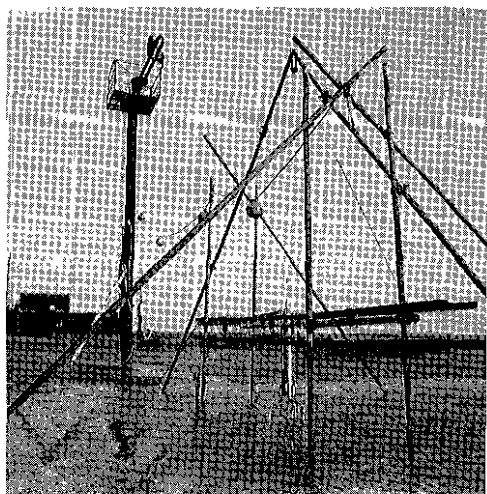
Rechts een GEOMOR-meetopstelling

Meting van erosie en sedimentatie voor het project GEOMOR

inmiddels vastgelegd in een eindrapportage, blijven nog enkele andere belangrijke proces-bepalende factoren.

De ondergraving van het schor, en dus de stabiliteit van het klif, wordt sterk bepaald door het feit dat de schorbodem over het algemeen naar beneden toe zandiger wordt, en daardoor gemakkelijker ondergraven kan worden.

De stabiliteit of erosiegevoeligheid van het bodemmateriaal in de schorkliffen is gemeten door grondmechanische trek-, druk- en schuifproeven. Er worden enige tientallen ongestoorde boringen horizontaal genomen, en onderworpen aan ongeconsolideerde vrije-prismaproeven in het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft. Deze sterkte-parameters zijn gerelateerd aan de primaire bodemeigenschappen



Het lutumgehalte, dat is het gehalte aan deeltjes kleiner dan 2 micron, hangt nauw samen met het vochtgehalte, de massadichtheid, de kleimineralogische samenstelling en de plasticiteitsindex. Het geanalyseerde lutumgehalte is dan ook de enige bodemeigenschap waarmee de gemeten treksterkteresultaten zijn gecorreleerd.

Behalve de abiotische bodemeigenschappen zijn vegetatiekenmerken zoals de worteldichtheid van invloed op de sterkte en de cohesie van het klifmateriaal. De bewortelingsdichtheid is slechts op omslachtige wijze meetbaar, maar ze blijkt goed te correleren met de gemakkelijk in het veld waar te nemen bedekkingspercentages.

Wanneer het gewicht van het overhangende ondergraven schorgedeelte groter wordt dan de interne sterkte van het doorwortelde

kleipakket, treedt afstorting op. Er zijn empirisch bepaalde regressievergelijkingen opgesteld voor de druksterkte onderin het overhangende pakket en de treksterkte bovenin.

Behalve de zwaartekracht dragen ook de onderzochte golfklappen en de wisselende golfdoordringing via poriën in de grondmassa bij aan de afstorting.

De aanvallende krachten worden in hoofdzaak bepaald door de eroderende werking van golven; de getijstrooming komt in deze gebieden niet boven 20 cm/s, en draagt alleen bij tot de afvoer van de geërodeerde sedimenten.

Van de drie golftypen – ongebroken, gebroken en brekende golven – bepalen de laatste, met een kracht van meer dan 10 000 kg/m², in hoofdzaak de mate van erosie van de schorkliffen. De duur en de intensiteit van de brekende golven hangt af van de hoogte van de schorkliffen, van het golfklimaat en van de ligging van de schorklifvoet ten opzichte van N.A.P. De laatste twee parameters zijn onderhevig aan veranderingen als gevolg van de Oosterscheldewerken.

De gemeten golven nabij de schorkliffen zijn geanalyseerd; uit de frequentieverdeling van de golfkrachten is de geometrisch gemiddelde golfkracht bepaald.

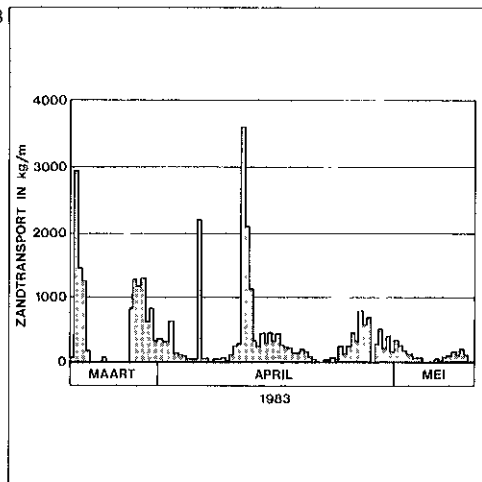
De frequent en nauwkeurig gemeten terugwijking van de schorkliffen is empirisch gerelateerd aan de duur van de golfwerking, de klifsterkte en de geometrisch gemiddelde golfkracht. De regressie-coëfficiënten werden bepaald met behulp van een semi-logaritmische regressie. Ongeveer 80% van de waargenomen terugwijking kan door de opgestelde vergelijking verklaard worden.

Met behulp van deze basisformule en in beschouwing nemend de veranderende toekomstige overspoelingsduur en -frequentie bij gelijkblijvend windklimaat, is de volgende algemeen geldende uitspraak tot stand gekomen: de schorren in het Oosterscheldegebied zullen ook in de toekomst eroderen, en wel met 60 tot 90% van hun huidige terugschrijdende snelheid.

De verkregen kennis omtrent het dynamisch gedrag van schorren wordt toegepast in het toekomstig beheer van deze gebieden, en speelt ook een rol in het optimaliseren van de sluitingsstrategie van de stormvloedkering.

Platen en slikken

Platen en slikken zijn intergetijdegebieden die omringd worden door getijdegeulen, respectievelijk grenzen aan dijken of schorren. Deze



gebieden vallen droog tijdens laagwater en worden gedurende hoogwater overspoeld; zij zijn rijk aan micro- en macro-algen en aan bodemdieren, onder andere wormen en schelpdieren. De grootste dichtheid van die organismen treft men over het algemeen aan in de zone tussen de laagwaterlijn en N A P. De bodemgebonden organismen zijn medebepalend voor de natuur en de visserij, de twee belangrijkste functies van de Oosterschelde. De doelstelling van het platen- en slikkenonderzoek loopt grotendeels parallel aan die van het schorren-onderzoek: na inventarisatie en procesonderzoek wil men komen tot een voorspelling van het toekomstig morfodynamische gedrag. De toekomstige abiotische ontwikkeling is met name van belang voor de al genoemde rijkdom aan bodemgebonden organismen, en daarmee voor het beleid en beheer in de toekomst.

De complexe interacties tussen golven, stroming, bodemtransport en transport van gesuspendeerd sediment, bepalen de sedimentatie- en erosieprocessen, en daarmee de vorm en de afmetingen van de intergetijdegebieden.

In eerste instantie zijn voor dit onderzoek twee meetopstellingen op de Noordwest-kop van de Galgeplaat ingericht met golfmeetpalen, met stroomsnelheidsmeters – zowel ott-molens als electromagnetische stroomsnelheids- en -richtingsmeters – met akoestische zandtransportmeters voor zandtransport, stroomrichting en -snelheid en waterdiepte, met troebelheidsmeters en waterbemonsteringsapparatuur. De meetlocaties bevinden zich nabij de laagwaterlijn en boven op de plaat.

Zowel gedurende stormachtige als onder rustige weersomstandigheden werden

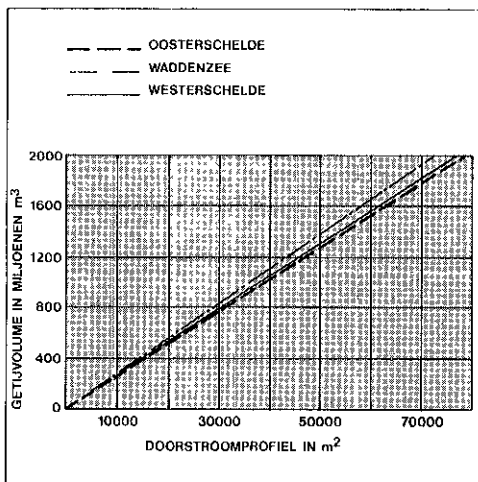


Fig. 3 Netto zandtransporten in de tijd, met sterke pieken als gevolg van storm

Fig. 4 De relatie tussen getijvolume en doorstroomprofiel in de Oosterschelde, de Westerschelde en de Waddenzee

De benthische diatomee *Navicula flammula* verbindt twee zandkorrels met een slijmdraad. De opname kwam tot stand onder de elektronen-microscopie.



verticalen doorgemeten naar stroomsnelheid en naar concentratie van gesuspendeerd zand, om een nauwkeurig beeld te krijgen van de geïntegreerde zandtransporten over een getijcyclus. Daarnaast werden regelmatig opnamen met zijdelingse sonar gemaakt om een indruk te krijgen van het zandtransport over de bodem. Ook werden zeer regelmatig metingen van erosie en sedimentatie verricht aan plaat- en slikoppervlak. Deze metingen zijn uitgevoerd volgens een patroon van kleine gelijkzijdige driehoeken; de hoogteligging van de plaat werd ingemeten met een meetnauwkeurigheid van 1 mm. Tevens is aandacht geschonken aan de samenstelling van het sediment en aan de sedimentbindende werking van bodemgebonden micro-algen. Mathematische modellen van de stroming, de golven, het sedimenttransport, de erosie en de sedimentatie van de Galgeplaat hielpen de metingen te interpreteren.

Naast veldmetingen zijn literatuurstudies verricht, onder meer naar het ontstaan en het gedrag van intergetijdgebieden in delta's en estuaria. Ook werden er modelstudies uitgevoerd in een golfgoot van het Waterloorkundig Laboratorium te De Voorst, onder andere naar de verticale verdeling van de concentraties gesuspendeerd zand onder invloed van variërende golfhoogten, waterdiepten, stroomsnelheden en taludhellingen. Het onderzoek verkeert momenteel in de fase van afronding. We geven nu een overzicht van de belangrijkste meetresultaten van de Galgeplaat, en van de eerste conclusie daaruit. Stroomsnelheden, stroomrichting en zandconcentraties werden gemeten op 30 cm boven het plaatoppervlak.

Onder rustige weersomstandigheden en bij doodtij overschrijdt de maximale stroomsnelheid van 25 tot 30 cm/s nauwelijks de kritische erosiesnelheid; de zandconcentraties bereiken dan ook slechts maximale waarden van 10 mgr/l. Tijdens springtij echter, als de stroom oploopt tot 40 à 60 cm/s, bereiken de maximale zandconcentraties een waarde van 50 tot 200 mgr/l. Het netto zandtransport is dan gericht vanuit de geul schuin naar de plaat.

Onder stormachtige weersomstandigheden met windsnelheden boven 15 m/s, een maatgevende golfhoogte van 30 tot 90 cm en een significante golfperiode van 3 s, kan de zandconcentratie bij springtij wel drie keer zo hoog zijn, terwijl bij doodtij zandconcentraties van 200 mgr/l zijn gemeten. De netto zandtransporten zijn dan van de plaat schuin naar de geul gericht.

Metingen van sedimentatie en erosie bevesti-

gen dit beeld in algemene zin. Het ruimtelijk beeld wordt gekenmerkt door grotere sedimentatie- en erosiesnelheden nabij de laagwaterlijn dan op het centrale deel van de plaat. Er bestaat overeenstemming tussen de variaties in sedimentparameters zoals mediane korrelgrootte en -sortering van het plaatoppervlak en de variatie in hydrodynamische omstandigheden.

De bodemgebonden micro-algen binden zandkorrels door middel van slijmdraden. Dit is duidelijk te zien met behulp van elektronenmicroscopie. Experimenten tonen aan dat deze micro-algen onder de huidige omstandigheden in staat zijn de kritische erosiesnelheidsdrempel te verhogen met 20 tot 40%.

Kwantitatieve verwerking van de opnamen met zijdelingse sonar en gelijktijdig uitgevoerde metingen van het transport van gesuspendeerd zand laten zien dat het zandtransport over de bodem maximaal 8% bedraagt van het totale materiaaltransport.

Op de Galgeplaat bestaat dus momenteel een min of meer dynamisch evenwicht tussen de door stroming aangevoerde en de door golven afgevoerde sedimenten. Het netto morfologisch effect over één waarnemingsjaar is in de omgeving van de meetlocaties gering.

Nader onderzoek naar de representativiteit van het windklimaat van deze meetperiode zal uitwijzen of dit netto effect ook geldt voor langere perioden.

Bij de in de toekomst te verwachten reductie van het verticaal getij met 20% zal vanwege de geconcentreerde golfaanval en de sterk gereduceerde zandtransporten rekening gehouden moeten worden met erosie van de sterk aan de wind blootgestelde delen van de platen en de slikken. Dit zal leiden tot een achteruitgang van de laagwaterlijn in de orde van grootte van 1 tot 5 m per jaar.

Getijgeulen

De veranderingen in de ligging van platen en slikken worden eveneens bepaald door het gedrag van de veranderende getijgeulen. De hydraulische parameter van het getijvolume blijkt een eenvoudig verband te hebben met de parameters van de geulgeometrie: de geulbreedte en -diepte, en de straal en lengte van de meandervorm. Opvallend is de grote gelijkenis met soortgelijke relaties die gelden in de Westerschelde en op de Waddenzee. De toekomstige reductie van het getijverschil in de Oosterschelde betekent een reductie in getijvolume van 30%. Het gemiddelde doorstroomprofiel zal dus eveneens streven naar 30% reductie. Dit betekent dat de geulen

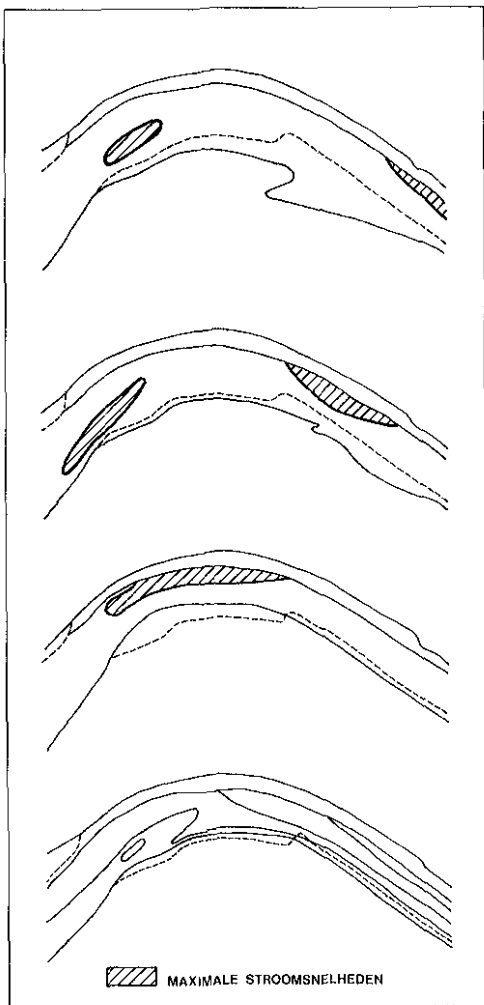


Fig 5 Debietvermindering van een rivier leidt tot verplaatsing van de zones waar de maximale stroomsnelheden optreden

in de Oosterschelde zich nog zullen moeten opvullen met 800 miljoen m^3 sediment, voordat er in de toekomst weer een evenwicht is bereikt. Dit materiaal kan geleverd worden door erosie van platen en slikken, maar ook door eventuele toekomstige import van sediment vanuit de Noordzee.

Een ander effect van de aanstaande reductie van het getijvolume zal een algemene verkleining zijn van de meanderstraal met 12%, en van de meanderlengte met 25%.

Deze voorspellingen zijn gebaseerd op bekende correlaties tussen parameters van riviermeanders en hun waterafvoeren. Alleen in een getijdegebied de correlatiecoëfficiënt wat kleiner.

Bij veranderingen in de waterafvoer wijzigen zich de erosie- en sedimentatiepatronen in een geul doordat de zone zich verplaatst waarin de maximale stroomsnelheden optreden.

De in het voorgaande gepreciseerde orde van grootte van de toekomstige morfologische veranderingen van de intergetijdegebieden is van belang voor het toekomstig beheer van de Oosterschelde, onder andere met betrekking tot eventueel te nemen beschermende maatregelen.

De morfologische opbouw van de Oosterschelde is het gevolg van erosie, transport en sedimentatie van materiaal. De voortdurende herverdeling van sediment wordt bepaald door de waterstroming en de golfwerking in het bekken. Ten gevolge van de bouw van de stormvloedkering zullen zowel de getijamplitude als de maximale stroomsnelheid afnemen. Tevens zal de golfwerking in de toekomst meer dan voorheen bepaald worden door golven die op het Oosterscheldebekken zelf worden opgewekt (Bericht 104, mei 1983).

Morfologische modellen

Om de morfologische consequenties van deze veranderingen te kunnen voorspellen is het noodzakelijk alle relevante processen en hun onderlinge relaties in een of meer modellen onder te brengen. Wanneer blijkt dat de modellen de processen die nu optreden goed kunnen reproduceren, kunnen we erop vertrouwen dat ze ook de toekomstige veranderingen zullen simuleren wanneer we de randvoorwaarden daarvoor in het model invoeren.

De modellen die in dit artikel ter sprake komen worden gebruikt binnen het project GEOMOR, dat als doel heeft de morfologische veranderingen in de Oosterschelde te voorspellen die gaan optreden na het gereedkomen van de stormvloedkering en de compartimenteringsdammen. In het projectonderzoek wordt een onderscheid gemaakt tussen geulmodellen en modellen voor het gebied tussen de gemiddelde laag- en hoogwaterlijn, het intergetijdegebied.

Intergetijdegebied

Ten behoeve van de werkgroep Kustmorfologie is indertijd door het Waterloopkundig Laboratorium te De Voorst het zogenaamde COMOR-systeem ontwikkeld. Dit morfologisch model is nu aangepast en uitgebreid voor toepassing in de Oosterschelde. De naam COMOR komt van Coastal Morphology. COMOR is een modulair opgebouwd model, waarin verscheidene modellen aan elkaar zijn gekoppeld die in principe ook zelfstandig te gebruiken zouden zijn. Achtereenvolgens zijn de volgende modules te onderscheiden: voor schematisering, voor het getij, voor de golven, voor de stroming, voor het transport, en ten slotte een

module voor sedimentatie en erosie.

Met de module voor schematisering wordt een rekenrooster gemaakt voor een gebied dat door de gebruiker is gekozen. Vervolgens wordt de bodemligging op elk rekenpunt van het rooster vanuit peilkaarten geïnterpoleerd. De getijmodule bestaat uit een aantal tweedimensionale WAQUA-modellen, die aan de hand van gegeven randvoorwaarden de waterstand berekenen en de over de diepte gemiddelde stroomsnelheid. Men hanteert hier een rekenrooster met een specifieke maaswijdte. Zo is de maaswijdte van een detailmodel van de Oosterschelde 100 bij 100 meter. De hele Oosterschelde is in vier van zulke DOOS-modellen geschematiseerd. De randvoorwaarden voor deze DOOS-modellen, zoals wind, waterstand en stroomsnelheid, worden geleverd door het OOST-III model, met een maaswijdte van 400 bij 400 meter. Dit model omvat het gehele Oosterscheldebekken en een deel van de Voordelta. Het is mogelijk om met OOST-III de veranderingen in de waterbeweging ten gevolge van de stormvloedkering en de toekomstige compartimenteringsdammen te simuleren. Een volgende module van COMOR berekent golfparameters, zoals de golfhoogte, de golfperiode en de golfrichting. Doordat de diepe geulen afgewisseld worden door zandplaten en slikken, zijn refractie en diffractie hier belangrijke processen. Refractie is het bijbuigen van de golfkammen op plaatsen waar het ondieper wordt of waar de stroming de golven beïnvloedt. Dat er golven voorkomen aan de lijzijde van bijvoorbeeld een zandplaat, is het gevolg van diffractie van de golven. Een derde punt is dat veel golven in de Oosterschelde zelf worden opgewekt. Het

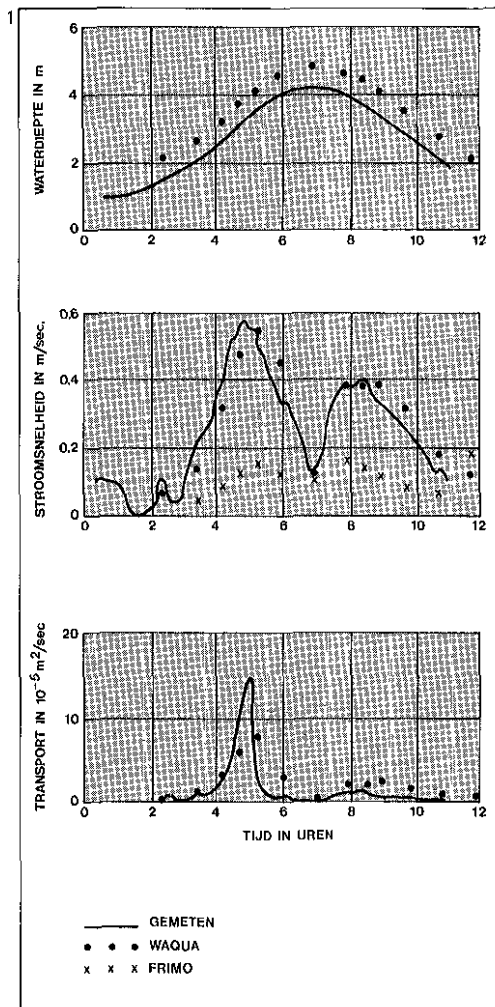
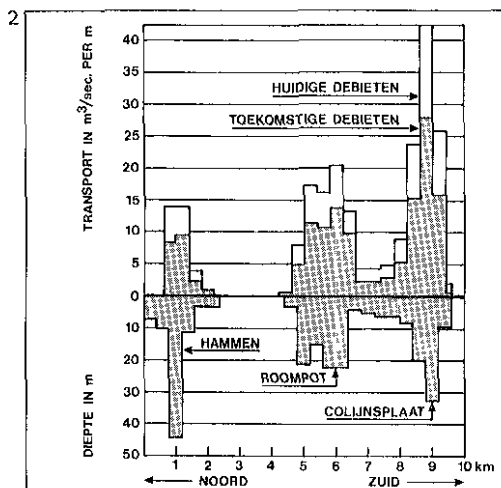


Fig. 1. Berekende en gemeten waarden van enkele parameters in de Oosterschelde

Fig. 2. Dwarsprofiel van de Oosterscheldemondd zoals het is geschematiseerd in het model WAQUA



zal duidelijk zijn dat de wisselwerking tussen golven met verschillende golfperioden en -richtingen in de Oosterschelde een belangrijk verschijnsel is.

Er zijn binnen COMOR meerdere golfmodellen als optie aanwezig. CREDIZ bijvoorbeeld is een numeriek-wiskundig model dat de golfkarakteristieken van de door de wind opgewekte zeegang en deining berekent wanneer die een kustgebied naderen; het model rekent daartoe met een constante maatgevende golfperiode. HISWA is een golfmodel ontwikkeld bij de TH te Delft in opdracht van de Rijkswaterstaat. Dit model berekent de veranderingen in de golfenergie ten gevolge van wind, stroming en bodemwrijving gaande van diep naar ondiep water. Voordelen van dit model zijn dat de golfenergieën per roosterpunt in verschillende richtingen worden berekend, zodat de wisselwerking tussen de verschillende golven in HISWA beter is gemodelleerd dan in CREDIZ; diffractie van golven wordt in HISWA echter verwaarloosd.

Een stroming in ondiep water is in principe opgebouwd uit twee componenten. De eerste is de getijstroming die wordt veroorzaakt door waterstandsverschillen gedurende een normaal getij, plus de extra verhoging of verlaging van de waterstand onder invloed van de wind. Daarnaast ontstaat in de brandingszone een golfgedreven stroming wanneer golven in ondiep water breken. Het stationaire twee-dimensionale wrijvingsmodel FRIMO kan de stroming berekenen die uit deze factoren resulteert. WAQUA, ook een twee-dimensionaal stromingsmodel, simuleert alle processen die de waterbeweging bepalen, met uitzondering van de golfgedreven stroming.

Wanneer de hydraulische parameters met de genoemde modules zijn berekend, kan vervolgens het sedimenttransport worden bepaald. In COMOR zijn vijf verschillende transportmodules beschikbaar. De opwerf-ling en het transport van sediment onder de gecombineerde invloed van golven en stroming wordt het beste gesimuleerd met de transportformule van Van Rijn, en met de GEOTRA-formule van Bosman. Daarnaast kan men ook gebruik maken van de Bijker-formule en de formules van Engelund-Hansen en van Ackers-White.

Al deze transportformules veronderstellen een lokale evenwichtssituatie tussen het transport en de hydraulische condities. Maar in de natuur komt het ten gevolge van het versnellen of vertragen van de stroom vaker voor dat het werkelijke transport kleiner dan wel groter is dan dit evenwichtstransport. Wanneer dit het geval is, is er sprake van naijlend transport. COMOR kan het transport met of zonder naijling berekenen.

De module voor sedimentatie en erosie berekent het netto-resultaat van de transporten op elk doorgerekend tijdstip. Door die tijdstippen representatief te stellen voor een bepaalde tijdsperiode kan dan de verandering van de bodemhoogte per getijcyclus worden voorspeld.

Een belangrijke stap bij modelberekeningen is altijd de toetsing van de resultaten aan veldmetingen. *Op de Galgeplaat staan voor dit doel twee meetopstellingen.* De eerste, GALA, ligt op de steile rand van de zandplaat ter hoogte van de gemiddelde laagwaterlijn. GAHO, de andere, ligt op het hoogste punt van de plaat.

Voor een eerste toetsing van de modelsimulatie is het gemeten getij van 26 november 1983 gebruikt. Er woei die dag een stormachtige wind uit westzuidwestelijke richting, die een sterke erosie op de Galgeplaat tot gevolg had. In figuur 1 is een aantal meetwaarden van GALA uitgezet tegen de tijd. Ter vergelijking zijn ook de voorlopige modelberekeningen toegevoegd. De stromingsberekeningen werden zowel met FRIMO als met WAQUA uitgevoerd.

De overeenkomsten tussen de meetwaarden en de modelwaarden zijn bemoedigend. Duidelijk is dat het WAQUA-model de metingen het best benadert.

Ondanks de grote overeenkomsten tussen de hydraulische parameters, wijken de voorspelde bodemveranderingen aanzienlijk af van de gemeten waarden. Op dit moment is dan ook nog niet te zeggen of het COMOR-systeem bruikbaar is als gereedschap om de toekom-

stige morfologische veranderingen in de Oosterschelde te voorspellen.

Geulmodellen

Een deelonderzoek van het onderzoek naar de morfologische ontwikkelingen is de studie van het gedrag van de geulen in de Oosterschelde in de toekomst. Dit onderzoek omvat twee aspecten: de ontwikkeling van de dwarsdoorsneden van de geulen, en de ontwikkeling van de geulen in het horizontale vlak.

Bij beide onderzoeken wordt gebruik gemaakt van de wiskundige modellen WAQUA en SECFL0. Het laatstgenoemde model berekent de grootte en de richting van de bodemschuifkracht; dat is de kracht die de watermassa op de bodemdeeltjes uitoefent. Die parameter geeft inzicht in de grootte en de richting van het sedimenttransport door de geulen.

In Bericht 72 (mei 1975) is de verwachting uitgesproken dat de geulen in de Oosterschelde na het gereedkomen van de Oosterscheldewerken ernaar zullen streven hun dwarsdoorsneden te verkleinen. Die verwachting was gebaseerd op de relatie tussen het maximale debiet over een getijperiode en het getijvolume aan de ene kant, en de grootte van de dwarsdoorsnede aan de andere kant. Vermindering van het maximale debiet of van het getijvolume zouden resulteren in een procentueel even *grote verkleining van het dwarsprofiel*.

Door een WAQUA-berekening uit te voeren met de huidige en de toekomstige geometrie van de Oosterschelde, in het laatste geval dus met de stormvloedkering en de compartimenteringsdammen, zou een voorspelling verkregen kunnen worden van de huidige en toekomstige debieten door de geulen in de Oosterschelde.

In figuur 2 zijn resultaten weergegeven van zo'n berekening voor de raai Schelphoek-Colijnsplaat. De maximale debieten over deze dwarsdoorsnede nemen met 36% af. De dwarsdoorsnede, nu 100 000 m², zal dus volgens bovengenoemde relatie afnemen met 36 000 m².

Door een berekening als deze toe te passen voor het gehele gebied van de Oosterschelde, kan men bepalen hoeveel sediment er nodig zal zijn voor de aanpassing van de dwarsdoorsneden van de geulen in de Oosterschelde aan de nieuwe evenwichtssituatie.

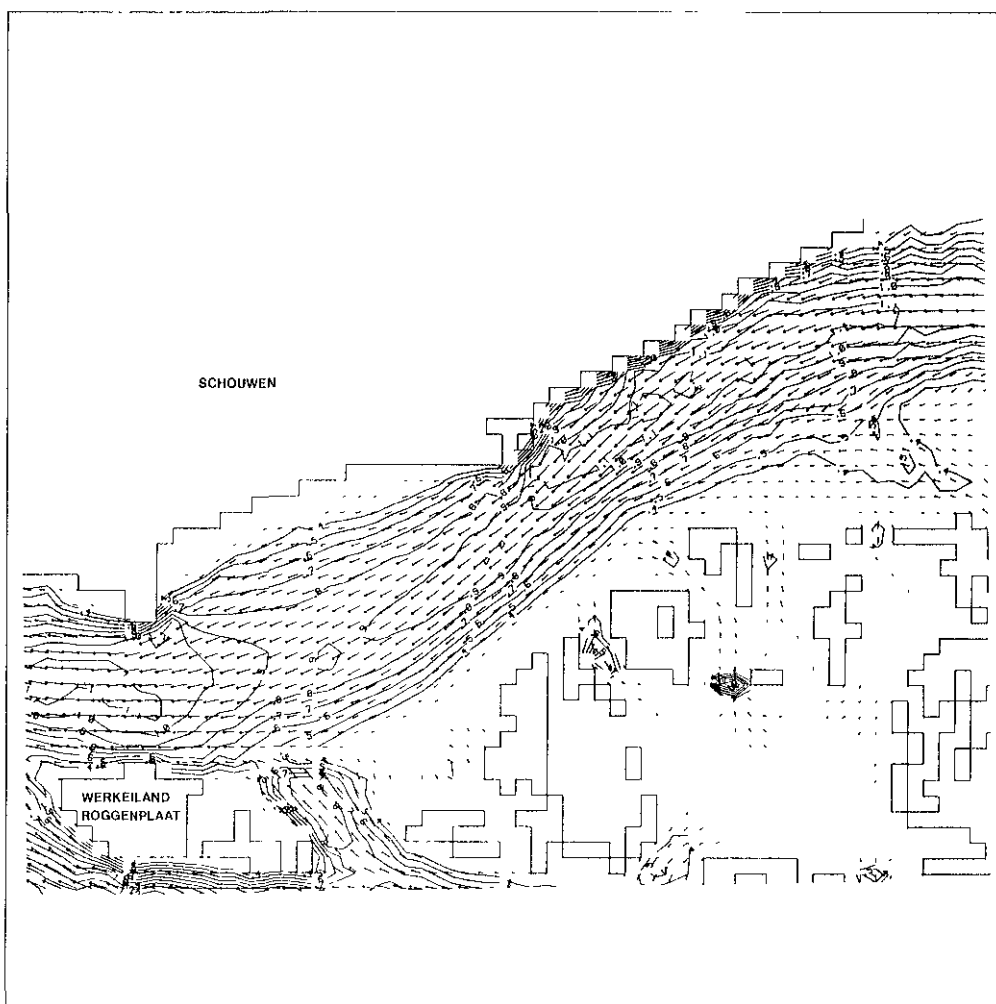
De tweede doelstelling van dit deelproject van GEOMOR is, te voorspellen waar in de toekomst in het Oosterscheldebekken geulverleggingen zullen optreden. Geulverleggingen zijn het gevolg van het streven van de

geulen zich ook in het horizontale vlak aan de nieuwe hydraulische omstandigheden aan te passen

Eén van de toepassingsmogelijkheden van het model WAQUA is de simulatie van de waterbeweging snelheden, debieten en waterhoogten in de huidige en toekomstige situatie in het Oosterscheldebekken

Een weergave van het huidige stroombeeld wordt gebruikt om de relatie tussen de waterbeweging nu en de recente morfologische ontwikkelingen van de geulen in het Oosterscheldebekken te analyseren. Met de kennis die deze analyse van de samenhang tussen waterbeweging en morfologie heeft opgeleverd en met behulp van de berekening van het toekomstige stroombeeld in het Oosterscheldebekken wordt getracht de toekomstige

Fig 3 Met WAQUA bereken de stroomsnelheden in de Hammen bij maximale eb (links) en maximale vloed



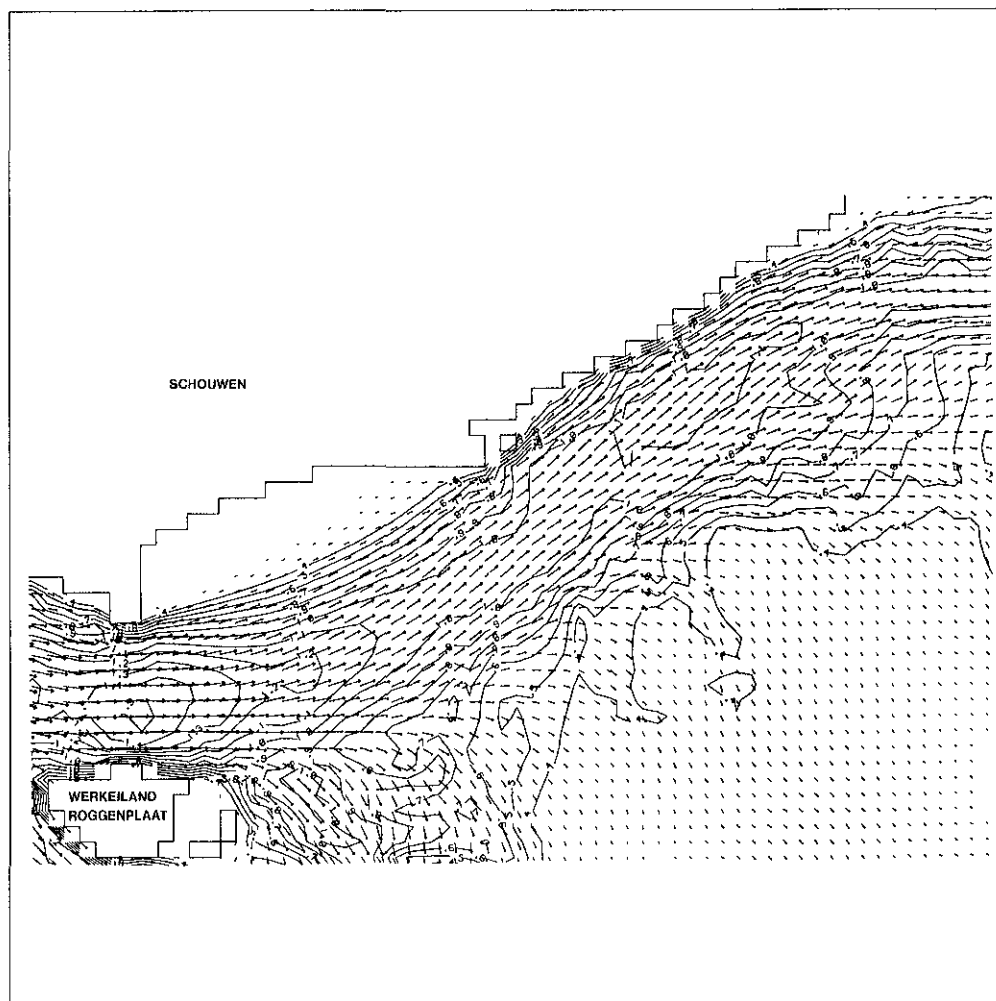
morfologische ontwikkeling van de geulen te voorspellen.

Een resultaat van WAQUA is te zien in figuur 3, waarin de grootte en de richting van de stroomsnelheden op het tijdstip van maximale eb en vloed tijdens springtij zijn weergegeven voor een deel van de Hammen. De figuur toont een voor estuariumgeulen typisch fenomeen: de stroomdraad – dat is de plaats van de hoogste snelheden – ligt bij eb op een andere plaats dan bij vloed: bij eb tegen de oever van Schouwen aan, in de buitenbocht van de ebstroom, en bij vloed tegen de Roggenplaat aan, waar zich dan de buitenbocht van de vloedstroom bevindt.

Een andere manier om dit fenomeen zichtbaar te maken is de constructie van zogenaamde zwaartepuntsgrafieken met de numerieke uitvoer van WAQUA (figuur 4). Aan de hand

van de snelheidsverdeling bij eb en bij vloed kan het sedimentatie- en erosiepatroon in dit deel van de Hammen worden verklaard (figuur 5): de oever van Schouwen vormt de buitenbocht van de ebstroom. De erosie die hier is opgetreden is een gevolg van de ebstroom. De rand van de Roggenplaat vormt de buitentocht van de vloedstroom. De erosie aan deze kant van de Hammen wordt veroorzaakt door de vloedstroom.

Het rekenmodel SECFO berekent met behulp van snelheidsgegevens en gegevens van de waterhoogte van WAQUA de grootte en de richting van de bodemschuifspanning voor een opgegeven tijdstip en een opgegeven gebied van het WAQUA-rooster. In figuur 6 zijn de bodemschuifspanningen weergegeven zoals door SECFO berekend voor een deel van de Oosterschelde bij maximale ebstroom



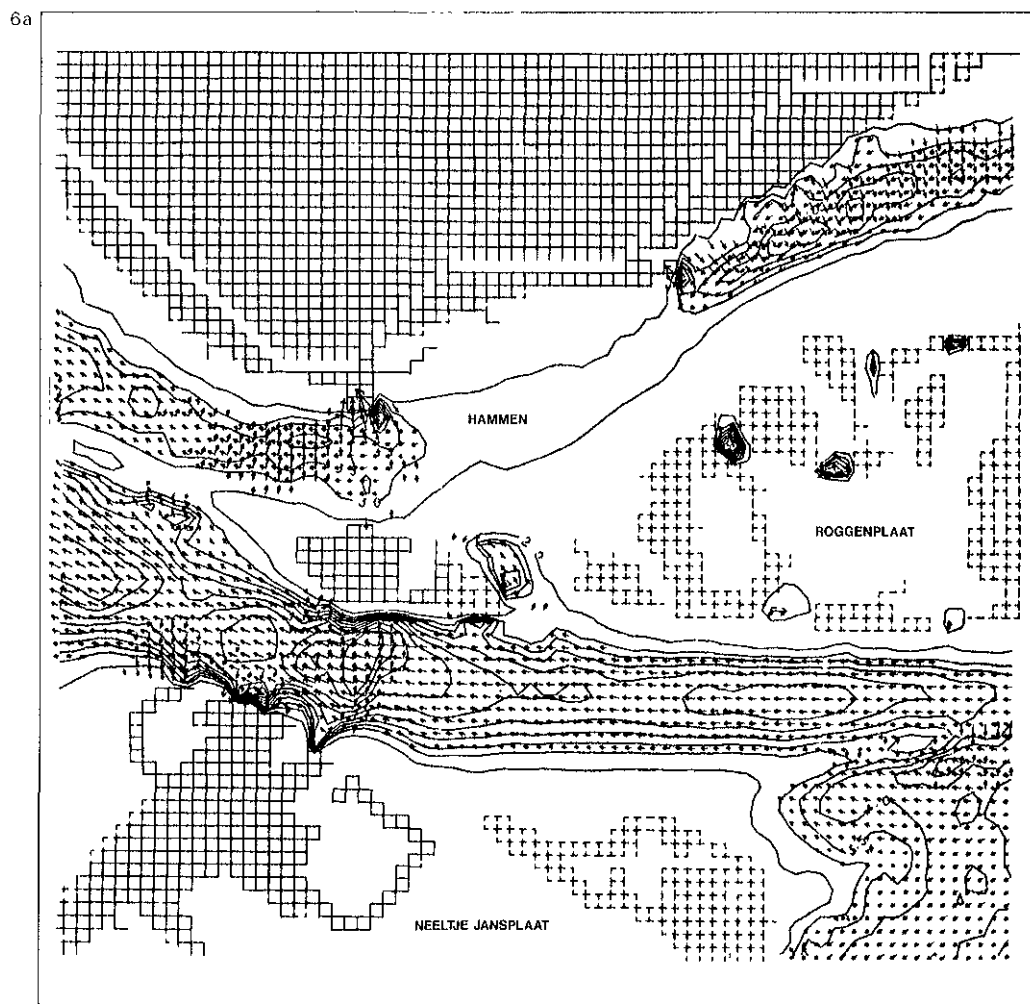
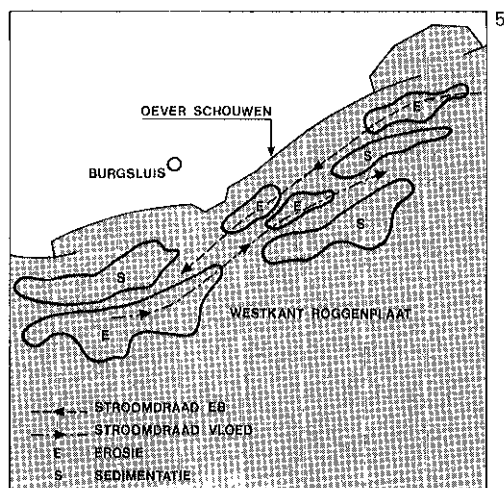
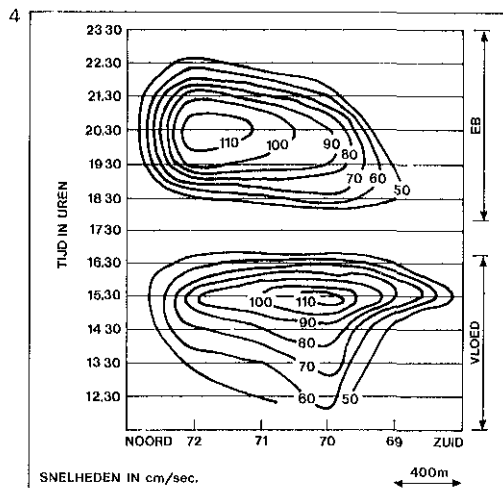
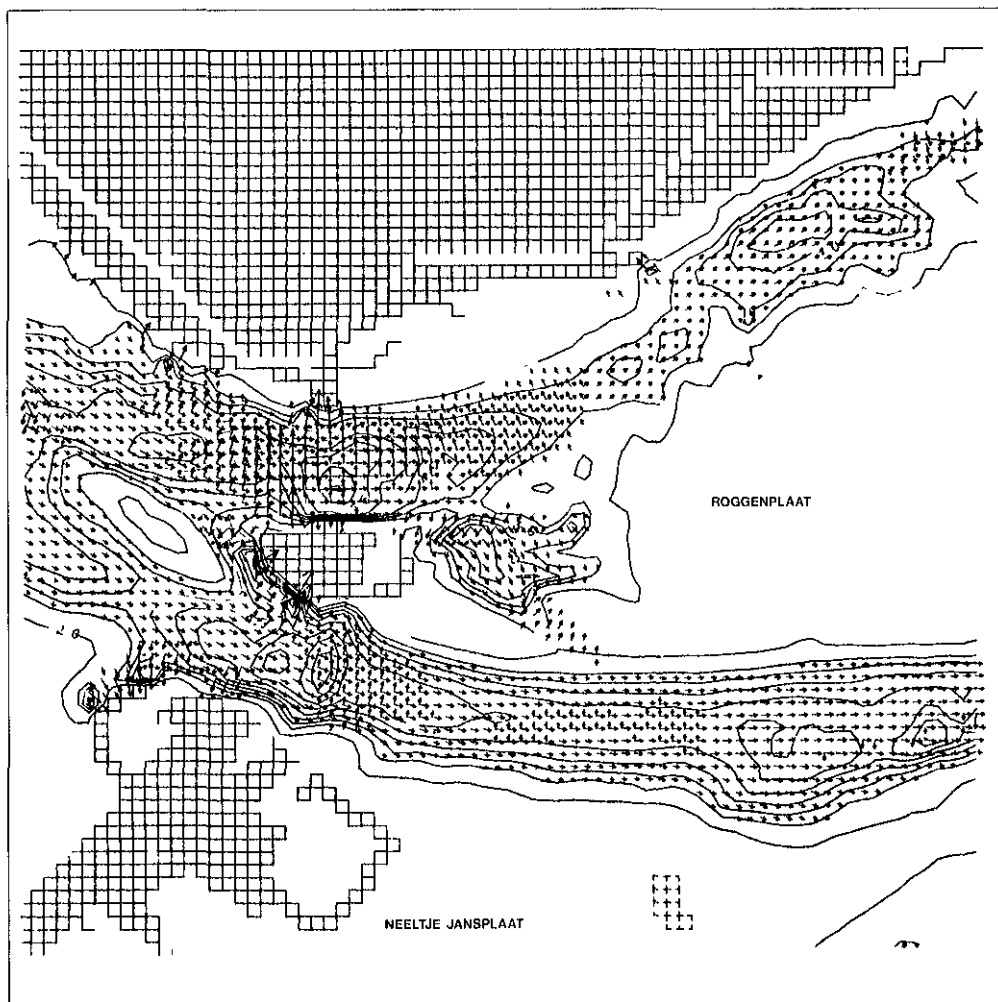


Fig 4. Zwaartepuntsgrafiek
De figuur geeft de snelheids-
verdeling in de Hammen over
het getij, als een dwarsdoor-
snede in de tijd

Fig. 5 Sedimentatie en
erosie in een deel van de
Hammen, 1960-1980

Fig 6. Bodemschuifspanning
in de hoofd- en de secun-
daire stroomrichting bij eb
(links) en vloed

Foto De Oosterschelde, van
de kering af gezien



6b

en maximale vloedstroom. Te zien is dat de bodemschuifspanning twee componenten heeft, één in de hoofdstromingsrichting en één in de richting loodrecht daarop, de secundaire richting. Een secundaire richting ontstaat ten gevolge van de kromlijnige beweging van de stroming door een bocht. Daarbij wordt het water aan het oppervlak naar de buitenbocht afgebogen. Aan de bodem ontstaat ter compensatie een stroming met een component naar de binnenbocht toe. In SECFO is ook de invloed van de Corioliskracht op de secundaire stroming verwerkt. De Corioliskracht werkt op lucht- en waterdeeltjes die bewegen ten opzichte van de aarde; hij is het gevolg van de draaiing van de aarde. Op het noordelijk halfrond is de Corioliskracht altijd naar rechts gericht, gezien in de richting van de stroming. De invloed van de Corioliskracht op de secundaire stroming is in de Oosterschelde in sommige gevallen van gelijke grootte of zelfs groter dan de invloed van de kromming van de stroming. Figuur 6 toont dat bij de monding van de Hammen zowel bij vloed als bij eb in de huidige situatie een secundaire bodemschuifspanningsrichting bestaat naar het noorden toe gericht, dus naar de binnenbocht toe. Ook de sedimentbeweging heeft zowel bij vloed als bij eb een component gericht naar de binnenbocht. Aan de binnenbocht bij de oever van Schouwen wordt dan ook sedimentatie

waargenomen, zolang geen evenwicht is bereikt.

SECFO wordt voorlopig alleen nog maar gebruikt voor kwalitatief onderzoek naar de toekomstige morfologische veranderingen in de Oosterschelde. Het is echter de bedoeling dat dit model als basis gaat dienen voor een in de toekomst te ontwikkelen morfologisch model dat de verandering van de bodemligging voorspelt als gevolg van veranderingen in de waterbeweging.

Het ontwikkelen van zo'n model zal nog jaren kunnen duren. Specifieke moeilijkheden hierbij zijn gelegen in het vinden van een geschikte sedimenttransportformule die de beweging van het suspensiemateriaal in bochtige geulen beschrijft. Deze zwevende sedimentdeeltjes vormen ongeveer 95% van het totale transport in de Oosterschelde. Verder moeten er nog onnauwkeurigheden worden weggewerkt in de weergave van de waterbeweging, die nu nog veroorzaakt worden door de in WAQUA gebruikte schematische weergave van oevers en plaatranden. Tot nu toe zijn alleen enkele eenvoudige morfologische berekeningen uitgevoerd voor een deel van de Oosterschelde, met een niet voor de situatie geijkte sedimenttransportformule. Op grond van de resultaten van deze eerste berekening lijkt SECFO bruikbaar te zijn als basis voor morfologische berekeningen.

De bouw van de stormvloedkering in de Oosterschelde heeft tot gevolg dat het doorstroomoppervlak, en daarmee ook het debiet, van elk van de drie stroomgeulen in de monding van de Oosterschelde aanzienlijk wordt verkleind. Op grote afstand van de kering, bij Yerseke bijvoorbeeld, resulteert dit in een vermindering van de stroomsnelheden en het getijverschil, maar de debietverdeling tussen Hammen, Schaar en Roompot is daar niet of nauwelijks meer van belang. Dichtbij de kering speelt de debietverdeling wel een rol.

Kortsluitgeulen

Onder meer om deze reden is er bij het ontwerp van de kering voor gekozen elk van de sluitgaten zo te vernauwen dat zich in de eindsituatie min of meer dezelfde procentuele debietverdeling voordoet als in de beginsituatie: 60% van het water stroomt door de Roompot, en de Hammen en de Schaar voeren elk 20% af van het totale debiet door de kering.

De eindsituatie vertoont dus qua stroombeeld een zo goed mogelijke overeenstemming met de open situatie, zij het met een algemene verlaging van de snelheden. Tijdens de bouw komt het echter voor dat de debietverdeling sterk afwijkt van de uiteindelijke.

Dat is dan vooral het gevolg van de bouwvolgorde van noord naar zuid, en dat speelt een grote rol met name bij de plaatsing van de dorpelbalken. De debietverdeling wordt ook beïnvloed door de wenselijkheid om de aanstormingen tegen de dorpelbalken en andere werkzaamheden te doen plaatsvinden achter gesloten schuiven.

Het zijn met name deze situaties met een ongelijke sluitgatvernauwing in de drie sluitgaten, in de wandeling 'scheve bouwfasen' genoemd, die aanleiding kunnen geven tot ongewenste erosie van de plaatgebieden dicht bij de kering, en zelfs tot vorming van kortsluitgeulen, of tot uitschuring van bestaande kortsluitgeulen.

Maar wat zijn dat: 'kortsluitgeulen'? Kortsluitgeulen kunnen het beste worden gedefinieerd als in het algemeen kleine dwarsgeulen in een zandplaat tussen twee hoofdgeulen. Ze zorgen voor vereffening van de verschillen in waterstand tussen de hoofdgeulen.

In een zich op natuurlijke wijze ontwikkelend

estuarium komen kortsluitgeulen in het algemeen in groten getale voor, vaak in een sterk wisselend patroon. Zo heeft zich bijvoorbeeld tussen de Hammen en de Schaar aan de oostzijde van het werkeiland Roggenplaat 20 jaar geleden een kortsluitgeul ontwikkeld waarvan de as liep in noordwestelijke richting. Op dit moment wordt het geultje onderhouden op een diepte van N.A.P. -5 m; het dient als snelle verbinding voor ondiep stekende vaartuigen tussen de Hammen en de Schaar. Het ontstaan van zo'n kortsluitgeul is onder meer te verklaren uit geringe verschillen in weerstand tussen de hoofdgeulen Hammen en Schaar, die tot gevolg hebben dat de getijgolf in de Hammen enigszins vroeger – maar hooguit enkele minuten – passeert dan in de Schaar.

Het gevolg is dat de Hammen bij stijgend water een hogere waterstand heeft dan de Schaar. En ook al scheelt het maar enkele centimeters, toch ontstaat er dan een stroming vanuit de Hammen naar de Schaar, in zuidoostelijke richting. Tijdens vallend water is de situatie precies omgekeerd: dan is de waterstand in de Hammen enkele centimeters lager dan in de Schaar, met als gevolg een stroming vanuit de Schaar naar de Hammen in noordwestelijke richting. De grootte van zo'n stroming wordt in eerste instantie bepaald door de grootte van het verhang.

Een tweede belangrijke factor is de weerstand van de plaat tussen de hoofdgeulen. De stroomsnelheden over de plaat zullen het sterkst toenemen op die plaats waar de weerstand het geringste is, of met andere woorden: waar de diepte het grootst is. Als gevolg hiervan zal in het diepste gedeelte van de plaat de grootste uitschuring optreden. En

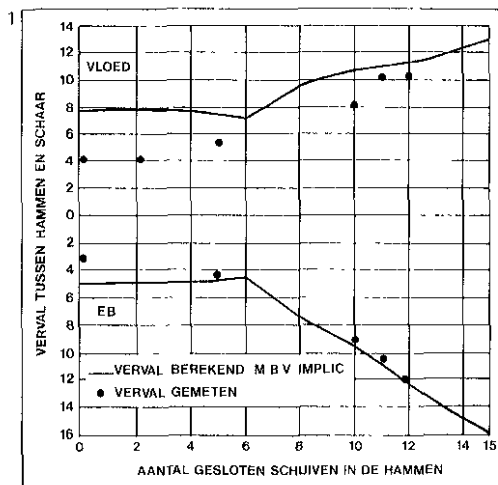
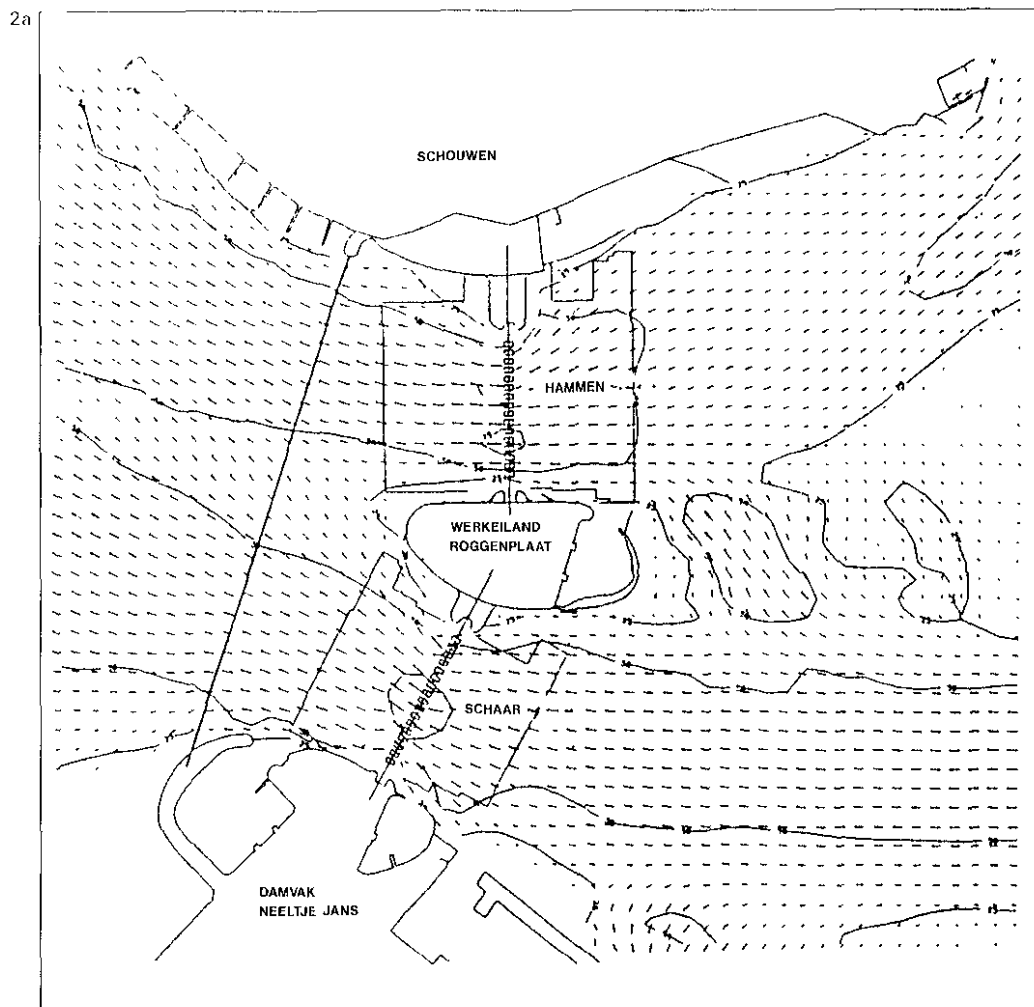


Fig 1 Waterstandsverschillen tussen Hammen en Schaar als functie van het aantal gesloten schuiven in de Hammen

Fig 2 Stroomsnelheidsberekening met WAQUA voor een situatie met de Hammen en de Schaar open (links), en met de Hammen gesloten



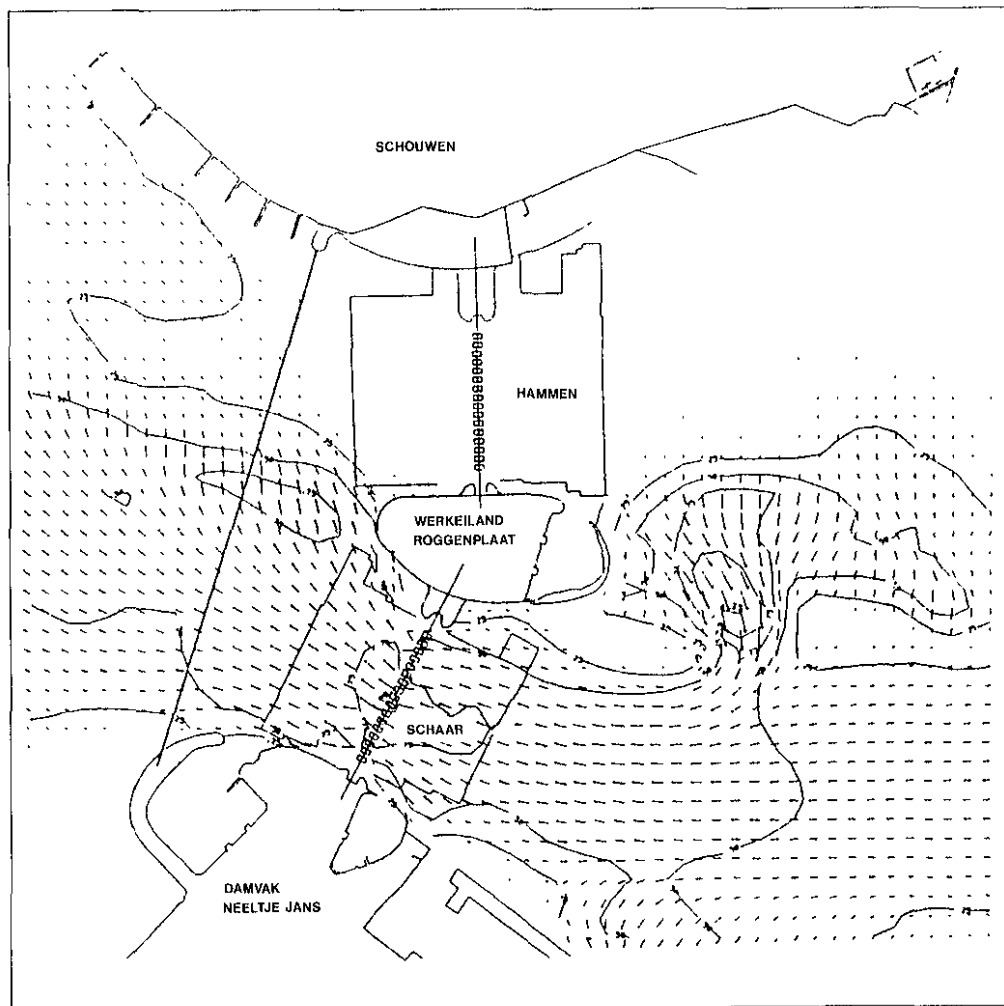
zo ontwikkelt zich dan een kortsluitgeul. In het algemeen zal de verdieping van de kortsluitgeul doorgaan totdat een nieuw evenwicht is bereikt. Dat is het geval als het debiet door de kortsluitgeul zo groot geworden is dat het vereffening van de vervallen tussen de hoofdgeulen tot gevolg heeft, en daarmee de aandrijvende kracht van de stroming door de kortsluitgeul opheft. Soms ligt dit evenwicht zo ver van de huidige situatie verwijderd dat het ontstaan van een kortsluitgeul het begin vormt van een doorgaande, blijvende wijziging in het stelsel van hoofdgeulen. Zo heeft zich de huidige Schaar van Roggenplaat destijds ontwikkeld uit een kortsluitgeul. Blijkbaar treden kortsluitgeulen dus ook op als gevolg van een spontane ontwikkeling in het geulensysteem. Bij de vorming van de Schaar van Roggenplaat was er immers nog geen sprake

van sluitgaten of andere belemmeringen in de Oosterscheldemondd

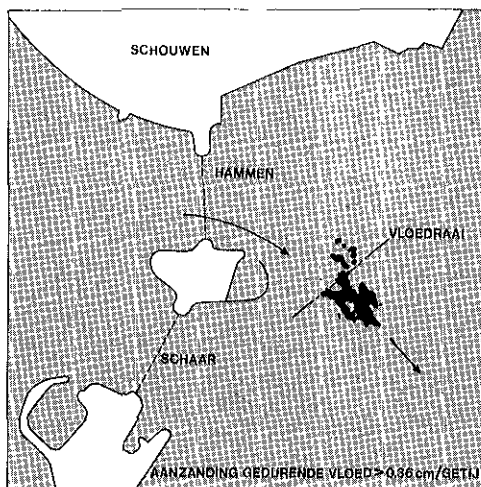
Bij de voltooiing van de stormvloedkering doen zich situaties voor met een ongelijke vernauwing van de drie sluitgaten. In zo'n geval worden de waterstanden in de nabijheid van de kering per sluitgat bepaald door de vormgeving van dat specifieke sluitgat, met als gevolg verschillen, en mogelijk zelfs grote verschillen in waterstand tussen de hoofdgeulen

Het risico is niet denkbeeldig dat zich dan kortsluitgeulen gaan vormen, dat is al in een vroegtijdig stadium onderkend.

In een onderzoek dat alle hydraulische aspecten omvat van de voltooiing van de kering, met als doel de optimalisering van de planning, kon ook de problematiek van de kortsluitgeulen worden meegenomen. In



2b



Bericht 112 (mei 1985) is de samenhang van de verschillende hydraulische aspecten reeds besproken, en zijn voor de kortsluitgeulen reeds enkele van de belangrijkste berekeningsresultaten gepresenteerd.

Voor dit onderzoek zijn verschillende onderzoeksmiddelen toegepast, voornamelijk mathematische stromingsmodellen en mathematische morfologische modellen. De resultaten zijn zo geïnterpreteerd dat enerzijds een veilige situatie voor de kortsluitgeulen is gewaarborgd, terwijl anderzijds toch voldoende flexibiliteit is verkregen om de voortgang van de uitvoering niet te belemmeren.

Resultaten

In eerste instantie is met het een-dimensionale model IMPLIC nagegaan welke waterstandsverschillen tussen de hoofdgeulen kunnen optreden als functie van de vernauwing van de sluitgaten.

In figuur 1 zijn de resultaten aan de oostzijde van de kering tussen Hammen en Schaar gegeven als functie van het aantal gesloten schuiven in de Hammen. In deze figuur zijn ook de gemeten waterstandsverschillen gegeven.

Figuur 2 geeft de stroombeelden rond het werkeiland Roggenplaat in een extreme situatie, namelijk wanneer het sluitgat Hammen volledig is gesloten, terwijl de Schaar en de Roompot beide open zijn. Ter vergelijking is ook de uitgangssituatie gegeven, met alle schuiven open.

Hieruit blijkt dat niet alleen de snelheden in de kortsluitverbindingen ten oosten en ten westen van het eiland Roggenplaat toenemen, maar ook dat de stroomrichting zich aan de

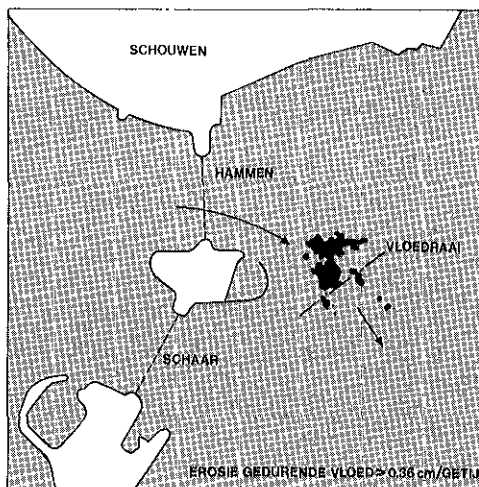


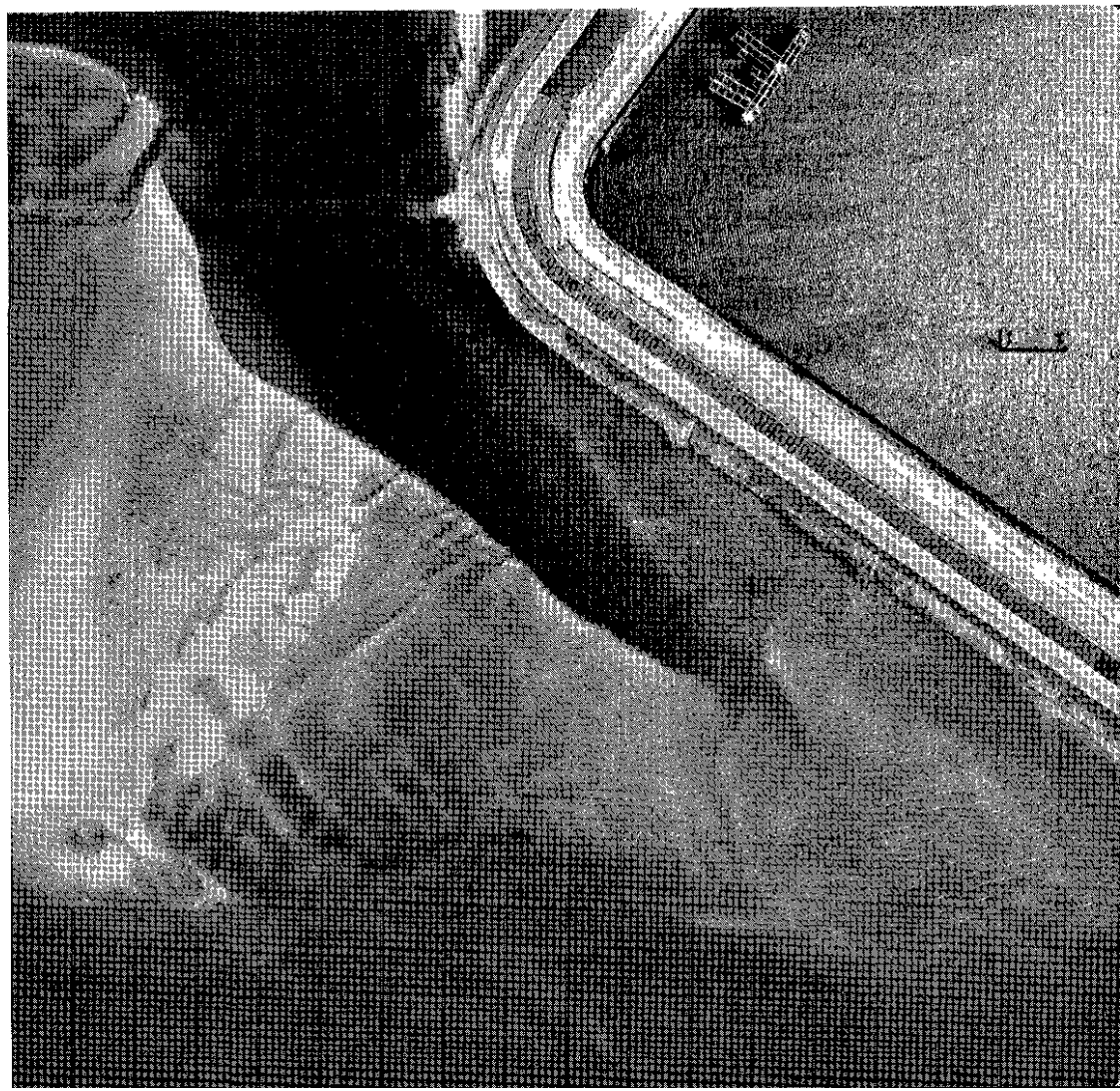
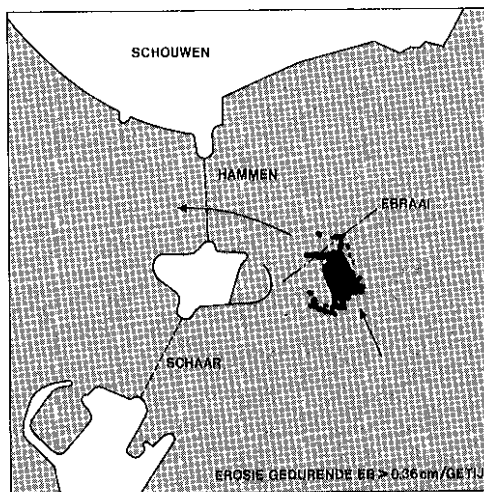
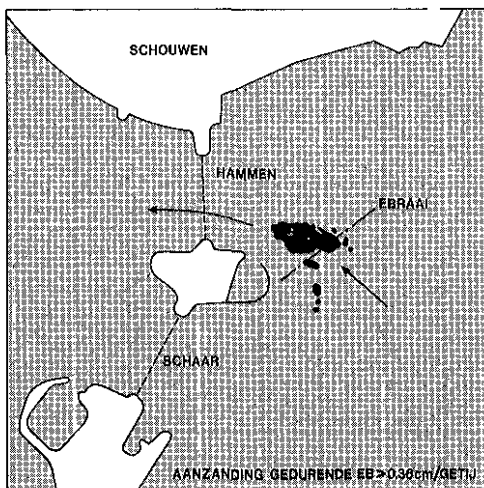
Fig. 3 Erosie en aanzanding in de kortsluitverbinding tussen de Hammen en de Schaar, berekend met het model SLUITZAK.

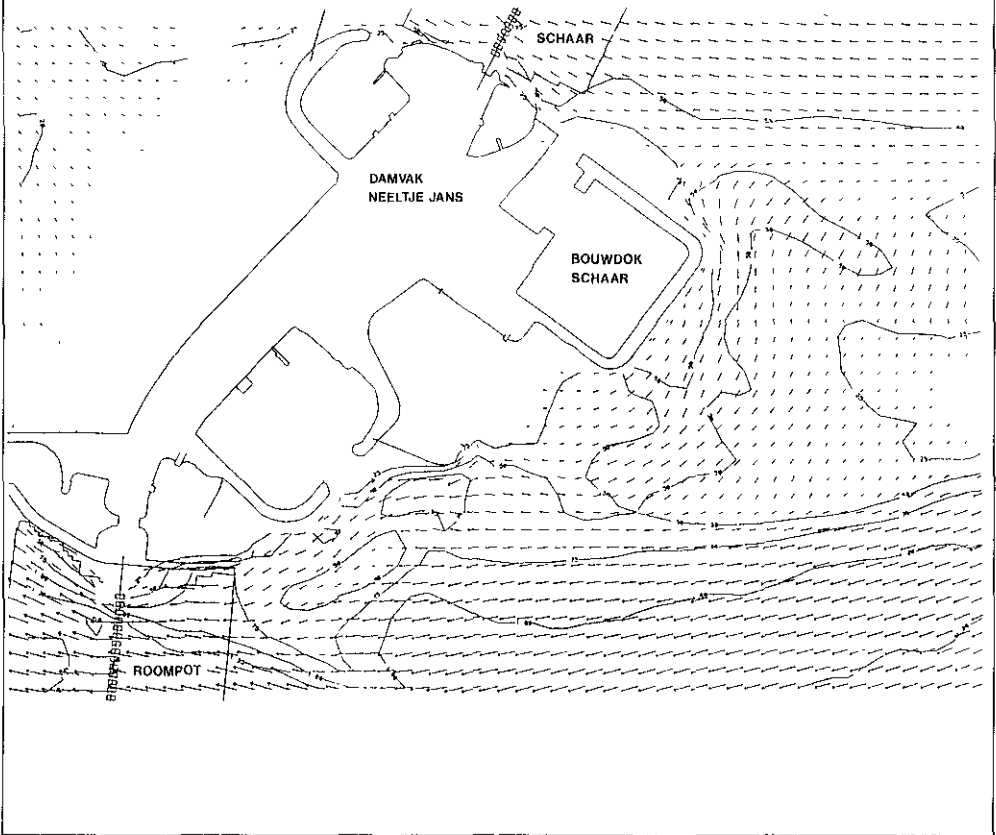
Een grindruggetje op de kop van de ringdijk van de bouwput 'Schaar' als preventieve maatregel.

oostzijde omkeert; in deze situatie werkt de kortsluitgeul ter plaatse de andere kant op. Deze resultaten zijn verkregen met het twee-dimensionale model DOOS.

Er zijn daarnaast voor verschillende karakteristieke situaties en met verschillende modellen erosieberekeningen uitgevoerd.

Figuur 3 geeft het resultaat van een van de meest geavanceerde modellen, te weten het quasi-drie-dimensionale model SLUITZAK, voor een markante bouw fase, wanneer de Schaar is gesloten en de Hammen en de Roompot nog open zijn. Terwille van de leesbaarheid zijn in deze figuur alleen de gebieden van erosie en aanzanding weergegeven. De maximale erosie, ongeveer in het midden van het erosiegebied, bedraagt onder gemiddelde getijcondities volgens de berekening 3 cm per getij. Dit getal is het meest ongunstige berekeningsresultaat van alle bouwfasen die zijn bekeken.

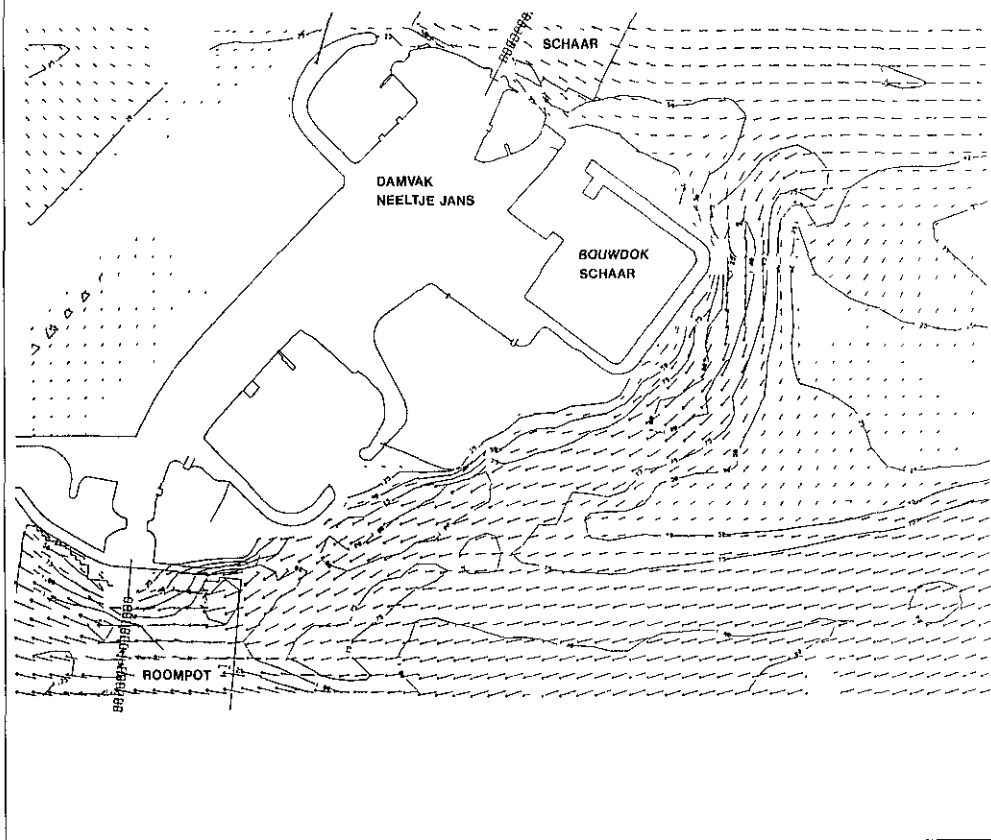




Figuur 4 stelt de situatie voor ten oosten van het damvak Neeltje Jans, we zien ditmaal niet een configuratie van gesloten schuiven, maar een bouwfase waarbij in de Hammen en de Schaar reeds dorpelbalken zijn geplaatst, en in de Roompot nog niet. Deze bouwfase is van groot belang, omdat in de winter 1985/86 gedurende een aantal maanden achtereen min of meer diezelfde bouwfase is opgetreden. In deze fase kon de ongelijke vernauwing niet, zoals bij gesloten schuiven, op korte termijn ongedaan worden gemaakt, als mocht blijken dat zich ongewenste ontwikkelingen voordeden.

Uit figuur 4 blijkt dat de tegenwoordige bodemligging slechts een beperkte toename van de snelheden veroorzaakt, die volgens de berekeningen een erosiesnelheid tot gevolg zou kunnen hebben van maximaal 3 mm per

Fig 4 Stroombeeld ten oosten van Neeltje Jans bij de bouwfase dorpelbalken geplaatst in Hammen en Schaar (links) en na een verdieping van 10 m ten oosten van het bouwdok 'Schaar'



dag. Op zich is deze situatie dus niet veront-
rustend.

Indien zich echter, om welke reden dan ook, een verdieping zou voordoen in dit platengebied, dan dient rekening gehouden te worden met sterk toenemende erosie. Zelfs bij een geul van 500 meter breed en 10 meter diep treden nog steeds hoge snelheden op, vooral rond de bouwput 'Schaar'. Er moet dus gevreesd worden voor doorgaande erosie, wanneer zich eenmaal een uitschuring van enige omvang heeft voorgedaan.

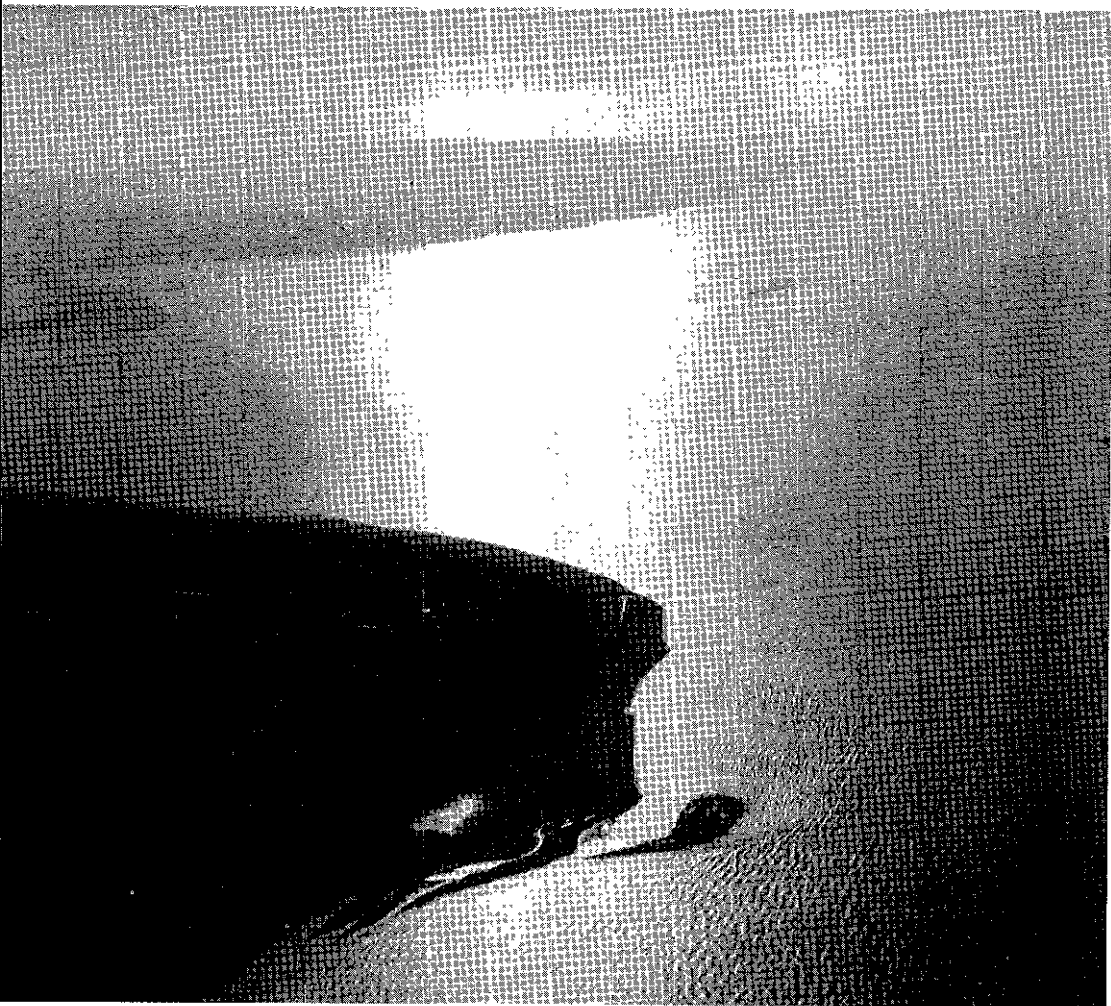
Daarom is besloten op de kop van de ringdijk van de bouwput 'Schaar' preventieve maatregelen te nemen in de vorm van een grindruggetje. Het doel van dit dammetje is tweeledig. Allereerst moet het het verval spreiden, zodat een plotselinge doorbraak minder waarschijnlijk wordt. Ook ontstaat er zo een duidelijk

gemarkeerd bewakingscriterium op een punt dat bij laag water droogvalt, te weten het zandbed rond de kop van het grindruggetje. Dit is overigens de enige preventieve maatregel die genomen is. Voor het overige is gekozen voor een weloverwogen uitvoeringsschema, zodat naar verwachting geen hinderlijke morfologische ontwikkelingen zouden optreden, in combinatie met een uitgebreide bewaking van alle kritieke gebieden, en indien nodig het uitvoeren van bestortingen in bedreigde zones.

In de praktijk is deze aanpak succesvol gebleken. De voltooiing van de stormvloedkering wordt, ondanks de ongelijke vernauwing in de sluitgaten, tot een goed einde gebracht, zonder opmerkelijke ontwikkeling van kortsluitgeulen aan weerszijden van het tracé

Een nieuw wad-achtig gebied?

De Voordelta voor de Zeeuwse en Zuidhollandse kust is het ondiepe zeegebied dat begrensd wordt door de Euro-Maasgeul in het noorden, de 15-meter-dieptelijn in het westen en de Belgische grens in het zuiden. In dit gebied hebben zich de afgelopen tien jaar belangrijke veranderingen voorgedaan, die mogelijk kunnen leiden tot de vorming van een nieuw wad-achtig gebied.



Als we de Grevelingen en de Ooster- en Westerschelde vergelijken met het vrij regelmatige verloop van de onderwaterbodem voor de schone kust van Noord- en Zuid-Holland tot aan Hoek van Holland, dan zien we pas goed hoe grillig en gecompliceerd dit geulen- en bankenstelsel is. Het is het resultaat van een eeuwenlang proces onder invloed van het in- en uitstromend vloed- en ebwater en van de golfwerking (figuur 1). *Gedurende dit eeuwenlange proces is de Voordelta onder water in zeewaartse richting uitgebouwd.* Met name is dit het geval voor de mond van de Oosterschelde, waarvan het volume in de periode 1870–1970 sterk is toegenomen. Op basis van de boven gemaakte vergelijking zou men globaal kunnen stellen dat het morfologische beeld van de inmiddels geheel of gedeeltelijk afgesloten zeegeten

uiteindelijk zal gaan lijken op dat van de huidige gesloten kust tussen Hoek van Holland en Den Helder.

Hiermee blijft echter een aantal vragen onbeantwoord. We weten dan nog niet welke stadia bij een dergelijke kustontwikkeling in tijd en ruimte te onderscheiden zijn, en ook niet waar, ruimtelijk gezien, het erosie- en sedimentatieproces aanvangt en waarom het daar begint

Uit analyse van tweejaarlijkse dieptekaarten, die na de sluiting in 1971 en 1972 zijn gemaakt van het ondiepe zeegebied vóór het voormalige mondingsgebied van het Haringvliet en de Grevelingen, blijkt dat zich in acht à tien jaar uitgebreide banken evenwijdig aan de kust hebben ontwikkeld.

Zo'n acht kilometer westelijk van de Brouwersdam is de lengte van het bankencomplex in die periode toegenomen van 3 km tot 8 km, terwijl de hoogte ervan in diezelfde periode toenam van 3,5 m tot 0,5 m beneden N.A.P. Er is in die tijd dan ook niet minder dan 10 miljoen kubieke meter zand in het bankencomplex opgeslagen.

Eenzelfde ontwikkeling heeft zich voorgedaan voor de Haringvlietdam. Hier heeft zich na de afsluiting vooral de Hinderplaat sterk uitgebreid, die nu deel uitmaakt van het Slufterplan voor de berging van baggerslib.

Deze banken worden opgebouwd met materiaal dat wordt onttrokken aan de diepere gedeelten van de westelijke rand van de Voordelta, tussen 8 en 4 m beneden N.A.P. (figuur 3). De oorzaak hiervan is, dat de ebstroom, die vóór de afsluiting het zand van de ondiepe gedeelten van de Voordelta over de westelijke rand transporteerde, in de situatie na de afsluiting geen rol van betekenis



Foto links Een deel van de kustparallelle banken voor de Brouwersdam

Fig 1 Het geulen- en bankenstelsel voor de Zuidhollandse en Zeeuwse kust

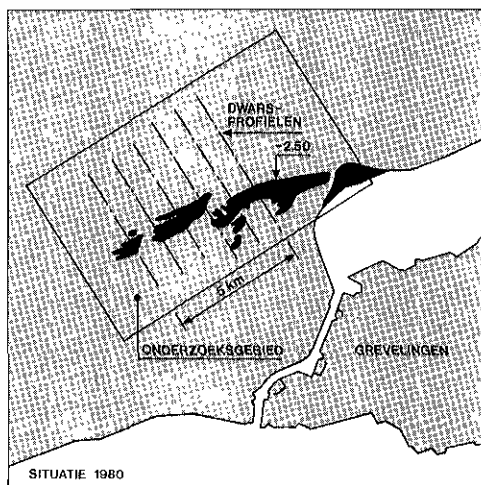
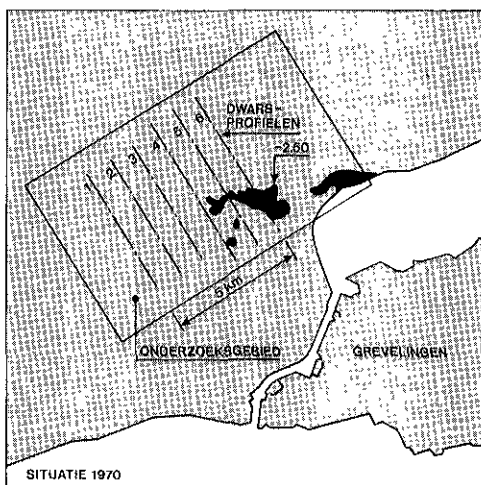


Fig 2 Veranderingen in het onderzoeksgebied tussen 1970 en 1980

meer speelt. Met andere woorden vóór de afsluiting bestond er een evenwicht tussen de golven 'die het zand van de diepere gedeelten van de westelijke rand van de Voordelta naar de ondiepere gedeelten landwaarts transporteerden' en de ebstroom, die juist het omgekeerde effect had. Door de afsluiting is dit evenwicht verstoord, en nu wordt er alleen nog zand door de golven van de diepere delen van de rand van de Voordelta landwaarts getransporteerd. Zo konden de grote kustparallelle banken ontstaan.

De vraag is nu of zich voor de Oosterschelde, die niet zal worden afgesloten, maar waar een stormvloedkering wordt gebouwd, ook banken evenwijdig aan de kust zullen ontwikkelen. In de situatie voordat de stormvloedkering was gebouwd bestond daar eveneens een evenwicht, zoals bij het Haringvliet en de Grevelingen vóór hun afsluiting, en dus ligt het voor de hand dat dit evenwicht ook bij de Oosterschelde verstoord zal worden. De stroomsnelheden zullen immers afnemen met 20%.

Gezien de niet-lineaire relatie tussen stroomsnelheid en zandtransport, wordt voorlopig aangenomen dat zich inderdaad banken gaan vormen westelijk van de stormvloedkering. Men mag verwachten dat de ontwikkeling hier trager zal verlopen, omdat de in- en uitgaande stroom alleen wordt gereduceerd en niet nagenoeg wordt stopgezet zoals bij het Haringvliet en de Grevelingen.

De twee eerder gestelde vragen kunnen nu tot op zekere hoogte worden beantwoord voordat de Voordelta uiteindelijk gelijkenis gaat vertonen met de gesloten kust, zal er in ieder geval sprake zijn van een bankstadium, de diepere gedeelten van de zeewaartse rand van de Voordelta zullen worden uitgeschuurd,

en het geerodeerde materiaal zal gedeeltelijk worden opgeslagen in grote banken evenwijdig aan de kust.

Maar nu rijzen er nieuwe vragen. Wat heeft deze bankvorming voor invloed op de gebruiksfuncties van het gebied, en hoe ontwikkelen de banken zich verder, komen ze boven hoog water uit, of verdwijnen ze op den duur weer? Globaal kan gesteld worden dat de bankvorming consequenties zal hebben voor de kustveiligheid, de visserij, de natuur, het landschap en de recreatie.

Bepaalde delen van de kust van Goeree en Voorne zullen veiliger worden, omdat een deel van de golven gebroken wordt op de banken. De overige gebruiksfuncties zullen zich aan moeten passen, omdat zich westelijk van de Haringvlietdam, de Brouwersdam en mogelijk

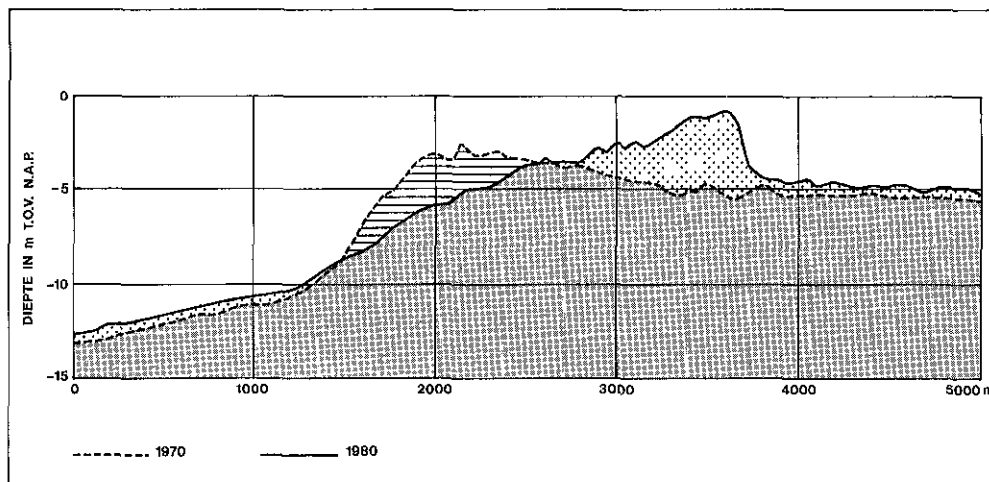
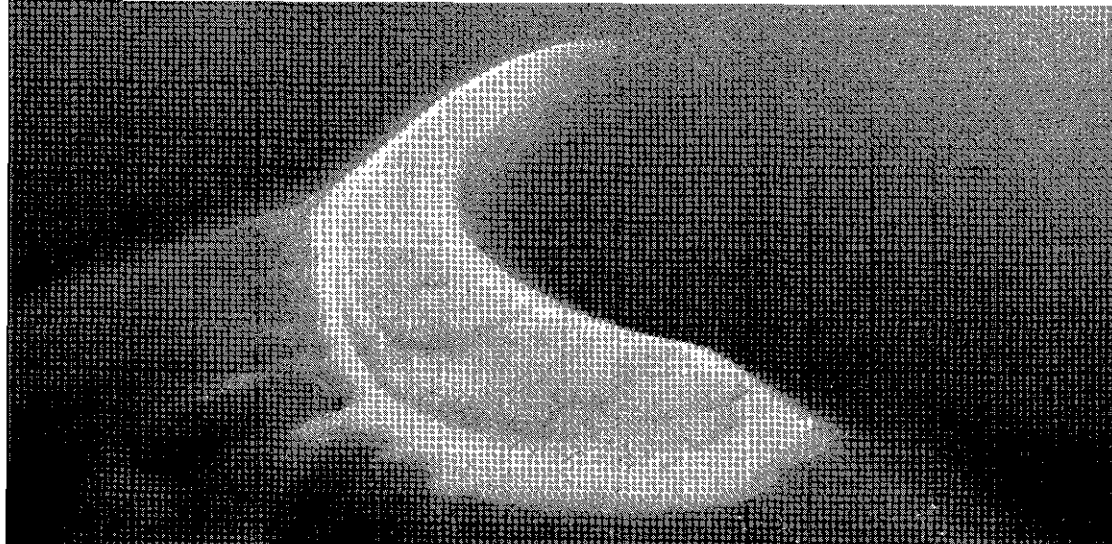


Fig. 3. Ontwikkeling in hoogte en landwaartse verplaatsing van de kustparalelle bank tussen 1970 en 1980

de Oosterschelde een wad-achtig gebied zal ontwikkelen.

Ten aanzien van de vraag hoe de banken en het achterliggende gebied zich in de tijd verder zullen ontwikkelen, moeten we het antwoord voorlopig schuldig blijven. In 1985 is de Rijkswaterstaat een multidisciplinair onderzoek van de Voordelta begonnen, waarvan de eerste fase in 1987 met een eerste rapport zal worden afgerond.

De waterkering langs de zeekust bestaat in het Deltagebied grotendeels uit duinen. Ook deze duinwaterkeringen moeten voldoen aan de veiligheidseisen van de Deltawet. Duinwaterkeringen zijn flexibel: zij ontlønen hun sterkte aan het feit dat er tijdens storm zand van het duin kan afslaan, dat zich dan weer afzet op de vooroever, en daardoor de golfaanval op het duin vermindert.

Kustbeheer en kustverdediging

Vanwege dit feit en doordat een zandige kust voortdurend in beweging is, is het niet mogelijk Deltaveilige duinwaterkeringen te ontwerpen 'voor de eeuwigheid', zoals dat bij dijen het geval is. Voor goed kustbeheer en voor het in stand houden van de vereiste veiligheid is derhalve steeds een alerte houding noodzakelijk ten aanzien van de processen in de kustzone.

Als uitvloeisel van de Deltawet worden de huidige duinwaterkeringen aangepast, zodat zij de eerstkomende jaren aan de in de wet gestelde veiligheidseisen voldoen. In dit artikel zal kort worden ingegaan op de kustverdedigingsmethoden die tot nu toe in het Deltagebied werden toegepast, op de aanpassingen die de Deltawet vereist, en op de interactie tussen de Voordelta en de kustverdediging

De hoofdgetijgeulen in de oorspronkelijke Delta lopen van oost naar west, maar voor de koppen van de eilanden bevinden zich nevengeulen of kortsluitgeulen, zoals het Oostgat en het Krabbengat. Door de afzetting van zand dat door de golven over de ondiepe Voordelta wordt getransporteerd naar de zeezijde van deze nevengeulen, hebben die de neiging zich oostwaarts te verplaatsen. In de afgelopen eeuwen zijn zo al honderden meters kust verloren gegaan. Voorts wordt bij het heersende golfklimaat zand door brandingsstromen in noordoostelijke en in zuidoostelijke richting langs de eilandkoppen getransporteerd. Daar waar het zand door getijdegeulen niet weer werd afgevoerd, trad kustaanwas op of werd duin gevormd.

Analyse van de kustachteruitgang in het Deltagebied heeft laten zien dat dit opdringen

van de secundaire getijgeulen de hoofdoorzaak is van de voortdurende erosie van de kust, en niet eventuele zware stormen.

Bij een storm treedt duinafslag op. De hoeveelheid duinafslag wordt onder andere bepaald door de ligging van het strand en de vooroever juist beneden de laagwaterlijn. Hoe lager de bodem hier ligt, des te meer afslag vindt er plaats. Het afgeslagen zand zet zich af onder de normale hoogwaterlijn tot net beneden laag water. Waar de vooroever echter versteild is door een oprukkende geul, zakt het duinzand te diep weg en kan het tijdens rustig weer niet meer teruggevoerd worden naar het duin. In plaats daarvan zal het door de stroom evenwijdig aan de kust worden weggevoerd

In kalme jaren zal de kust dus geleidelijk achteruitgaan, en in stormachtige jaren schoksgewijs, de gemiddelde achteruitgang is in beide gevallen gelijk.

Naast deze genoemde continue kustachteruitgang is er in veel kustvakken ook een periodiek verschijnsel waar te nemen. Het blijkt dat zeer grote massa's zand zich langs de kust bewegen, tot wel 10 miljoen m³. De verplaatsingssnelheid van deze zandgolven is erg klein, en de golfperiode erg lang. Gedetailleerde analyse van gegevens van de noordwestkust van Walcheren gaf een verplaatsingssnelheid te zien van 45 m per jaar, en een periode van 130 jaar. Om het optreden van zulke golven vast te leggen zijn meetgegevens nodig die een periode van zo'n 100 jaar beslaan. Voor de plaats van de duinvoet en de hoog- en laagwaterlijn hebben we deze meetgegevens meestal wel, maar meetgegevens met betrekking tot de vooroever zijn vaak alleen beschikbaar over de laatste 20 jaar.

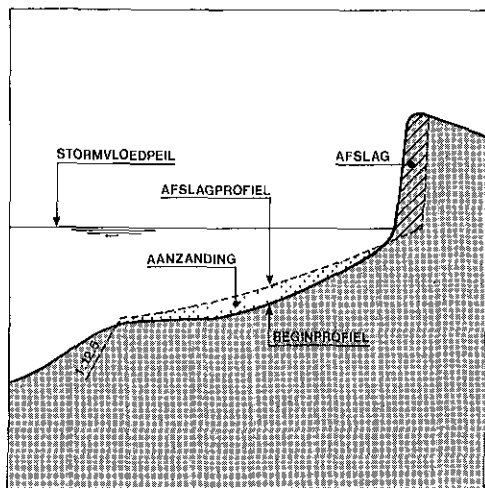


Fig 1 Principe van het rekenmodel voor dijkaflslag

Rekening houden met de effecten van een zandgolf kan soms tot aanzienlijke besparingen leiden. Voor de duinverzwaring bij Oranjestad op Walcheren was volgens de lineaire regressietheorie 300 000 m³ zoet zand nodig. Door rekening te houden met de in aantocht zijnde zandgolf kon dit tot de helft worden verminderd. Daar het zand voor de duinverzwaring in een natuur- en waterwingebied gewonnen moest worden, was de beperking van de benodigde hoeveelheid erg welkom. De foto op p. 374 geeft de zandwinplaats weer. Zonder inzicht in zandgolftheorie zou men de kuil dus twee keer zo groot hebben gemaakt.

In het verleden heeft men getracht de kusterosie tegen te gaan door de bouw van strandhoofden. Dit had eigenlijk alleen enig succes als de hoofden voldoende ver de geul in staken. Het bleek dan nodig om de koppen van deze hoofden tot grote diepte te verdedigen met stort- en zinkwerken. Eigenlijk kan men dan nog nauwelijks spreken van strandhoofden. In sommige gevallen is een duinvoetverdediging aangebracht. Zo'n maatregel maakt een einde aan de achteruitgang van het duin, maar niet van het strand en de vooroever. Bij kusten die slechts heel weinig achteruitgaan biedt zo'n duinvoetverdediging enig soelaas, alhoewel het ten koste gaat van de breedte van het droge strand. Als de kustregressie enige omvang heeft, zal de duinvoetverdediging na een aantal jaren moeten worden omgebouwd tot een zeedijk.

Door de uitbreiding van het hoofdenstelsel tot een vrijwel gesloten stelsel van stenen hoofden, paalhoofden en paalschermen, soms met zeer zwaar verdedigde koppen, heeft men de kusterosie enigszins kunnen verminderen,

Duinafslag



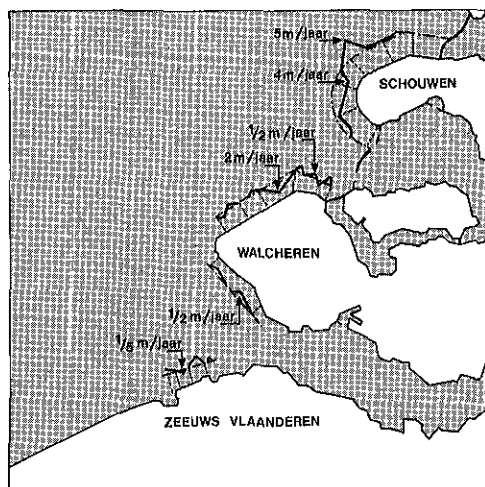
maar vooral veel gelijkmatiger gemaakt. Sinds we het verschijnsel zandgolf kennen blijkt echter dat sommige kustverdedigingswerken waarmee men dacht een positief effect uit te oefenen op de kust, in werkelijkheid nauwelijks effect hadden. Door het verplaatsen van de zandgolf zou het strand op deze plaatsen ook zonder de werken vooruit zijn gegaan.

In het kader van de Deltawet zijn alle duinwaterkeringen getoetst volgens een methode die werd vastgelegd in de Leidraad Duinafslag, in 1984 uitgebracht door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Als het duin volgens die toetsing niet veilig blijkt, of onveilig dreigt te worden, dienen er maatregelen te worden getroffen. Een mogelijke maatregel is verzwarening van het duingebied; veelal betekent dit dat de bebouwingsgrens landwaarts verschuift, of dat natuur- en

Fig 2 Voor- en achteruitgang van de duinvoet in het Delta-gebied tussen 1900 en 1971

Het wingebied Oranjezon bleef beperkt doordat rekening werd gehouden met de zandgolftheorie





milieuwaarden worden aangetast. Er wordt daarom de laatste tijd steeds meer naar alternatieven gekeken, bijvoorbeeld periodieke *strandsuppleties*, zoals er een werd uitgevoerd bij de kop van Goeree.

Het streven is om in 1990 alle duinwaterkeringen versterkt te hebben, zodat ze aan de veiligheidseisen voldoen. Door de grillen van de natuur zal echter voortdurende waakzaamheid nodig zijn, en de mogelijkheid moet niet uitgesloten worden dat ook in de periode na 1990 onderhoudswerken nodig zullen zijn om de Deltaveiligheid te handhaven.

De kustbeheerder zal in de toekomst de erosie en aanwas van de kust zo goed mogelijk

moeten leren kennen. Zonder inzicht in de kustmorfologische verschijnselen kan men de vereiste veiligheid alleen op peil houden ten koste van grote financiële offers. Voor een optimaal en integraal beheer van de zeevering moet men het kustgedrag tamelijk nauwkeurig kunnen voorspellen, en ook de invloed van werken op het kustgedrag goed kennen.

Helaas is het nog lang niet altijd zover. Door de veranderingen in het Voordeltagebied gaat er ook het nodige veranderen aan de kust. De getijgeulen zullen een wat ander karakter krijgen, door de bankvorming zal de golfaanval enigszins verminderen. Dit laatste zal niet zoveel invloed hebben op de regressiesnelheid, maar wel op de hoeveelheid afslag tijdens een superstorm. Het komt er in feite op neer dat de strook tussen de duinvoet en de landzijde van het grensprofiel wat smaller kan worden. De veranderingen die zullen optreden in het debiet van de getijgeulen hebben wel een direct effect op de regressiesnelheid van de kust. In de meeste gevallen zal het debiet afnemen, en dus ook de kustregressie. Dit hoeft echter niet overal zo te zijn. Er zijn veel omstandigheden denkbaar waarbij het debiet zelfs toe zal nemen. Of deze omstandigheden zullen optreden, is momenteel onderwerp van studie.

Een ander probleem is dat men nog niet weet waardoor het fenomeen zandgolf fysisch wordt bepaald. Daarom is het niet mogelijk een uitspraak te doen over eventuele veranderingen in de loopsnelheid van deze golven, terwijl kennis hiervan juist essentieel is voor een adequaat beheer.



Als in 1990 het Deltaplan zal zijn voltooid, wordt een fase in de geschiedenis van Nederland, de Nederlanders en de zee afgesloten. Een geschiedenis die het karakter draagt van een nimmer eindigend spel tussen mens en zee. Met het Deltaplan, dat de beveiliging beoogde van het hele land volgens één samenhangend normenstelsel en kustverkorting door afsluiting van de zeegaten, zijn de Nederlanders aan zet geweest. Nu is de natuur weer aan de beurt om veranderingen aan te brengen in de omstandigheden. De ervaring leert dat onze tegenspeelster altijd weer verrassingen in petto heeft.

Geschiedenis tot nu toe

Het toekomstig beheer van onze kust moet historisch worden gezien als de voortzetting van de geschiedenis tot nu toe. Daarom nu eerst een terugblik

De geschiedenis van Nederland, de Nederlanders en de zee begon ongeveer 10 000 jaar geleden, bij de beëindiging van de laatste ijstijd. Het zeeniveau lag toen 70 tot 100 m lager dan nu, en de huidige Noordzee was een droge laagvlakte waardoor Thames, Rijn en Schelde tezamen via het Kanaal afstroomden naar de Atlantische Oceaan (figuur 1^a).

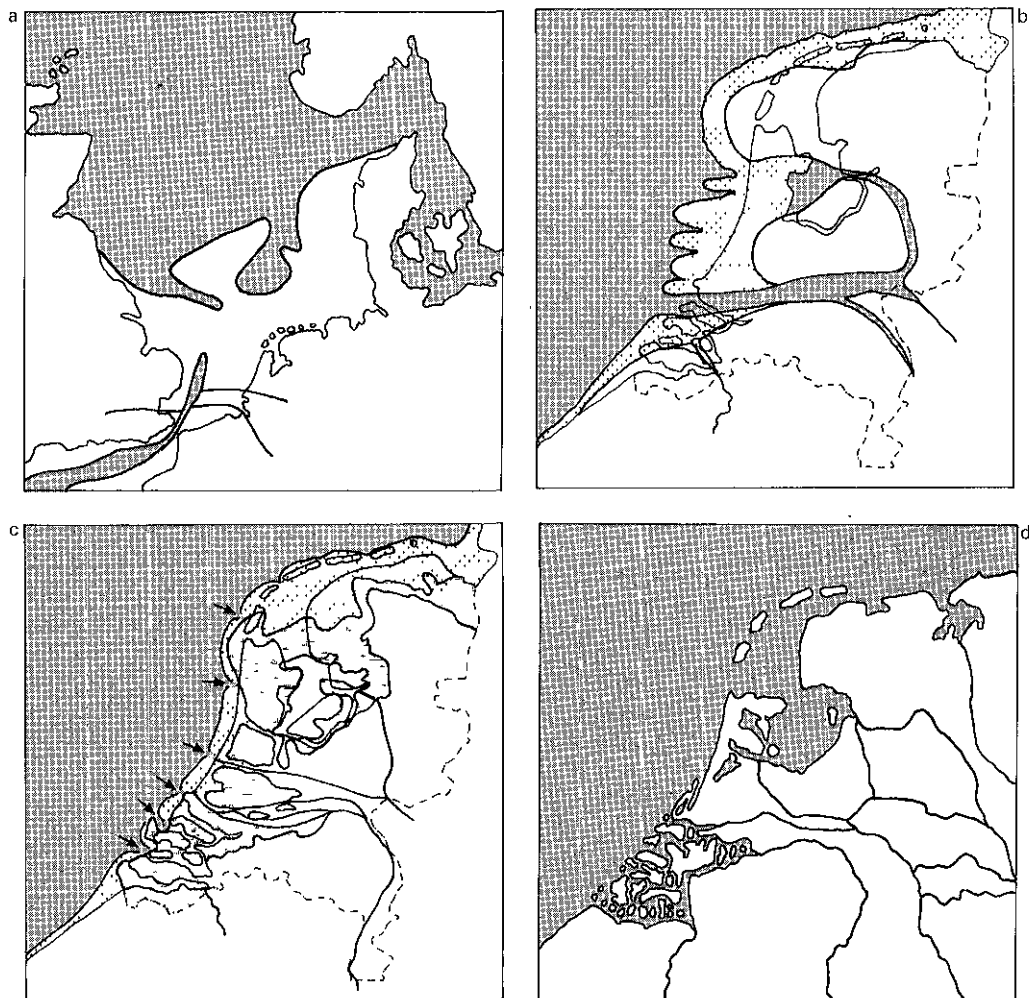
Daarna steeg de zee snel en de Noordzee liep vol met water. Zo'n 7000 jaar geleden, toen de zee nog 15 m lager stond dan nu, kon met enige goede wil voor het eerst worden gesproken van 'Nederland' (figuur 1^b). De kust verliep geheel anders dan nu. Tussen Texel en Vlaanderen strekte zich één grote lagune uit, waarin Rijn, Maas en Schelde uitmondde. Pas later vormde zich de gesloten kust van Nederland, voornamelijk opgebouwd uit zand dat was aangevoerd vanuit de oever. De golven vormden van dat zand banken, de wind stooft daarop duinen bijeen en daarachter vormde zich een moeras waarvan het veen soms 3 m boven het zeeniveau uitstak. Zo vonden de Romeinen Nederland, met een vrijwel gesloten kust van Vlaanderen tot Borkum, alleen doorbroken door riviermondingen (figuur 1^c). De kust lag 8 tot 10 km westelijker dan de tegenwoordige kustlijn. De zee had een gemiddeld niveau van N.A.P. -1 m.

De zee rees verder, en erosie verplaatste de kustlijn landinwaarts. Maar toen begon de zee in te breken in het land. De Waddenzee en de

Toekomstig kustbeheer

Zuiderzee werden gevormd. In Holland onstonden vele meren en plassen, en in het Deltagebied werden de riviermondingen tot zeearmen. Omstreeks 1500 lag West-Nederland meer onder dan boven water (figuur 1^d). Vermoedelijk was vanaf de Romeinse tijd niet alleen de stijging van het zeeniveau de oorzaak van het verlies aan land. De mens deed er onbewust ook het zijne toe. Al in de Romeinse tijd werd begonnen met ontwatering van het veenland, om het bruikbaar te maken voor veeteelt en landbouw. Gevolg was wel dat het veen inklonk en lager kwam te liggen, zodat het bij stormvloed onderliep. De bergende oppervlakte werd daardoor vergroot, en als gevolg daarvan verwijdden zich de riviermonden tot zeearmen, waardoor het water nog gemakkelijker kon binnenkomen. In West-Nederland waren daardoor tussen de 4e en 9e eeuw nagenoeg alleen nog de duinen bewoonbaar, terwijl het veenland opslibde met een kleilaag. Toen werden stukken land bedijkt. Dat bracht het opslibbingsproces tot stilstand.

Opnieuw werd er ontwaterd, zodat opnieuw klink optrad en het land binnen de bedijking steeds lager kwam te liggen en kwetsbaarder werd voor de zee. Ook werd er veen afgegraven voor turfproductie en zoutwinning. Dit maakte het land nog kwetsbaarder, en veroorzaakte verlies van verscheidene polders, zoals het Land van Reimerswaal en delen van de Biesbos. Daarnaast werden in de loop der eeuwen vele militaire inundaties uitgevoerd, waarna het land nog eens niet weer droog te leggen bleek, of verhinderden onderlinge tegenstellingen de herwinning van overstromde gebieden. De Biesbos bijvoorbeeld werd niet opnieuw bedijkt vanwege de Hoekse en



Kabeljauwse twisten. Zo vergrootte de mens opnieuw de bergende oppervlakte van het achterland, en versterkte daarmee de getijwerking, die riviermondingen en zeearmen verder uitschuurde. De kust werd mede hierdoor verbrokeeld, zowel in Noord-Holland, als in het Waddengebied en de Zuidwestelijke Delta.

Dat kon zo niet doorgaan. Al in de 12e eeuw sloegen landeigenaren de handen ineen om, georganiseerd in waterschappen, de verdediging ter hand te nemen. Er werd waterbouwkundige techniek ontwikkeld die het mogelijk maakte het land niet alleen te verdedigen maar ook terug te winnen. Deze actieve strijd tegen de zee kende geen gestage vooruitgang. Oorlog, onrust in het landsbestuur of economische crisis hadden een ongunstige uitwerking op de verdediging tegen de zee. Er is ook

Fig 1 De Nederlandse kustlijn
a. 8400 jaar geleden, zeeniveau 40 m lager dan nu
b. 7000 jaar geleden, zeeniveau 14 m lager dan nu
c. in de Romeinse tijd, zeeniveau 1 m lager dan nu, kustlijn 8 à 10 km westelijker dan nu
d. omstreeks 1500

een soort golfbeweging in de waterbouwkundige zorg te onderkennen, waarbij na ieder rampherstel de aandacht weer verflauwde. De stormvloed van 1916 gaf de stoot tot de Zuiderzeewerken, de ramp van 1953 tot de Deltawerken. Twintig jaar later werd volledige afsluiting van de Oosterschelde echter een te rigoureus middel geacht. De Oosterschelde zelf, als natuurlijk element van grote waarde, moest verdedigd worden. Een combinatie van afsluiting en behoud van het getij bleek na grote inspanningen haalbaar.

In 1990 wordt een periode van herstel en versterking afgesloten. De eerste opgave is dan de verkregen veiligheid vast te houden. De Wet op de Waterkering, nu in ontwikkeling, moet daar als vervolg op de Deltawet het kader voor bieden. Mogelijk is de economische crisis dan achter de rug en het financieel klimaat opgeknapt.

Met de afsluiting van de zeegaten is dan in feite weer een gesloten kustlijn bereikt tussen Walcheren en Den Helder, en in tweede linie tussen Den Helder en de Eems. Aan het kustbeheer de opgave, deze situatie te handhaven.

Kustbeheer: omgaan met een bewegende grens

De grens tussen water en land is ter plaatse van de zandige kust langs de Noordzee niet echt vastgelegd. De westkust van Holland erodeert nog steeds: in het noorden van Noord-Holland met een snelheid van één à twee meter per jaar, verder naar het zuiden met enkele decimeters, of net niet meer. De Waddeneilanden vertonen soms aanzienlijk grotere voor- of achteruitgang. De natuurlijke kustvorming gaat dus nog steeds door. Voor de eilanden in de Delta bouwt de zee met het zand van de Voordelta banken op, waaruit misschien eilanden ontstaan, met eventueel duinen. In dit laatste is opnieuw de invloed van mensenwerk te herkennen. Dat is ook het geval rond havenwerken: dichtbij vermindert de erosie of slaat om tot sedimentatie, maar verderop wordt de erosie versterkt. De invloed van zulke werken strekt zich verder uit dan wel eens is gedacht.

Een zeewering heeft een vaste ondergrond nodig. Maar als een zeewering direct aan het strand ligt is de grens tussen land en zee beweeglijk, en als de beweging te ver gaat, de ondergrond van de zeewering zelf ook; dan kan de zeewering bedreigd worden. Naarmate de erosie van de kust voortschrijdt zal dit op meer en meer plaatsen het geval zijn. Uit reacties van publiek en politiek blijkt

daarnaast dat meer en meer belang wordt gehecht aan de waarden van strand en duinen voor natuur, recreatie, drinkwatervoorziening en andere functies. Ook als de veiligheid van de polders achter de duinen niet in het geding is, kan een duingebied dus niet zonder meer aan de erosie worden prijsgegeven. Zeer waarschijnlijk zal het tot nu toe gevoerde beleid van beheerste teruggang op steeds meer plaatsen worden verworpen. Er is van gebied tot gebied, tegen de achtergrond van de kust als geheel, een analyse nodig volgens het vragenschema van figuur 2.

De bedoeling van het schema is, dat de beheerder van het kustvak zich van tijd tot tijd afvraagt of de laagwaterlijn in beweging is. Is er sedimentatie, dan is er gewoonlijk geen probleem, en kan meteen vraag 4 aan de orde worden gesteld. Is er erosie, dan volgt vraag 2: of de zeewering bedreigd wordt. Is het antwoord 'ja', dan moet er wat gebeuren om de Deltanorm voor die zeewering te handhaven. Is het antwoord 'nee', dan volgt vraag 3: of de zeewering verderop bedreigd wordt als de erosie hier doorgaat. Is daarop het antwoord 'ja', dan moet er wat gedaan worden om de kustlijn van de aangrenzende vakken gestrekt te houden. Is het antwoord 'nee', dan is de veiligheid van het achterliggende polderland niet in gevaar en kan het kustvak min of meer afzonderlijk beschouwd worden. Vraag 4 komt dan aan de orde: zijn er op het strand of in de duinen waarden aanwezig die nopen tot erosiebestrijding? Daarvoor is een belangenafweging nodig tussen het gewicht van de aanwezige waarden en de kosten van erosiebestrijding. Dezelfde afweging speelt in voorkomende gevallen bij de vraag of sedimentatie bevorderd moet worden. Is het antwoord 'ja', dan zijn passende maatregelen nodig, bijvoorbeeld een zandsuppletie. Misschien zijn er in de toekomst methoden te vinden die meer inspelen op de natuurlijke krachten in de zee. Als er maatregelen moeten worden genomen, ook als dat gebeurt om de kustlijn gestrekt te houden, dan volgt als vijfde vraag welke faalkans voor de zeereep acceptabel is. Het antwoord kan veelal worden gevonden bij de hierboven genoemde belangenafweging. Van de vragen hebben de eerste drie in hoofdzaak een morfologisch/technisch karakter; ze moeten worden beschouwd tegen de achtergrond van de kust tussen Calais en Helgoland als geheel. De vragen 4 en 5 hebben meer een regionaal/ruimtelijk karakter. Het voortouw zal bij die laatste aspecten in de toekomst moeten worden genomen door de regionale overheid

In de praktijk is de werkwijze met de vijf vragen al te herkennen in enkele recente werken. De duinverzwaring van 1986 bij Callantsoog vindt plaats omdat de zeewering ter plaatse te zwak is, dus uit hoofde van vraag 2. De suppletie bij het Zwanewater in 1987 wordt ondernomen omdat de stabiliteit van de zeewering bij Callantsoog vraagt om een gestrekte kustlijn bij het Zwanewater – vraag 3. De acceptabele faalkans van de zeereep – vraag 5 – volgt uit het natuurbelang van het Zwanewater. Er is bij het Zwanewater namelijk keuzevrijheid om de Deltakering in de zeereep of aan de landzijde van het duingebied te leggen.

De recente suppletie op Texel was gebaseerd op een studie die vrijwel volledig ging over de 4^e vraag. Tenslotte kunnen ook studies naar projecten als het Slufterplan en het plan-Waterman worden beschouwd als afwegingen in het kader van de 4^e vraag. Dergelijke studies hebben ook meer het karakter van een Milieu-Effect-Rapportage, en dienen terug te koppelen naar de eerste drie vragen, die de gevolgen betreffen van eventuele uitvoering van het project.

De ervaring met gevolgen van menselijk handelen leert wel dat in geval van twijfel terughoudendheid op zijn plaats is. Dergelijke studies komen veelal op initiatief van de regio of van sectorale belangengroepen tot stand. Ook dan dient de belangenafweging plaats te vinden onder leiding van de regionale overheid. Aanpak volgens het boven geschetste schema biedt de ruimte om dynamisch in te spelen op de vragen van de samenleving, die allemaal aan de orde komen onder de vierde vraag van het schema. Systematische toetsing van de actuele situatie aan de vragen 1 t/m 3 geeft

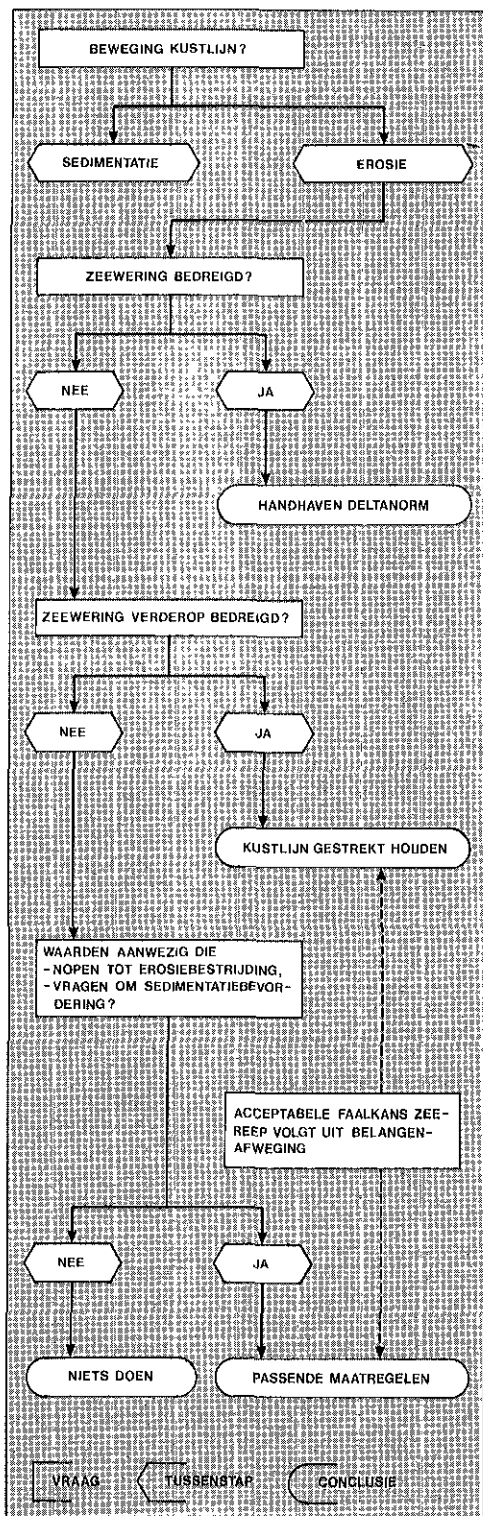


Fig 2 Vragenschema te gebruiken bij toekomstig kustbeheer

een reële kans dat ook tijdig wordt ingespeeld op de natuurlijke ontwikkeling van de kust. Beide elementen tezamen leiden tot een dynamisch beheer, een samenspel met zee en samenleving.

Kennis

Er is wel kennis van de kustontwikkeling nodig: meetgegevens van de actuele ontwikkeling, en inzicht in het hoe en waarom van de samenhangen. Daarbij zullen ook de zeespiegelrijzing en de ontwikkeling van de getijstroom van groot belang zijn. Op basis van dit inzicht kan worden gezocht naar adequate methoden om bij erosiebestrijding in te spelen op de natuurlijke krachten. Op deze terreinen *blijven nog wel eens vragen open. Het zal dan ook nodig zijn om hier met vernieuwde energie onderzoek naar te doen.*

Nieuwe kansen liggen in een eigentijdse interdisciplinaire aanpak, zoals in het project Kustgenese. Automatische gegevensverwerking biedt nieuwe mogelijkheden voor diepgaande analyse van omvangrijke bestanden aan meetgegevens. Op die basis kunnen

wellicht ook methoden gevonden worden om erosie te bestrijden in samenspel met de zee.

Slotsom

De kust vertoont over het geheel een erosieve tendens. Deze ontwikkeling wordt veroorzaakt door een natuurlijke invloed en gedeeltelijk ook door de gevolgen van menselijk handelen in het verleden. Met de uitvoering van het Deltaplan is in grote trekken weer een gesloten Nederlandse kust bereikt, die beveiliging biedt op een hoog niveau, volgens één landelijk samenhangend normenstelsel. De grootste opgave voor het kustbeheer is om deze verworvenheden vast te houden. Een dynamische aanpak is daarvoor vereist, op basis van kennis van de ontwikkeling van de kust, het hoe, waarom en de samenhang daarvan. Daarnaast zijn wellicht nieuwe methoden voor erosiebestrijding in samenspel met de zee nodig. De zachte zandige kust – *een even karakteristiek kenmerk van Nederland als de fjorden dat zijn van Noorwegen* – vraagt ook eerder om een samenspel dan om harde verdedigingsmiddelen.

Samenvattingen

Inleiding

Wanneer de mens ingrijpt in de natuurlijke ontwikkeling van een deltagebied, kunnen morfologische veranderingen zich versneld voltrekken. Om ze te kunnen voorspellen is wetenschappelijk inzicht nodig, maar ook persoonlijke ervaring.

Een belangrijke ontwikkeling is de recente verbetering van meetmethoden en -instrumenten, en daarnaast de verwerking van de gegevens per computer, waardoor ook mathematische modellen beter getoetst kunnen worden.

Dit themanummer geeft de stand van zaken van het onderzoek weer. Het behandelt de ontwikkeling van de benedenrivieren, van het estuarium van de Oosterschelde en van de Voordelta, waar zich wad-achtige ontwikkelingen gaan voordoen.

Bodemontwikkeling in het benedenrivieren-gebied na de afsluiting van het Haringvliet

In 1969 werd het Volkerak afgesloten, en in 1970 het Haringvliet. Samen met de Rijnkanaalisatie zorgden deze veranderingen voor een sterk gewijzigd stromingspatroon door onze benedenrivieren.

Op het traject Nieuwe Merwede – Hollands Diep – Haringvliet zijn de snelheden nu sterk afgenomen. De stroomsnelheden op de Oude Maas en de Noord zijn daarentegen toegenomen. De resulterende stroomrichting op de Dordtse Kil en het Spui veranderde van zuidwaarts naar noordwaarts. Deze veranderingen van het stroomregime waren vooraf berekend.

Als direct gevolg van de veranderde stroming

zijn ook de sedimentatie en erosie van rivierbeddingen gewijzigd. Sommige riviervakken zullen in de toekomst blijven uitschuren, wat gevaar kan opleveren voor oevers en kunstwerken. Op andere zet zich veel sediment af, wat vooral een steeds verder naar het westen opdringende vervuiling van de rivierbodem tot gevolg heeft.

Morfologische processen in de Oosterschelde

Geomorfologische kennis komt van pas bij de uitvoering van grote waterstaatkundige werken in kustgebieden, maar ook om de gevolgen te voorspellen die zulke werken zullen hebben voor de morfologische ontwikkeling. De morfologie is een van de abiotische voorwaarden voor de biologische processen in een gebied.

In dit artikel wordt voornamelijk nagegaan hoe de schorren, platen en slikken en de getijgeulen zich in de Oosterschelde zullen ontwikkelen na de voltooiing van de stormvloedkering en de compartimenteringsdammen. Er is daartoe omvangrijk onderzoek gedaan naar de grondmechanica van schorren en naar het verloop van erosie en sedimentatie van platen en slikken. Wat de getijgeulen betreft komt men tot de conclusie dat ze zich na de reductie van het getij zullen moeten opvullen met 800 miljoen m³ sediment, voor er een nieuwe evenwichtssituatie intreedt.

Morfologische modellen

Om de morfologische ontwikkeling van de Oosterschelde te kunnen volgen en voorspellen maakt men gebruik van twee-dimensionale mathematische modellen. Veranderingen in het intergetijdegebied worden bestudeerd met het COMOR-systeem, een model dat is opgebouwd uit ook afzonderlijk te gebruiken modules voor schematisering, voor het getij en de golven, de stroming, het transport, en de erosie en sedimentatie. Wanneer de hydraulische randvoorwaarden bekend zijn kan COMOR de bijbehorende zandtransporten berekenen volgens vijf verschillende formules. Ter toetsing van dit modelonderzoek zijn twee meetopstellingen geplaatst op de Galgeplaat in de Oosterschelde.

Een ander deel van het onderzoek betreft de toekomstige profielaanpassingen, verplaatsingen en vormveranderingen van de geulen in het bekken. Aangenomen wordt dat de geulprofielen even sterk zullen afnemen als de debieten. Voor de voorspellingen op dit gebied gebruikt men de modellen WAQUA en

SECFLO, waarvan de laatste in de toekomst moet uitgroeien tot de basis voor morfologische berekeningen met betrekking tot de Oosterschelde.

Kortsluitgeulen

Tijdens de bouw van de stormvloedkering in de Oosterschelde kunnen er ongelijke vernauwingen optreden in de sluitgaten. De stroom tracht die ongelijkheid te vereffen, en dat kan het ontstaan van kortsluitgeulen tot gevolg hebben, dwars op de hoofdgeulen, en doorgaans door het diepst gelegen gedeelte van de tussenliggende plaat.

Er is naar dit verschijnsel onderzoek gedaan, voornamelijk aan de hand van mathematische modellen. De resultaten zijn zo geoperationaliseerd, dat de kortsluitgeulen niet gevaarlijk konden worden, terwijl toch voldoende flexibiliteit werd behouden om de voortgang van de bouw van de Oosterschelde-kering niet te belemmeren. Bovendien werd, als preventieve maatregel, een grindruggetje gelegd op de kop van de bouwput Schaar, om de stroom daar ter plaatse te geleiden

Een nieuw wad-achtig gebied?

Voor de zo goed als afgesloten *estuaria* van Haringvliet en Grevelingen hebben zich in de afgelopen tien jaar brede zandbanken ontwikkeld, parallel aan de kust. In die zandbanken zijn als gevolg van het wegvallen van de ebstroom tientallen miljoenen m³ zand opgeslagen, onttrokken aan de zone tussen 4 en 8 m beneden N.A.P.

Zal zich voor de Oosterschelde-monding iets dergelijks voltrekken? De ebstroom neemt daar met 20% af, dus men verwacht een tragere ontwikkeling van hetzelfde verschijnsel. De kustveiligheid zal daardoor toenemen, en de visserij, de natuur, het landschap en de recreatie zullen er zich aan moeten aanpassen. Of de bank voor de Oosterscheldemond zal blijven, is nog in studie.

Kustbeheer en kustverdediging

De zeewering bestaat in het Deltagebied grotendeels uit duinen. Het is een flexibele waterkering, die vanwege het grillige gedrag van de natuur steeds nauwlettend in de gaten moet worden gehouden. Als uitvloeisel van de Deltawet worden deze waterkeringen thans zo aangepast dat ze tot het jaar 2000 aan de gestelde veiligheidseisen kunnen voldoen. Nu blijkt dat het vroeger aangelegde stelsel van strandhoofden niet de gewenste bescher-

ming biedt, zoekt men naar alternatieven, zoals zandsuppleties aan de koppen van de eilanden. Het onderhoud kan soms aanzienlijk worden vereenvoudigd wanneer men rekening houdt met de zich langzaam langs de kust voortbewegende zandgolven, die wel tot 10 miljoen m³ zand meevoeren met een snelheid van ongeveer 45 m per jaar. Ook de veranderingen die recentelijk optreden in het debiet van de getijgeulen zijn van invloed op de teruggang van de kust

Toekomstig kustbeheer

Als in 1990 het Deltaplan zal zijn voltooid, wordt daarmee een fase afgesloten in de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland: voor het eerst sinds de Romeinse tijd heeft ons land weer een nagenoeg gesloten kustlijn. Voor het toekomstig beheer van die kust is een nieuwe Wet op de Waterkering in voorbereiding.

Aan de zandige kust van Nederland vindt nog steeds erosie plaats, van enkele dm tot 1 à 2 m per jaar. De natuurlijke kustontwikkeling dient met grote waakzaamheid te worden gevolgd. Ook havenwerken en dergelijke hebben hun invloed.

Volgens een vragenlijst met vijf punten kan steeds worden beslist of ingrepen noodzakelijk zijn, ook rekening houdend met de wensen van de samenleving. Door nadere studie hoopt men in de toekomst te kunnen inspelen op de natuurlijke krachten langs de kust.

Summaries

Introduction

When the natural development of a delta is interfered with by man, morphological changes may be accelerated. Not only is scientific insight necessary in order to predict these changes, but also personal experience. An important development is the recent improvement in measuring methods and instruments as well as in processing of the data by computer, whereby mathematical models can be better tested.

The following articles describe the progress made in research. They deal with the development of the lower rivers, the Oosterschelde estuary and the Voordelta, where muddy shallows are developing.

Riverbed developments in the lower river area after the closure of the Haringvliet

Closure of the Volkerak and the Haringvliet took place in 1969 and 1970 respectively. Together with the canalisation of the Rhine, this caused significant changes in the pattern of currents through our lower rivers. The current velocities in the reaches of the Nieuwe Merwede, the Hollands Diep and the Haringvliet have decreased considerably. On the other hand those in the Oude Maas and in the Noord have increased. The direction of the resulting current in the Dordtse Kil and in the Spui changed from southwards to northwards. These changing patterns in the currents had been calculated beforehand.

Alterations have also taken place in the sedimentation and in the erosion of the riverbeds as a direct result of the change in currents. Some tributaries will continue to be

eroded in the future, which could endanger banks and hydraulic structures. In others a pile-up of sediment occurs, which results especially in a growing pollution of the riverbeds towards the west.

Morphological processes in the Oosterschelde

Geo-morphological knowledge comes in useful not only during the execution of large hydraulic works in coastal areas, but also to predict the consequences of such constructions upon the morphological development. The morphology is one of the a-biotic conditions for the biological processes in an area. This article is mainly devoted to examining how the mud-flats, marshes and tidal channels will develop subsequent to the completion of the storm surge barrier and the compartment dams. For this purpose extensive research has been carried out on the soil mechanics of mud-flats and on the progress of erosion and sedimentation of the sandy shoals.

As far as the tidal channels are concerned the conclusion has been reached that they will have to be filled up with 800 million m³ of sediment after reduction of the tide, before a new balance is achieved.

Morphological models

In order to be able to follow and to predict the morphological developments in the Oosterschelde use is made of two-dimensional mathematical models. Changes in the inter-tidal area are studied with the COMOR system. This is a model which is built up of modules which may also be employed separately for schematising, for the tide and the waves, current, transport, and erosion and sedimentation. When the hydraulic marginal conditions are known COMOR can calculate the corresponding sand transportations according to five different formulae. In order to check this model research two measuring erections have been placed on the Galgeplaat in the Oosterschelde.

Another part of the research deals with the future profile adjustments, movements and changes in the formation of the channels in the river mouths. It is assumed that the channel profiles will decrease to the same extent as the flows.

Models AQUA and SECFOLO are used for the predictions in this field, the latter being expected to expand as the basis for

morphological calculations with regard to the Oosterschelde.

Interconnecting channels

During the construction of the storm surge barrier in the Oosterschelde irregular narrowing may occur in the closure gaps. The current itself attempts to smooth out this irregularity, which can cause the development of interconnecting channels cutting across the main channels and generally through the deepest part of the interjacent sandy shoals. Research has been done on this phenomenon, mainly by means of mathematical models. The results have been put into practice in such a way as to avoid the interconnecting channels becoming dangerous, while at the same time maintaining sufficient flexibility so as not to impede the progress of the building of the barrier. Moreover, as a preventive measure, a shingle dam has been placed at the head of the Schaar construction dock, so as to direct the current on the spot.

A new shallows area?

During the last ten years broad sand banks have developed parallel to the coast in front of the Haringvliet and Grevelingen estuaries which are more or less closed off. As a result of the disappearance of the ebb tidal current tens of millions of m³ of sand have become stored in these sand banks, which has been drawn from the zone between 4 and 8 m. below M.S.L. Could the same also occur in front of the Oosterschelde mouth? There the ebb stream will decrease by 20%, so a slower development of the same phenomenon is expected.

As a result coastal safety will be greater, and fishery, nature, landscape and recreation will have to adjust. Whether or not the bank will remain in front of the Oosterschelde mouth is still a subject of study.

Coastal management and defence

In the Delta area the sea defence consists mainly of dunes. It is a flexible water barrier, which must be kept under strict supervision due to nature's freakish behaviour. As a result of the Delta Law these water barriers have been so adapted as to satisfy the set safety requirements up until the year 2000. It has now turned out that the former system of beach heads does not offer the desired protection. Therefore other alternatives are being sought, such as supplementing sand at

the island heads. Maintenance can sometimes be considerably simplified when the forward moving sand waves are taken into account which are slowly propelled along the coast. These may carry up to 10 million m³ of sand at a speed of about 45 m. per year. The changes which have occurred recently in the flow of the tidal channels also influence the retreat of the coast line.

Future coastal management

When the Delta Project is completed by 1990, a chapter will have been closed on spatial development in the Netherlands. For the first time since the Roman era our country will once more have an almost closed coast line. A new law is in preparation for the future management of this coast. Erosion still occurs along the sandy coasts of the Netherlands at a rate ranging between a few dm. to 1 to 2 m per year. The natural coastal development should be followed vigilantly. Influence is also exerted by the harbour works and suchlike. According to a questionnaire with five points decisions can be made and necessary measures taken at any moment, also taking into account the wishes of the community. On the basis of further study it is hoped that the natural forces along the coast may be exploited for the use of coastal management.

Vorderingen

in de periode 1 april -
1 juli 1986

Philipsdam

Begonnen werd met het in bedrijf stellen van de deuren van de duwvaartsluizen. De twaalf hoofdschuiven in de in-, uit- en doorlaatwerken werden gemonteerd. Men vorderde volgens plan met de fabricage, de montage, de aansluiting en het in bedrijf stellen van de schuiven in de kolkwandriolen. In het gemaal van de duwvaartsluizen werden drie pompen elektrisch aangesloten.

Verder werd gewerkt aan het schrijven van programmatuur en het samenbouwen van apparatuur voor de regelcomputer van de sluizen. De bouw van de radarinstallatie, de aanleg van elektro-technische voorzieningen en de fabricage van apparatuur om het debiet te meten, verloopt voorspoedig. In het bedieningsgebouw kon worden begonnen met de installatie van het instrumentarium voor de bediening.

Voor de toeleidingswerken zijn al sommige onderdelen in productie. Het heikwerk in de oostelijke voorhaven van de duwvaartsluizen kwam klaar. Voor het gemaal van de jachtensluis worden thans pomponderdelen gefabriceerd. De onderhoudsschuiven in het gemaal zijn geplaatst. De deuren voor de jachtensluis zijn gereed om te worden gemonteerd. De ringdijk tussen de westelijke voorhaven en de jach-

tensluis werd inmiddels doorgebaggerd.

Oesterdam

Het 9,5 kilometer lange zuidelijke deel van de Oesterdam, tussen Zuid-Beveland en het sluiseland, is geheel voltooid. In het tracé van de Oesterdam is nu nog 400 m open, tussen het sluiseland en Tholen, ter plaatse van het Tholense Gat. Dit laatste damgedeelte zal worden aangelegd als de Bergse-Diepsluis in gebruik is genomen, op 1 september 1986. De sluisdeuren, de bewegingswerken en de brug van de sluis zijn gemonteerd. De ringdijken van de bouwput werden doorgebaggerd. De fabricage en montage van de elektrische installatie en instrumentatie is zover gereed, dat er op 1 augustus een integrale beproeving kan plaatsvinden.

Bathse Spuikanaal

Het baggerbestek van het Spuikanaal werd afgerond met de bestorting van de oevers. De oplevering vond plaats op 22 mei. De montage van bewegingswerken voor de sluis is in volle gang. Verder werden vorderingen gemaakt met de fabricage en montage van de elektrische installatie en instrumentatie van de Bathse Spuisluis.

Stormvloedkering

In maart werd een begin gemaakt met het plaatsen van de 22 laatste dorpelbalken in het sluitgat Roompot. Alle betrokkenen zagen deze fase van het werk met spanning tegemoet: in kort tijdsbestek zou de doorstroomopening in de Oosterscheldemonding nu zijn definitieve vorm krijgen; de stroomsnelheden zouden

daardoor in hoog tempo oplopen. Enerzijds veroorzaakte dit steeds moeilijker wordende werkomstandigheden, anderzijds had het ook zijn uitwerking op de bodemligging in de zeearm. Door inkorting van het werkschema kon worden voorkomen dat de kritieke laatste fase van de plaatsingen juist zou vallen in een periode met springtij. Deze versnelling werd bereikt door gedurende twee weekends continu door te werken, en in een enkel geval door de tijdsduur van een plaatsingsoperatie te halveren. Op 22 april werd de



laatste dorpelbalk geplaatst. Binnen vier weken daarna waren alle dorpelbalken met groutvijzels in hun definitieve positie gefixeerd. Mede door het hoge plaatsingstempo bleven de ontgrondingen aan de rand van de bodembescherming binnen de voorspelde waarden. Vervolgens werd het plaatsen van bovenbalken hervat, en wel op die locatie waar in februari een bovenbalk verloren was gegaan. Door uitwisseling met een daaraan identiek exemplaar van een andere locatie kon de oorspronkelijke plaatsingsvolgor-

de gehandhaafd blijven. De laatste bovenbalk en de laatste schuif met bewegingswerken werden eind juni geplaatst, op de locatie Roompot 1. Dit gebeurde onmiddellijk nadat enkele schepen de Oosterschelde door deze laatste opening hadden verlaten. Behalve de balkenplaatser zelf behoorde daartoe de afmeerponton 'Macoma', die inmiddels is verkocht aan een particulier bedrijf. Voor de ontsnapping van de schepen moest een reeds aanwezig brugdeel tijdelijk worden verwijderd. De toplaagstortor 'Trias' werd

bij deze gelegenheid versleept van de Noordzee- naar de Oosterscheldezijde van de kering.

In de verslagperiode is de 'Trias' aan beide zijden van de kering bezig geweest met het aanstorten van de dorpelbalken. Op 24 april was dit werk aan de zeezijde gereed, de 'Trias' werd naar binnen gehaald, en vervolgde zijn werk aan de Oosterscheldezijde.

De kunstwerken in het wegtraac zijn gereed. Met de aanleg van wegen over het werkeiland werd een begin gemaakt.

