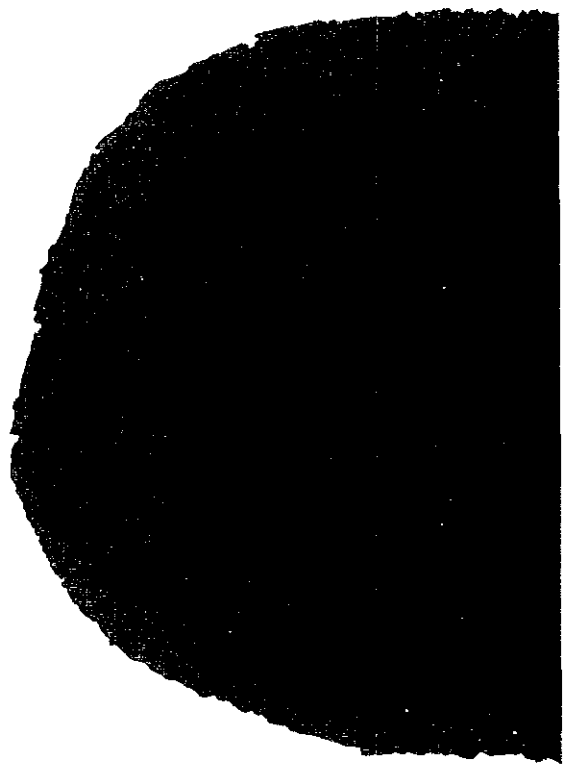
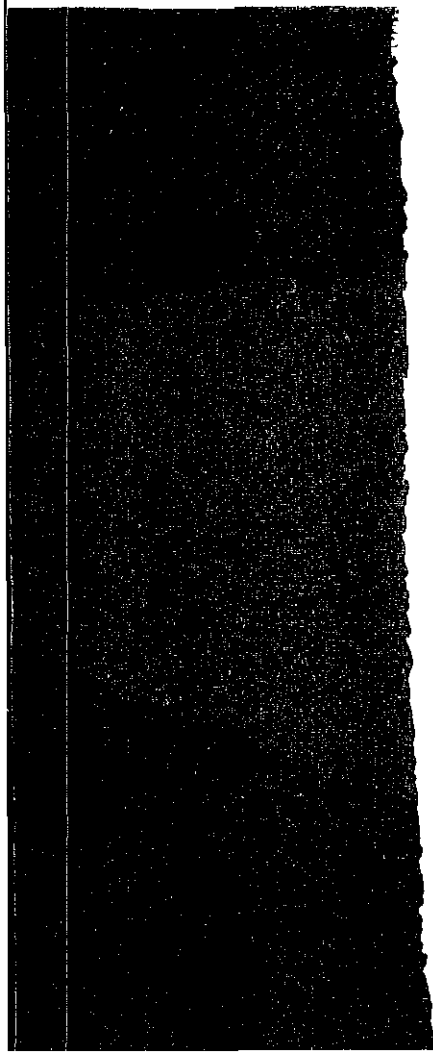


Driemaandelijks Bericht
nummer 122, november 1987

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Veenlaan 1
4301 NN Zierikzee
Telefoon 01110-1 80 00

Abonnementen en verkoop losse nummers:

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

De prijs bedraagt f 30,75 per jaar
of f 8,10 per nummer



Staatsuitgeverij

Christoffel Plantijnstraat 2
Postbus 20014
2500 EA 's-Gravenhage
Telefoon 070 - 78 99 11
Postgiro 425050
Telex 32486 stdru

- Geachte abonnee,

De serie Driemaandelijke Berichten over de Deltawerken komt, zoals u wel zult hebben verwacht, binnenkort tot een einde. Na deze aflevering verschijnt er in de jaargang 1988, nog een dubbelnummer: DMB 123/124, dat de betekenis van de Deltawerken evalueert onder het opzicht van beveiliging, waterhuishouding, sociaal-economische ontwikkeling en planologie. De beste deskundigen van de Rijkswaterstaat en daarbuiten zijn bereid gevonden mee te werken.

Een overzicht van de inhoud:

Ir. Tj. de Haan (Rijkswaterstaat), De betekenis van het Deltaplan voor de beveiliging van Nederland tegen het water;

Dr. H.L.F. Saeijs, Conditioneren: Lessen uit 20 eeuwen Waterbouwkunde en Omgaan met Water;

Drs. S.P. v.d. Zee (Bureau Economisch Onderzoek van de Provincie Zeeland), De Deltawerken: Enkele sociaal-economische beschouwingen met betrekking tot Zeeland;

Ir. R.M. Th. Adriaansens, (Provinciale Planologische Dienst voor Zeeland), De Planologie voor Zuidwest-Nederland in beweging.

Bij deze laatste dubbel-aflevering ontvangt u een Register over de nrs. 111-124.

evens kunt u verzamelbanden bestellen; de prijs daarvan bedraagt f 13,90 per exemplaar. U gelieve te bestellen door onderstaande bestelstrook te sturen naar:

Staatsuitgeverij
Antwoordnummer 125
2501 XD 's-Gravenhage

De ondergetekende, naam
adres
postcode en woonplaats

bestelt ... ex. van de opbergband voor DMB 111-117 à f 13,90.

... ex. van de opbergband voor DMB 118-124 à f 13,90.

Betaling geschiedt na levering van de band en ontvangst van een factuur.
Verzendkosten worden in rekening gebracht.

Handtekening:

Inhoud

Milieukundige begeleiding bij de voltooiing
van de Oosterscheldewerken 607

Evaluatie van de hydrometeo-informa-
tie 613

De sluiting van de compartimenterings-
dammen 619

Zandsluitingen, ontwikkelingen in theorie en
ervaring 629

De waterbodem langs de zuidrand van het
Noordelijk Deltabekken 635

Het Zoommeer 642

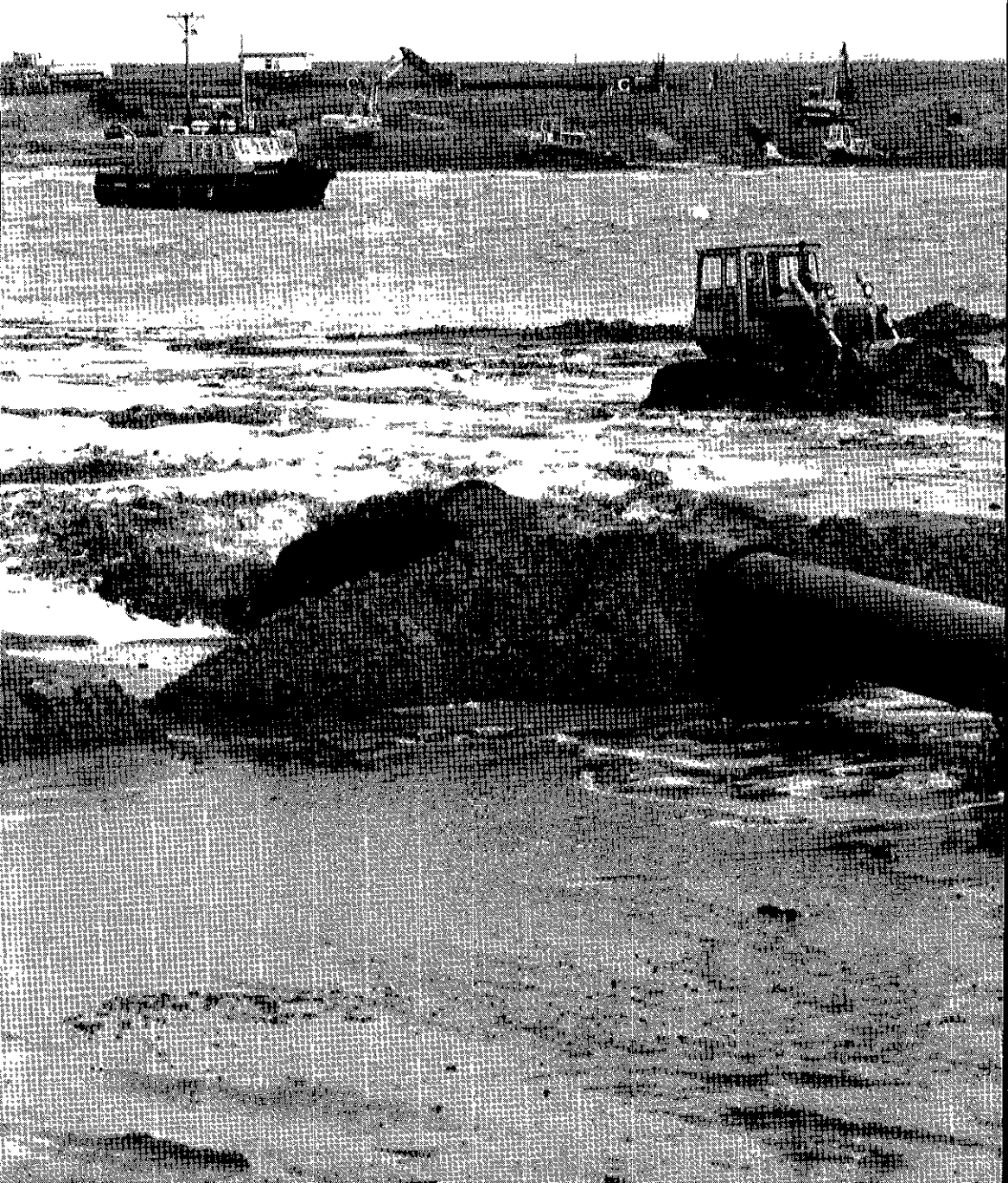
De stand van zaken bij de waterkeringen in
Zeeland 648

Dijkbouw en natuurbehoud 651

Dijkverhoging in het Balgzandgebied 656

Samenvattingen/Summaries 663

Vorderingen 667



Milieukundige begeleiding bij de voltooiing van de Oosterscheldewerken

De vorm waarin de Oosterscheldewerken uiteindelijk zijn gerealiseerd is in belangrijke mate bepaald door de doelstelling om het natuurlijke milieu en de visserij zoveel mogelijk te handhaven, naast het verkrijgen van optimale veiligheid. Het spreekt vanzelf dat dan ook gedurende de uitvoering van de werken zelf negatieve gevolgen voor milieu en visserij dienden te worden voorkomen of geminimaliseerd. Met name de voltooiing van de werken is hiertoe milieukundig begeleid.

Belangrijk voor milieu en visserij was dat de getijbeweging zo weinig mogelijk en zo kort mogelijk zou worden gereduceerd. In 1984, voordat het getij merkbaar door de werken werd beïnvloed, bedroeg het getijverschil te Yerseke gemiddeld 3,70 m. Als randvoorwaarde voor het ontwerp van de werken gold dat de kans zeer klein moest zijn dat dit gemiddelde getijverschil na de voltooiing ervan lager zou worden dan 2,70 m. Om hieraan te voldoen is de stormvloedkering zo ontworpen dat de profielvernauwing van de Oosterscheldemond het getijverschil zou doen afnemen tot gemiddeld 2,70 m. De verkleining van het bekken door de aanleg van de Oosterschelde en de Philipsdam compenseert deze reductie gedeeltelijk, zodat uiteindelijk een gemiddeld getijverschil werd voorspeld van ruim 3,0 m te Yerseke.

Door de fasering van de Oosterscheldewerken en de inzet van de stormvloedkering zelf voor de sluiting van de compartimenteringsdammen werd het getij in de laatste fase van de werken tijdelijk sterker gereduceerd dan in de eindsituatie. Deze fase begon in juni 1985 met het plaatsen van de dorpelbalken in de stormvloedkering, en duurde tot mei 1987, de sluiting van de Philipsdam.

Via twee wegen is er achtereenvolgens naar gestreefd om de nadelige gevolgen van deze extra getijdreducties voor milieu en visserij te minimaliseren. Bij de voorbereiding van de getijbeïnvloedende werkzaamheden zijn de consequenties van fasering en uitvoeringswijze voor milieu en visserij gelijktijdig meegewogen met technische, financiële en planningsaspecten. En tijdens de uitvoering werden in het bekken op uitgebreide schaal waarnemingen gedaan, zodat de werkzaamheden bij onver-

wachte en ongewenste ontwikkelingen konden worden aangepast

De belangrijkste negatieve effecten die van te sterke of langdurige getijreducties op milieu en visserij verwacht kunnen worden, zijn allereerst een verlaging van het zoutgehalte en het optreden van zoutstratificatie, met als verdere negatieve gevolgen plaatselijke zuurstofuitputting, waardoor sterfte van organismen optreedt en op langere termijn een vermindering van de soortenrijkdom. In de hogere getijdenezones kunnen organismen sterven door verdroging. Verder zou sterfte van vogels kunnen optreden door verminderd voedselaanbod en verkleining van het fourageeropervlak. Te verwachten zijn onomkeerbare veranderingen van de bodemstructuur op de schorren, vanwege verdroging en inklinking. Ook dreigt er erosie van schor- en plaatranden bij storm, tijdens perioden met een vaste waterstand. En dan hebben we het nog niet eens gehad over kwaliteitsverlies en sterfte op visserijpercelen door slibafzetting, zuurstoftekorten of te lage zoutgehalten, en over beperkingen in de bedrijfsvoering voor de visserij vanwege de beperkte bereikbaarheid van havens en percelen.

Bij de voorbereiding van de werkzaamheden is de kans op het optreden en de mogelijke omvang van deze effecten zorgvuldig onderzocht. Gelukkig kon worden teruggegrepen op de resultaten van ecologisch onderzoek dat al een tiental jaren geleden was begonnen ter begeleiding van ontwerp en uitvoering van de werken. Aan de andere kant kon worden aangesloten bij het reeds uitgevoerde onderzoek naar de gevolgen van het gebruik van de stormvloedkering in de eindsituatie.

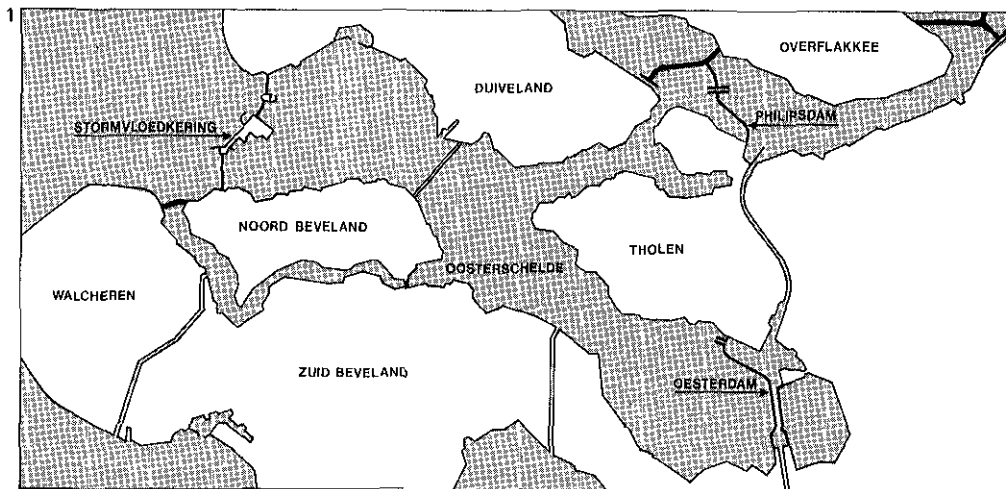
Naar enkele effecten, specifiek voor de

omstandigheden tijdens de voltooiing van de werken, werden gerichte onderzoeken uitgevoerd. Zo is de sterftekans van bodemdieren onderzocht bij verminderde overspoeling van de hogere zones van het intergetijdgebied, als functie van het seizoen. Ook is er onderzoek verricht naar het getijverschil waarbeneden en de tijdsduur waarbinnen zich zoutstratificatie van aanmerkelijke omvang zou kunnen ontwikkelen, en naar de invloed van sterk verlaagde stroomsnelheden op organismen die leven op harde substraten. Vrijwel alle potentiële effecten bleken afhankelijk te zijn van het seizoen waarin de werkzaamheden zouden plaatsvinden, en van de actuele meteorologische of hydrologische omstandigheden.

Randvoorwaarden

Bij de definitieve vaststelling van uitvoeringsmethodieken en scenario's van de werkzaamheden moest gewerkt worden binnen een aantal randvoorwaarden. Die kwamen enerzijds voort uit een aantal reeds genomen beslissingen betreffende fasering en uitvoeringswijze, en anderzijds uit de eis de schadelijke effecten voor milieu en visserij zoveel mogelijk te beperken.

Medio 1984 was het verloop van de voltooiing in hoofdlijnen vastgelegd door de volgende beslissingen en feiten. De stormvloedkering zou operationeel zijn op 1 oktober 1986. De feitelijke profielvernauwing van de Oosterschelde mond zou geleidelijk gerealiseerd worden tussen juli 1985 en mei 1986, en wel door het plaatsen van de dorpelbalken. Voor afbouwwerkzaamheden zou tussen november 1985 en oktober 1986 min of meer permanent





Eerder uitgezette mosselen worden opgevisst om in het laboratorium het percentage dode dieren vast te stellen, en de conditie te meten van de levende

Fig. 1. Overzicht van het Oosterscheldebekken met stormvloedkering en compartimenteringsdammen

een aantal schuiven in de stormvloedkering gesloten zijn. De stormvloedkering zou bovendien worden ingezet om de stroomsnelheden te reduceren tijdens de eindfase van de sluitingen van het Tholense Gat en het Krammer. Uit hydraulische overwegingen – er zouden te hoge stroomsnelheden komen op de Schelde/Rijn-verbinding – kon de Philipsdam niet vóór de Oesterdam worden gesloten. Om financiële redenen mochten de sluitingen van Philipsdam en Oesterdam niet in hetzelfde jaar plaatsvinden.

Op grond van reeds beschikbare en uit aanvullende onderzoeken verkregen ecologische kennis konden ook een aantal randvoorwaarden worden geformuleerd ter voorkoming van schade voor milieu en visserij. Het gemiddelde getijverschil te Yerseke mocht de 2,30 m niet onderschrijden; dit betekende dat maximaal 4200 m² van de opening van de stormvloedkering gesloten mocht worden, behalve gedurende zeer korte tijd tijdens de eindfasen van de sluitingen van de compartimenteringsdammen: de stormvloedkering zou dan niet langer dan twee dagen geheel gesloten mogen zijn. In de kom van de Oosterschelde en de Krabbenkreek mocht het zoutgehalte niet lager zijn dan 13,5 resp. 12,5 kg/m³, en de verschillen in zoutgehalte in de verticaal mochten per 5 m diepte niet groter zijn dan 1 kg/m³.

In 1984 en 1985 werden de planning en de uitvoeringswijze van de werkzaamheden nader uitgewerkt. Zo vond intensief overleg plaats tussen waterbouwkundigen en ecologen over het tijdstip van sluiting van de compartimenteringsdammen en de wijze van inzet van de stormvloedkering.

In verband met de kans op slechte weersomstandigheden en stormen werd een sluiting in het winterseizoen uitvoeringstechnisch ongewenst geacht. Maar bij een sluiting in het zomerseizoen waren de risico's voor milieu en visserij juist het grootst! De hogere water- en luchttemperatuur, de grotere kans op perioden met weinig wind en het volop in gang zijnde groeiseizoen veroorzaken dan een veel gotere kans op stratificatie, zuurstoftekort, kwaliteitsverlies van mosselen en verdroging van organismen. In deze voor de visserij drukke periode zouden de activiteiten gehinderd kunnen worden door beperkte bereikbaarheid van de percelen als gevolg van de getijreductie. Sluitingen in voor- of najaar bleken acceptabel, zowel voor de uitvoering als voor milieu- en visserijbelangen.

Voor de inzet van de stormvloedkering werden scenario's ontworpen die uitsloten dat er blijvende schade aan het milieu zou ontstaan

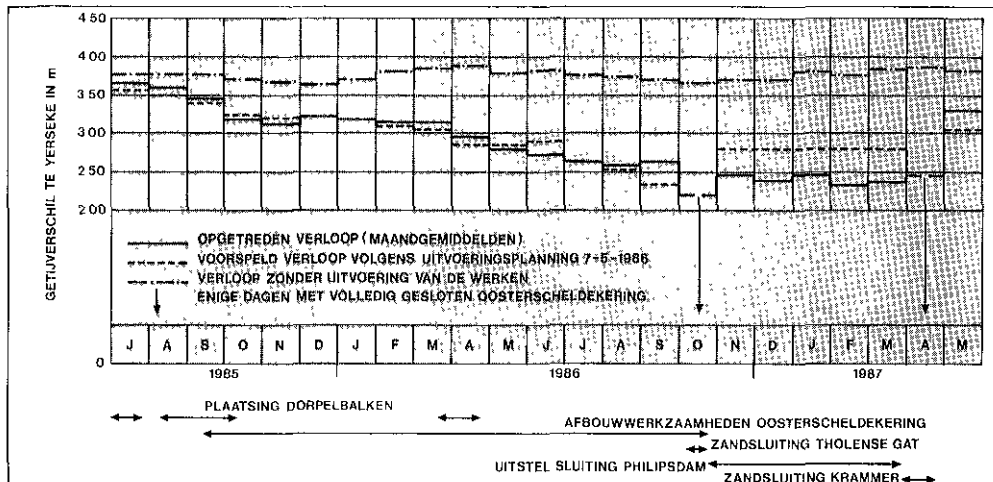


Fig 2. Verloop van het over de maand gemiddelde getijverschil te Yerseke, 1985-1987

en meer dan minimale overlast voor de visserij. Ook werden maatregelen ontworpen om de zoetwaterbelasting op het bekken vóór de sluitingen zo ver te reduceren dat de risico's van verzoeting en stratificatie werden geminimaliseerd.

Met name de meest ingrijpende sluiting, die van het Krammer in april 1987, vergde een zorgvuldige afweging ten aanzien van het tijdstip, omdat ook tussen milieu- en visserij-aspecten onderling strijdige belangen bestonden. Een sluiting te vroeg in het voorjaar zou aanzienlijke bedrijfshinder voor de visserij opleveren, terwijl bij sluiting laat in het voorjaar de kans aanzienlijk groter werd dat hij zou samenvallen met de voortplantingsperiode van ook commercieel belangrijke schelpdieren. Tijdens de voortplantingsperiode, die begint bij een bepaalde watertemperatuur, zijn die organismen heel gevoelig voor verstoringen in de omstandigheden.

Een soortgelijke tegenstrijdigheid speelde ook een rol bij de wijze van beïnvloeding van het getij tijdens de sluitingen. Er was enige vrijheid om gedurende de getijreducties een relatief lage of relatief hoge gemiddelde waterstand op het bekken in te stellen. Een hoge middenstand verkleint de kans op verdroging in de hogere zones, maar maakt tegelijk de lagere, meer voedselrijke fourageergebieden voor vogels minder bereikbaar. Bij een lage middenstand is het omgekeerde het geval.

Milieukundige begeleiding

Ondanks het uitgebreide vooronderzoek en de zorgvuldige afweging konden blijvend schadelijke effecten tevoren niet met volledige

zekerheid worden uitgesloten. Combinaties van extreem ongunstige weersomstandigheden en aanzienlijke tegenvallers bij de uitvoering van de werkzaamheden zouden zich kunnen voordoen, waardoor onder de actuele omstandigheden nieuwe afwegingen zouden moeten plaatsvinden. Om bij de dan te nemen beslissingen over voldoende informatie te beschikken werden de ontwikkelingen in het bekken ten aanzien van milieu en visserij ook in de uitvoeringsfase nauwkeurig gevolgd. Gedurende de gehele overgangsfase van oorspronkelijke naar nieuwe getijsituatie werden waarnemingen uitgevoerd van een groot aantal parameters. Deze waarnemingen hadden in eerste instantie een signaalfunctie. Wanneer, na vergelijking van actuele waarnemingen met gegevens uit de oorspronkelijke situatie, afwijkingen werden geconstateerd

Fig 3. Hoogwatertellingen van vogels in de Oosterschelde, 1985-1987

groter dan de natuurlijke fluctuaties, werd een nader onderzoek ingesteld.

De waarnemingen betroffen de waterstanden, stroomsnelheden, zoutgehaltes en andere waterkwaliteitsparameters, de watertemperatuur, de aanslibbing, de zuurstofgehaltes, conditie en kwaliteit van mosselen op visserijpercelen, droogstandseffecten op bodemdieren en op organismen en levensgemeenschappen op dijkglooiingen, aantallen en gedrag van vogels en de eventuele erosie van schor- en plaatranden.

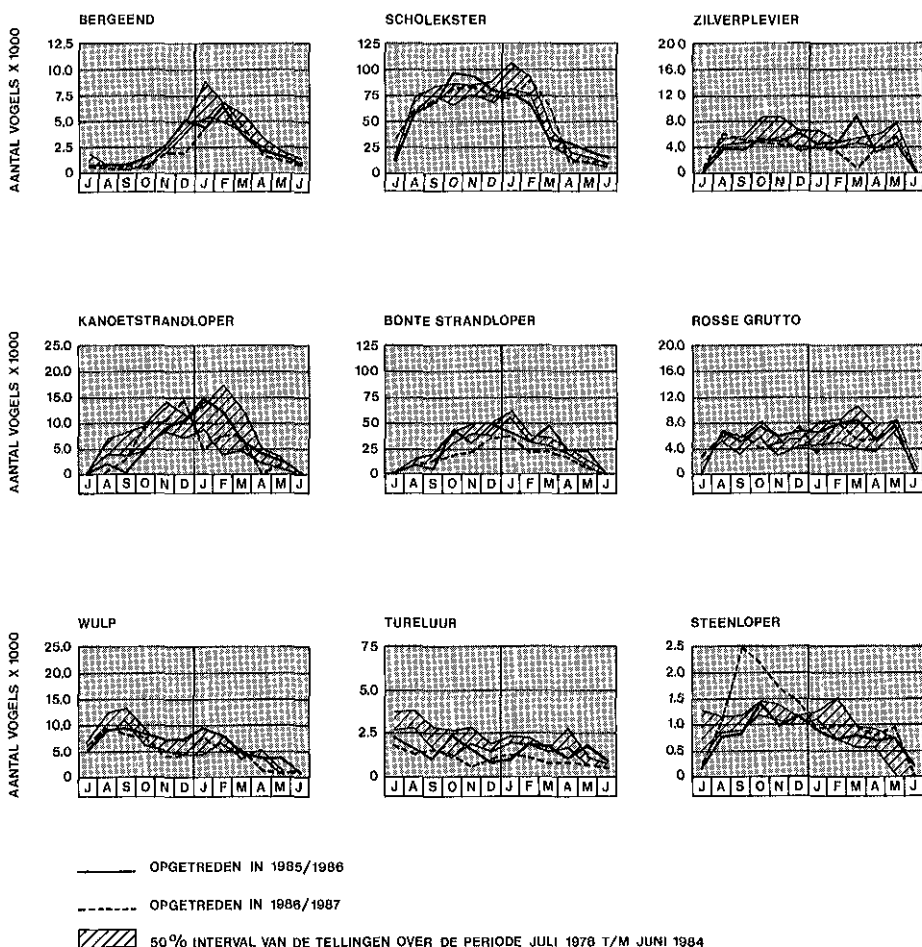
De frequentie en de intensiteit van de waarnemingen werden opgevoerd in perioden waarin het getij sterk terugliep. Zo werden vrijwel doorlopend waarnemingen uitgevoerd tijdens de sluitingen van de compartimenteringsdammen.

De ingewonnen informatie werd onmiddellijk

verwerkt en geïnterpreteerd, en vormde mede de basis voor beslissingen tijdens deze operaties.

In verscheidene situaties bleek het op grond van de waargenomen ontwikkelingen in het bekken nodig de wijze van inzet van de stormvloedkering bij te sturen. Zo bleek al tijdens de eerste gedeeltelijke sluiting van de stormvloedkering, dat in de hoofdgeul Hammen vrij snel slibafzetting optrad op mosselpercelen. Gedurende de volgende uitvoeringswerkzaamheden werden noodzakelijke getijreducties waar mogelijk gerealiseerd door de schuiven in de Schaar en de Roompot iets verder te sluiten en die in de Hammen open te laten.

Tijdens de sluiting van het Tholense Gat in oktober 1986 trad een zware storm op, waardoor bij een reeds sterk gereduceerd





De bodem van de Oosterschelde vormt een goede vestigingsplaats voor vele plante- en diersoorten

getij vertraging in de uitvoering ontstond. Geconstateerd werd dat onder die zeer slechte en koude weeromstandigheden, bij een reeds sterk verkleind fourageergebied, de vogels niet meer fourageerden. In zo'n situatie kan snel aanzienlijke sterfte optreden. Voorafgaand aan de laatste fase van de sluiting met volledig gesloten stormvloedkering werd de waterstand op het Oosterscheldebekken verlaagd, door – in afwijking van het bestek – de schuiven van de kering tijdens de laagwaterfase tijdelijk extra te openen. Hierdoor kwamen de meer voedselrijke, lager gelegen fourageergebieden voor de vogels beschikbaar, waarvan intensief gebruik werd gemaakt.

In de winter van 1986 op 1987 moest het getij bij gesloten Oosterdam en nog niet gesloten Philipsdam met behulp van de stormvloedkering in beperkte mate worden gereduceerd. Dit om te hoge stroomsnelheden op de Eendracht te voorkomen. Hierdoor werd het fourageergebied voor de zeer grote aantallen vogels die in het gebied overwinteren en op krachten komen om in het voorjaar naar het noorden van Europa te trekken, geruime tijd verkleind. In januari 1987 trad een weliswaar korte, maar voor Nederland zeer strenge vorstperiode in. Gedurende deze periode werd fourageren voor de vogels door bevrozing van water en bodem vrijwel onmogelijk, waardoor 3000 à 4000 vogels – 1 à 2% van het aanwezige aantal – stierven. Onmiddellijk na afloop van de vorstperiode werd met behulp van de stormvloedkering de gemiddelde waterstand verlaagd, en de laagwaterstanden zo laag mogelijk gemaakt. Hierdoor waren de voedselrijke fourageergebieden extra lang bereikbaar

Tijdens de sluiting van het Krammer werd in eerste instantie het dubbeldaagse getij gereduceerd tot een enkeldaags; daarna werden achtereenvolgens de laagwaterfasen en de laag- en hoogwaterfasen geëlimineerd door de stormvloedkering geheel te sluiten. Deze volgorde, die het resultaat was van de tevoren gemaakte afweging tussen verdroging en sterfte in de hogere getijdezone enerzijds, en beperking van het fourageerareaal voor vogels anderzijds, bleek onder de optredende weersomstandigheden de juiste. Anders dan tijdens de sluiting van de Oosterdam waren de omstandigheden voor de vogels gunstig; de kans echter op verdroging en sterfte in de hogere getijzone en op het ontstaan van stratificatie nam toe. Dankzij het uiteindelijk gerealiseerde waterstandsverloop en de beperkte periode met sterk gereduceerd getij zijn er echter geen blijvende schadelijke effecten opgetreden. De gestelde normen voor het chloridegehalte zijn nergens overschreden; de stratificatienormen wel, maar dit heeft niet geleid tot zuurstofloosheid. De verdroging en sterfte op het niveau van N.A.P. + 0,75 tot + 1,00 m is marginaal gebleken ten opzichte van die tengevolge van de langdurige extra getijreductie sedert april 1986. Waargenomen is dat de getijreductie juist beëindigd kon worden voordat de voortplantingsperiode van veel bodemdieren op gang begon te komen. Omdat het seizoen voor de mosselhandel vrijwel was afgelopen, heeft de visserij geen noemenswaardige hinder ondervonden bij de bedrijfsvoering.

Gedurende de overgang van de oude naar de nieuwe getijsituatie bij de voltooiing van de Oosterscheldewerken zijn geen omvangrijke blijvend nadelige gevolgen voor milieu en visserij opgetreden vanwege de uitvoering van de werken. Dit ondanks het gebruik van de stormvloedkering voor de werken zelf, waardoor bepaalde werkzaamheden technisch uitvoerbaar werden en besparingen opleverden in tijd en geld. De risico's voor milieu en visserij konden tot een verantwoorde omvang worden beperkt, dankzij de beschikbare ecologische kennis van het systeem en een effectieve milieukundige begeleiding van de werkzaamheden.

Getij, golven, stroom, wind en zicht hebben een belangrijke rol gespeeld bij de totstandkoming van de Oosterscheldewerken. Allereerst in de ontwerpfase, waarin de omstandigheden moesten worden gedefinieerd waartegen de constructie bestand moet zijn. Vervolgens in de fase van werkvoorbereiding, toen de planningen werden opgesteld en de dagelijkse getijbeweging, veroorzaakt door zon en maan, het ritme der werkzaamheden dicteerden. Tenslotte in de fase van de uitvoering, waarin de weersinvloeden en daaruit voortvloeiende werk-omstandigheden op het water het wel of niet doorgaan van geplande werkzaamheden bepaalden.

Evaluatie van de hydrometeo-informatie

In de toekomst blijft het net zo. Ook bij onderhoud en gebruik van de stormvloedkering spelen de werkomstandigheden een bepalende rol. De manipulaties met de schuiven moeten zo worden uitgevoerd dat de getijbeweging op de Oosterschelde zo weinig mogelijk wordt beperkt; bij stormomstandigheden moet de hoge vloed buiten de Oosterschelde worden gehouden om het gevaar van overstromingen te voorkomen. Meteorologische en waterloopkundige informatie, zowel actueel als in de vorm van verwachtingen, is in al deze genoemde fasen noodzakelijk.

Om hierin te kunnen voorzien werd een uitgebreid meet- en voorspelsysteem opgezet, dat onder de naam Hydro-Meteo-Centrum Zierikzee sinds 1980 de noodzakelijke informatie verschaft (tabel 1). Het centrum

leverde op verzoek lange en middellange stroom- en waterstandsvorspellingen; daarnaast gaf het dagelijks om 9.00 uur, 15.00 uur en 21.00 uur bulletins uit met hydrometeo-verwachtingen op korte termijn, die elke drie uur konden worden bijgesteld. Op verzoek werden ook korte-termijnverwachtingen verstrekt in de nachtelijke uren, wanneer er bijvoorbeeld kritieke operaties gepland dan wel aan de gang waren. Een tijdlang heeft de UPS-berichtenkamer gefungeerd als vooruitgeschoven post van het Hydro-Meteo-Centrum, zorgend voor de afstemming van de door het Centrum te leveren produkten op de wensen van de gebruikers. Helemaal vooraan op het hydro-meteorologische front werkte tijdens kritieke operaties een stroommeetcoördinator aan

Tabel 1. Overzicht van de voorspellingen

terminologie	bron	tijdsduur tussen voorspelling en optreden	gebruik
lange-termijnvoorspellingen	astronomisch (onderzoeksteam)	6 maanden	ontwerp
middellange-termijnvoorspellingen	astronomisch (HMC)	2-6 weken	planning
korte-termijnvoorspellingen	astronomisch + meteo (HMC)	24 uur	uitvoering
ultrakorte-termijnvoorspellingen	bijstelling op basis van actuele gegevens (stroom-meetcoördinator)	2-6 uur	uitvoering



boord van de bijzondere werkvaartuigen, om de kwaliteit van de begeleidende metingen te kunnen bewaken en zeer actuele verwachtingen te kunnen opstellen aan de hand van de laatste metingen.

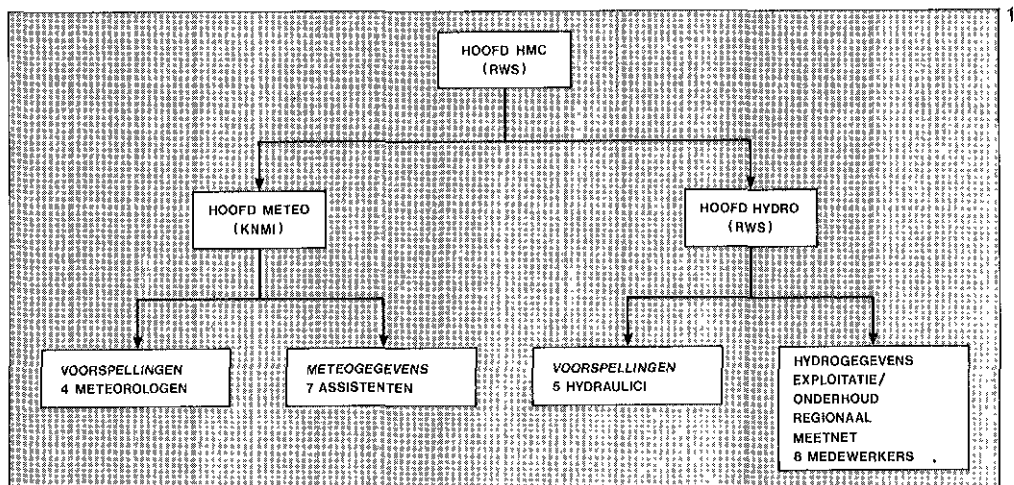
De noodzaak van een goede hydrometeo-begeleiding werd reeds in een zeer vroeg stadium van de uitvoering van de Deltawerken ingezien. In 1960 werd er op verzoek en op kosten van de Rijkswaterstaat een dependance van het K.N.M.I. in Zierikzee gevestigd. Aanvankelijk leverde het K.N.M.I. alleen weersvoorspellingen, en zorgde de Rijkswaterstaat voor begeleidend waterloopkundig onderzoek. Pas nadat de Rijkswaterstaat, onder andere dankzij de introductie van computers, voorspellingen kon opstellen voor de komende 24 uur op het gebied van de waterloopkunde, ontstond een operationeel samenwerkingsverband tussen het K.N.M.I. en de Rijkswaterstaat.

Vanaf die tijd worden gecombineerde hydro-meteo-verwachtingen opgesteld. Tegelijkertijd werd door de Deltadienst een meetnet opgezet waarmee alle voor het opstellen van

de voorspellingen benodigde gegevens sindsdien worden ingewonnen. De wijze waarop voorspellingen worden opgesteld en hoe die werden gebruikt bij de werkzaamheden in de Oosterschelde, werd reeds beschreven in een aantal voorafgaande artikelen (zie Bericht 90, november 1979; 93, augustus 1980; 103, februari 1983; 110, november 1984 en 112, mei 1985).

Elk bedrijf: het leggen van matten, de plaatsing van pijlers, de aanstorting van de drempel en de montage van de laatste betonnen en stalen elementen, stelde zijn specifieke eisen ten aanzien van de verlangde soort van hydrometeo-voorspellingen en vroeg ze voor verschillende locaties. Om die reden is geen exact oordeel te geven omtrent de kwaliteit van de geleverde informatie. Het is bijvoorbeeld gemakkelijker stroomvoorspellingen te leveren in het midden van een stroomgeul dan vlak naast een damaanzet, achter of naast een pas geplaatste pijler of dorpelbalk. Elk bedrijf stelde overigens wel evaluaties op, liefst reeds terwijl het bedrijf nog aan de gang was, zodat rekening kon worden gehouden met berekende en geconstateerde onnauwkeurigheidsmarges. Over het algemeen kan worden gesteld dat de nauwkeurigheid van de voorspellingen aan de verwachtingen heeft beantwoord. Er hebben zich als gevolg van hydrometeo-omstandigheden geen calamiteiten voorgedaan. Hoofdzakelijk omdat men tijdig op de hoogte was gesteld van eventueel naderend onheil. Het geluk heeft daarbij ook nog een kleine deuk in het zakje gedaan: een enkele zeer plotseling opkomende storm werd door de voorspellers gemist, maar desondanks ging er niets mis. Het bekendste voorbeeld is de storm van Hemelvaartsdag 1983 met windkracht 12. Net

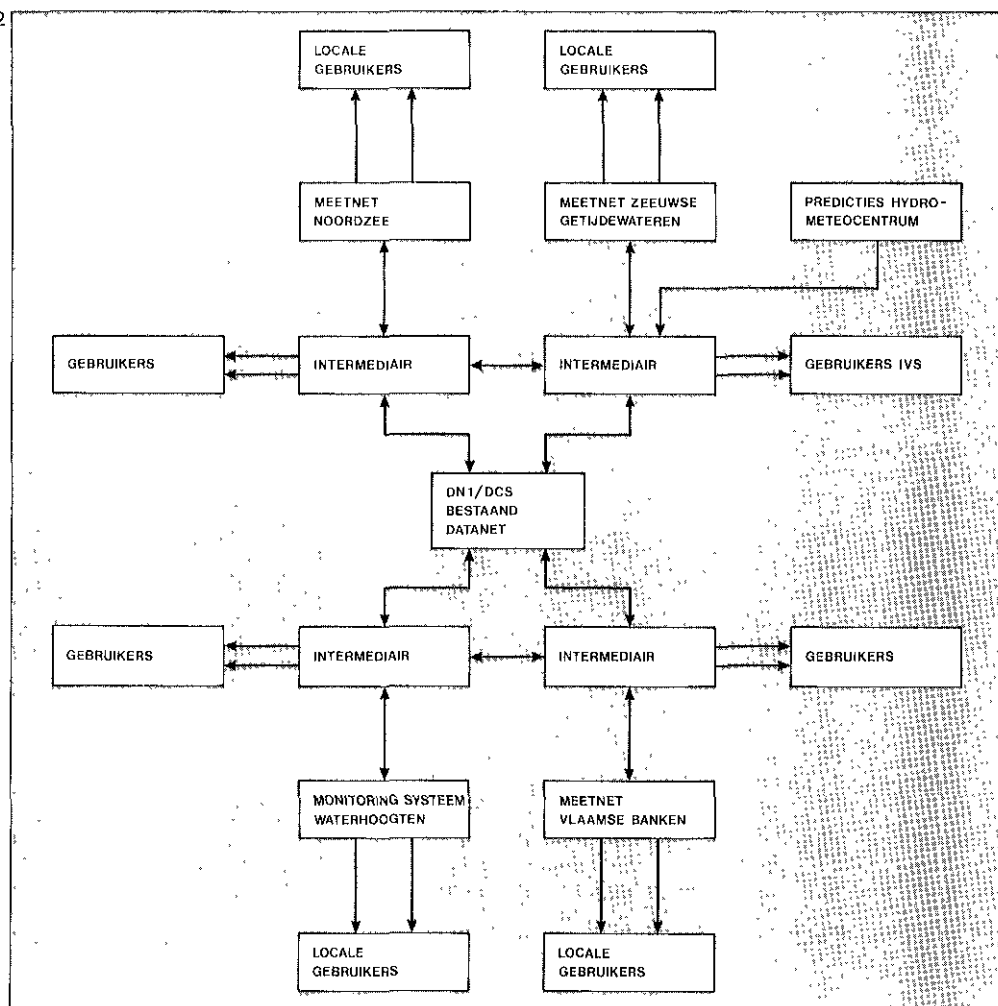
Fig. 1. Organisatie van het Hydro-Meteo-Centrum te Zierikzee



voor het uitbreken van de storm had de 'Cardium' nog een ondermat afgezonken. Terugblikkend op 7 jaar hydrometeo-begeleiding kan allereerst worden geconcludeerd dat de beslissing om een dependance van het K.N.M.I. in Zierikzee te vestigen, juist is geweest. Alleen op die manier konden de uitvoerders beschikken over voldoende specialistische en gedetailleerde informatie omtrent de werkomstandigheden. De operationele samenwerking op de werkvloer is gebleken een noodzakelijke voorwaarde te zijn voor het opstellen van kwalitatief goede hydrometeo-voorspellingen.

Aan de relatie met de gebruikers van hydrometeo-voorspellingen en -gegevens is aanvankelijk onvoldoende aandacht besteed. De situatie verbeterde sterk toen men begon regelmatig overleg te voeren met de verschil-

Fig. 2 Koppeling van meetnetten





lende bedrijven. Het wederzijds inzicht in elkaars problematiek werd daardoor vergroot, hetgeen leidde tot informatieverstrekking die beter was afgestemd op de wensen van de gebruikers. De vestiging te Zierikzee van het Hydro-Meteo-Centrum deed geen goed aan dit proces. Huisvesting van de U.P.S. op het werkeiland, als vooruitgeschoven post van het Hydro-Meteo-Centrum, heeft een zeer positieve bijdrage geleverd aan de verbetering van de relatie tussen de opstellers en gebruikers.

Het is absoluut noodzakelijk gebleken de parameters waarvoor voorspellingen worden opgesteld, te meten. De praktijk op het gebied van de waterloopkunde wijkt in deze niet af van die van de meteorologie, waar dit eveneens plaatsvindt. Alleen met voldoende waarnemingen en metingen kan de kwaliteit van de

voorspellingen worden bewaakt, geëvalueerd en zonodig verbeterd. Van belang is dat voldoende aandacht wordt besteed aan de kwaliteitsbewaking van het inwinproces. Volcontinue bezetting van het inwin- en verwerkingscentrum met gekwalificeerde medewerkers die de gegevensstromen controleerden en corrigeerden is gebleken daarvoor de juiste aanpak te zijn.

De ervaring met het opstellen van hydrometeo-voorspellingen in de operationele sfeer is bij de Rijkswaterstaat niet erg groot, veel geringer dan bij het K.N.M.I. Dit heeft ertoe geleid dat de tijd die nodig was om een voorspeltechniek te operationaliseren, aanvankelijk sterk werd onderschat. Gebleken is dat een voorspeltechniek na oplevering door de onderzoekers pas na een periode van een half jaar tot een jaar voldoende betrouw-

baar is om operationeel te kunnen worden ingezet. Dat komt door de veel strengere eisen die dan worden gesteld aan de continuïteit en de beschikbaarheid ervan.

Het Hydro-Meteo-Centrum te Zierikzee is oorspronkelijk opgezet voor de begeleiding van de Deltawerken. Naarmate de tijd vortschreed kwamen daar taken bij gericht op de regio, met name op de scheepvaart op de Westerschelde en de Noordzee, en in de Euro/Maasgeul en de IJmond. De behoefte aan hydrometeo-informatie neemt toe met de diepgang van schepen en de gevaarlijkheid van transporten, en bij bijzondere operaties ten dienste van integraal waterbeheer en dergelijke, zowel uit een oogpunt van veiligheid als van economie. Het Hydro-Meteo-Centrum Zierikzee is daardoor geleidelijk uitgegroeid tot het specialistische centrum op dit gebied voor de Noordzee en de Nederlandse kustwateren.

Na de beëindiging van de Deltawerken zou het Centrum moeten worden opgeheven. Alle niet op de begeleiding van de werken gerichte taken dreigden daardoor tussen wal en schip te geraken.

Dit feit en de noodzaak van operationele hydrometeo-informatie heeft er toe geleid dat Rijkswaterstaat, D.G.S.M. en K.N.M.I. gezamenlijk zijn gaan werken aan een herstructurering van de hydrometeo-informatievoorziening. Het streven is gericht op een efficiënte en effectieve organisatie, die blijvend in kan spelen op de informatiebehoefte vanuit de maatschappij in zowel kwantitatieve als kwalitatieve zin.

Na een uitvoerig vooronderzoek naar de behoefte aan informatie, na analyse van het productieproces van hydrometeo-voorspellingen, en onderzoek naar verschillende organisatie-alternatieven en vestigingsplaatsen, is gekozen voor de volgende opzet. Bij het K.N.M.I. in De Bilt worden de landelijke hydrometeo-taken verricht. Dit landelijke centrum stelt globale verwachtingen op, die worden toegeleverd aan twee regionale hydrometeo-centra in Hoek van Holland en 'Middelburg. De regionale centra bewaken de globale verwachtingen en zetten ze om in regionale gebruikersadviezen. Tevens onderhouden zij het contact met de gebruikers. In vergelijking met de huidige organisatie betekent de nieuwe opzet voor de gebruikers een grotere herkenbaarheid en éénduidige berichtgeving, en voor de centra zelf een éénduidige verantwoordelijkheid, en grotere betrokkenheid. De continuïteit in de hydrometeo-informatievoorziening wordt hiermee gegarandeerd.

De totale hoeveelheid betrokken personeel zal niet worden uitgebreid, wel zullen er reallocaties moeten plaatsvinden.

De regionale centra zijn voor het verkrijgen van de benodigde waterloopkundige gegevens aangesloten op een meetnet, het centrum in Hoek van Holland op het meetnet Noordzee en het centrum in Middelburg op het meetnet Zeeuwse Getijdewateren. Dit laatste meetnet is de gemodificeerde voortzetting van het HISTOS-meetnet dat werd opgezet voor de Deltawerken.

Overigens is het meetnet niet alleen daarvoor opgezet, maar ook voor het inwinnen van informatie voor het uitvoeren van beheerstaken, en voor onderzoek. De behoefte aan meetgegevens beperkt zich niet tot de regio. Zo heeft het regionale hydrometeo-centrum Zeeland behoefte aan meetgegevens op de Noordzee voor deiningsvoorspellingen, en aan waterhoogten langs de Belgische kust ten behoeve van de waterstandsvoorspellingen. Om in deze behoefte te kunnen voorzien zijn geen eigen meetpunten opgezet, maar is gezocht naar samenwerkingsvormen met andere meetnetten. Uiteindelijk heeft dit ertoe geleid dat er afspraken zijn gemaakt over de koppeling van een aantal meetnetten, en wel het landelijk monitoringsysteem waterhoogten dat wordt beheerd door de Dienst Getijdewateren, het meetnet Noordzee, met een aantal meetstations op platforms op de Noordzee, beheerd door de directie Noordzee, en het meetnet Zeeuwse Getijdewateren, met een veertigtal meetlocaties in Zuidwest-Nederland, dat wordt beheerd door de directie Zeeland. Er zijn ook contacten gelegd met de Dienst der Kust te Oostende, en in principe is afgesproken ook het door die dienst beheerde meetnet Vlaamse Banken bij de koppeling te betrekken.

In fig. 2 is schematisch weergegeven hoe de koppeling er uit gaat zien. Via een intermediair worden de meetnetten op een ringleidingsstelsel aangesloten, waarbij gebruik wordt gemaakt van het bestaande en gekoppelde Belgisch/Nederlandse datanet. Gebruikers die op het intermediair worden aangesloten, kunnen alle gegevens die in de verschillende meetnetten beschikbaar zijn opvragen. Het ligt in de bedoeling om in de toekomst ook gegevens over hydrometeo-voorspellingen in het geheel op te nemen.

Met de in het voorgaande beschreven samenwerking wordt beoogd de voorspellingen en de metingen landelijk te stroomlijnen, met als uiteindelijk doel een efficiënte inzet van de beschikbare middelen en een klantgerichte benadering.

Na jaren van intensieve studie en optimalisering van de ontwerpen zijn de Oesterdam en de Philipsdam in het afgelopen jaar gesloten. Deze twee sluitingen kunnen enerzijds traditioneel genoemd worden, omdat ze uitgevoerd zijn met zand, en er alleen gangbaar materieel werd ingezet. Aan de andere kant verdienen ze uniek te worden genoemd, omdat dit soort grote stroomgeulen nog nooit eerder met zand gesloten was.

De sluiting van de compartimenteringsdammen

Het doorstroomoppervlak van het Tholense Gat en het Krammer bedroeg oorspronkelijk 4700 respectievelijk 10 500 m². De zandproductie voor deze sluitingen was ongekend hoog; daarnaast werden de hydraulische randvoorwaarden beïnvloed met behulp van de stormvloedkering.

In Bericht 111 (februari 1985) is uitgebreid aandacht besteed aan de ontwerpen die eind 1983 gemaakt waren op basis van de toen bekende voorwaarden en mogelijkheden, zowel constructief, milieu-technisch als financieel. In dit Bericht, dat de voorlaatste aflevering is van het Driemaandelijks Bericht Deltawerken, krijgen we nog juist de kans om in te gaan op de verdere uitwerking en optimalisering van het ontwerp, en op de uitvoering van de zandsluitingen.

De zandsluitingen van het Tholense Gat en het Krammer brachten niet alleen risico's met zich voor milieu en visserij; ze gingen ook ver buiten het ervaringsgebied op waterbouwkundig terrein, zoals blijkt uit tabel 1.

Zonder gebruik te maken van de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde zou het onmogelijk geweest zijn deze zandsluitingen uit te voeren.

Oorspronkelijk werd ervan uitgegaan dat de stroomsnelheden in de sluitgaten tot 3 m/s moesten worden beperkt; dit inzicht was gebaseerd op extrapolatie van de ervaringen met andere zandsluitingen. Later werd evenwel besloten de stroomsnelheden niet verder te laten oplopen dan 2 m/s, omdat er te veel onzekerheden bleven bij toepassing van traditionele berekeningmethoden buiten het ervaringsgebied. Bij gemiddelde snelheden van 2 m/s zouden er plaatselijk toch al snelheden optreden die buiten het ervaringsgebied lagen. Ook zou een veilige uitvoering van de sluitingen met drijvend materieel in het sluitgat bij snelheden groter dan 2 m/s niet goed mogelijk zijn. De gevraagde verlaging van de stroomsnelheden kon alleen worden bereikt door de doorstroomopening van de stormvloedkering verder te verkleinen.

De sluiting van de stroomgeulen met zand

Tabel 1. Maximale diepte en snelheid bij een aantal zandsluitingen

Sluitgat	Jaar	maximale diepte (m)	maximale stroomsnelheid (m/s)
Brielse Gat	1966	2	2,5
Noord Pampus	1968	12	1,3
Geul	1972	9	1,5
Meldorf	1978	3	2,5
Tholensche Gat	1986	22	2 (5*)
Krammer	1987	20	2 (5*)

* zonder gebruik van de stormvloedkering

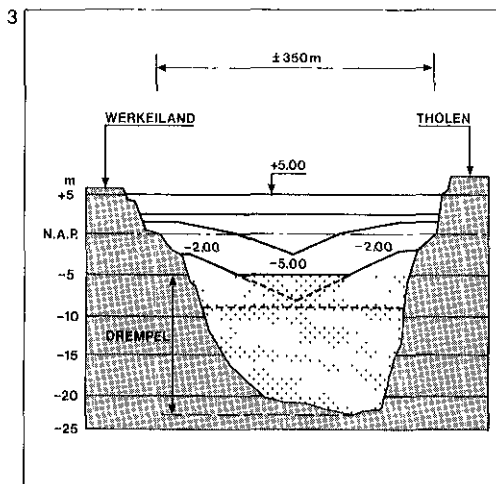
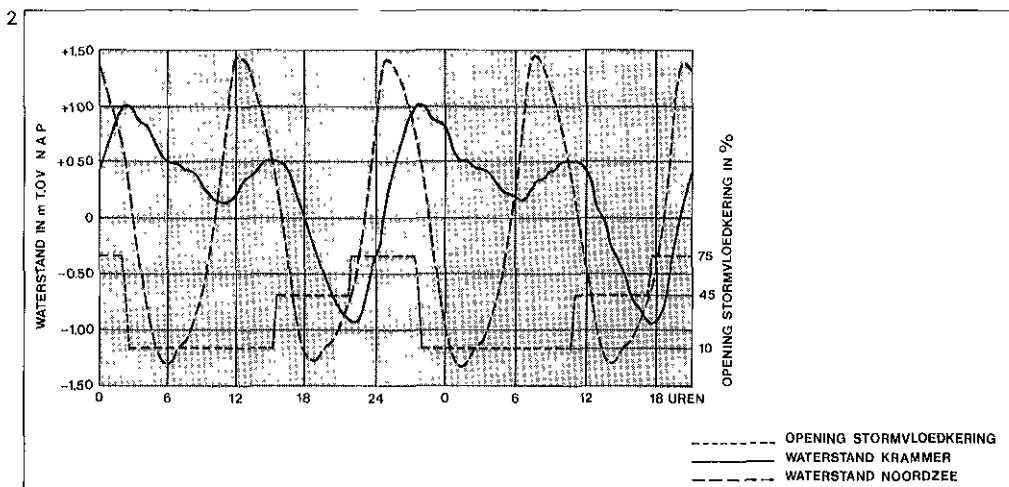
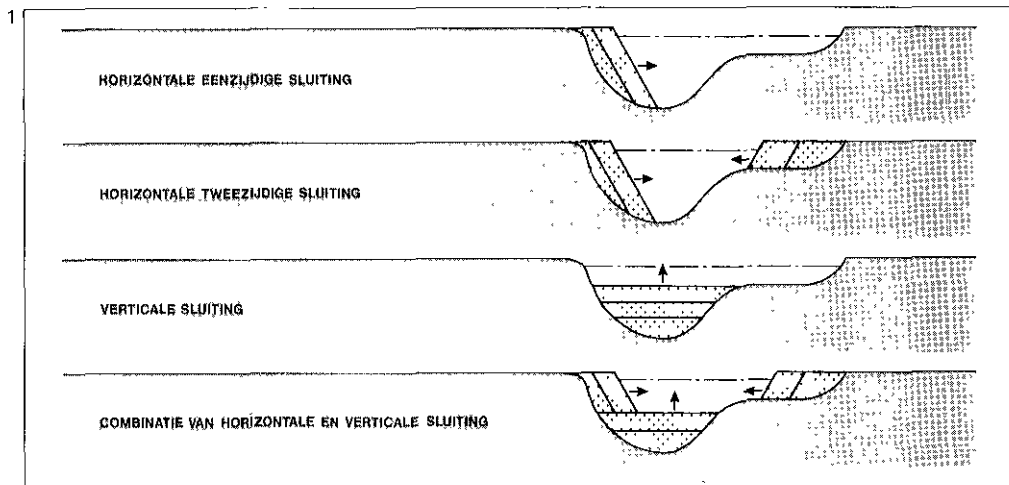


Fig 1. Mogelijke opbouwmethoden voor de zandsluiting van het Tholense Gat en het Krammer

Fig 2. Beïnvloeding van de waterstand op het Krammer met behulp van de stormvloedkering

Fig 3. Opbouw van drempel en dam in het Tholense Gat

Aanleg van perskaden voor de sluiting van het Tholense Gat

was vooral financieel aantrekkelijk. Deze methode leende zich echter maar in beperkte mate voor berekening. Er moest gebruik worden gemaakt van empirische formules, die de fysische verschijnselen slechts grof beschrijven. Het is daarom bezwaarlijk deze formules buiten het ervaringsgebied toe te passen. *Verkleining van de waterdiepte en verlaging van de stroomsnelheden* zou het vertrouwen in de berekeningsresultaten verhogen.

Wat betreft de diepte werden de sluitingen binnen het ervaringsgebied gebracht door te beginnen met de aanleg van een drempel in het sluitgat.

Ontwerp

Voor de sluitingen van zowel het Tholensche Gat als het Krammer zijn de volgende opbouwmethoden overwogen: van de ene zijde een zanddam uitbouwen naar de overkant, 'horizontaal eenzijdig' zoals men dat noemt, dan wel 'horizontaal tweezijdig': van twee kanten naar het midden toe. Het sluitgat kon echter ook gelijkmatig van beneden naar boven worden opgevuld, de methode van de verticale sluiting; tenslotte waren er ook nog combinaties denkbaar van horizontale en verticale sluiting.

Deze alternatieven zijn met elkaar vergeleken, gelet op verschillende aspecten.

Allereerst werd gelet op de eerder opgedane ervaring. Het ligt voor de hand dat men zoveel mogelijk onbekende fenomenen trachtte te ontwijken. Dit pleitte ervoor om eerst een drempel aan te leggen; op die manier werd de onzekerheid die bestond omtrent het gedrag van een mengselstroom op een zeer lang

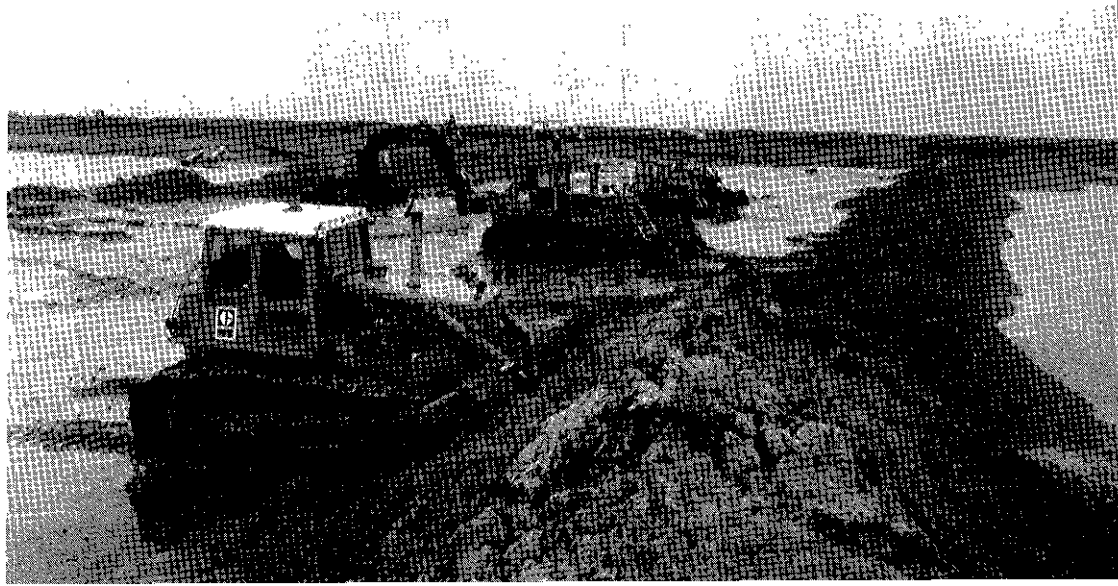
talud bij horizontale uitbouw minder relevant. Ook het gevaar van zettingsvloeiingen nam er door af.

Dan werd de tijdsduur in ogenschouwen genomen. Gebruik van de stormvloedkering reduceert de stroomsnelheden en daarmee de tijdsduur van de sluiting, maar is nadelig voor het milieu. Om de schade aan het milieu zoveel mogelijk te beperken moest de periode van kunstmatige getijreductie door de stormvloedkering zo kort mogelijk duren. Bij vergelijking van de alternatieven op deze punten bleek de aanleg van een drempel voorkeur te verdienen, omdat dan in de begingfase relatief veel zand verwerkt wordt, terwijl het sluitgatoppervlak toch maar weinig kleiner wordt!

Bij beide sluitingen moest steenachtig materiaal achter de hand gehouden worden, voor het geval dat de zandsluiting zou mislukken.

Bij het Krammer zou het om een grote hoeveelheid gaan. Om die in het sluitgat te kunnen verwerken was een bodembescherming nodig, aan te leggen op de zandplaat ten noorden van het werkeiland. In samenhang daarmee besloot men in het Krammer tot een eenzijdige sluiting vanaf noorden.

Voor het Tholense Gat was veel minder steen nodig, zodat een bodembescherming achterwege kon blijven. Daar werd gekozen voor een tweezijdige sluiting, om erosie van de beide kwetsbare oevers te voorkomen. Om de negatieve effecten op het Oosterscheldemilieu door gebruik van de stormvloedkering zo klein mogelijk te houden zijn de perioden van uitvoering en tijdstippen voor de sluitingen met zorg gekozen (Bericht 111, februari 1985). Vergelijking van verschillende milieu-



aspecten heeft geleid tot voorkeur voor het tijdstip van sluiting in het voor- of najaar. Omdat deze perioden ook voor de visserij relatief gunstig waren, is tenslotte gekozen voor sluiting van het Tholense Gat in oktober, en van het Krammer in april.

Ter beperking van de milieuschade werden de volgende eisen gesteld. De verlenging van de getijperiode mag niet verder gaan dan het dubbele van de normale periode, zodat nog minstens eenmaal per dag een hoogwater en een laagwater optreden, en dan bij voorkeur overdag. De kans dat de stormvloedkering langer dan twee dagen geheel gesloten bleef, mocht niet groter zijn dan 10%. De kans dat de fase met hoogwaterstanden lager dan N.A.P. + 1 m en vrijwel zonder laagwaters langer dan 5 dagen zou duren, mocht niet groter zijn dan 30%. En de kans dat het tijdstip van sluiting buiten de gekozen maanden oktober en april zou vallen mocht niet groter zijn dan 20%.

Constructiedetails worden bij voorkeur gedimensioneerd op grond van een economische optimalisering, maar omdat de schade bij bezwijken van de constructie ook mensenlevens, psychologische schade of milieuschade kan betreffen, is dit niet steeds mogelijk. Voor het bepalen van de aanvaardbare bezwijkkans is onderscheid gemaakt tussen hoogwaterkeringen zoals de Tholense dijk en bestaande dammen als de Grevelingendam enerzijds, en overige constructies zoals havendammen anderzijds. De aanwezige bezwijkkans mocht door de uitvoering van de werken niet significant vergroot worden. Uitgaande van de bestaande bezwijkkans van 10^{-4} voor de hoogwaterkeringen mocht de bezwijkkans ten gevolge van de werkzaamheden niet groter zijn dan 10^{-5} . Voor de overige constructies werd een faalkans van 1% geaccepteerd. Om de tijdsduur van de aanleg van de zanddrempel te beperken was een zandproductie nodig van 6000 m³/uur. Om deze productie zo nauwkeurig mogelijk en met een zo hoog mogelijk rendement in het damlichaam te krijgen is gekozen voor het systeem van pijpstorten met behulp van verhaalbare pontons.

Optimalisering van de inhoud van drempel en kap leidde tot de beslissing de drempel zo hoog mogelijk op te bouwen. De aanleg van de kap, waarbij het getij op de Oosterschelde sterk zou worden beïnvloed, moest zo kort mogelijk duren, dus moest ook de hoeveelheid zand die in de kap verwerkt werd zo klein mogelijk zijn. De zandverliezen mochten in relatie tot de zandproductie niet te hoog worden, daar anders de gewenste voortgang

niet gehaald zou worden.

Praktisch werd aan de maximale hoogte van de drempel een grens gesteld door eisen van de uitvoering: de minimaal benodigde diepte voor drijvend materieel is nu eenmaal 3 à 4 m. Afstemming van de drempel op deze criteria heeft de hoogte ervan bepaald op N.A.P. - 5,00 m voor het Tholense Gat, waar de werkbaarheid maatgevend was, en op N.A.P. - 8,00 m voor het Krammer, waar het vooral ging om beperking van de zandverliezen. Wanneer de hellingen van de kap tegen zouden vallen, bestond de mogelijkheid dat de basis van de kap groter zou worden dan de kruinbreedte van de drempel. Voor het bepalen van de optimale kruinbreedte van de drempel zijn probabilistische berekeningen gemaakt. Hieruit is de kans bepaald dat de kap over de rand van de drempel gespoten zou worden. De kruinbreedte van de drempel werd geoptimaliseerd door de schadeverwachting af te wegen tegen de meerkosten van een bredere drempelkruin. In het Krammer is de drempelbreedte bepaald op 750 m, in het Tholense Gat op 540 m.

Stormvloedkering

Met behulp van de stormvloedkering kunnen vele getijvormen gecreëerd worden; het ontwerp richtte zich op het vinden van aanvaardbare omstandigheden voor zowel het milieu als de sluiting zelf. Hiertoe is een aantal mogelijkheden in beschouwing genomen: allereerst een ongedempt, niet gerekt getij; dan een matig gedempt, niet gerekt getij; vervolgens een enkeldaags getij, een enkeldaags getij met gereduceerd laagwater en een enkeldaags getij met gereduceerd laag- en hoogwater; tenslotte de toestand bij geheel gesloten stormvloedkering.

Door overgangspunten tussen de periodes zorgvuldig te bepalen voorkwam men dat er directe nadelige gevolgen voor het milieu zouden moeten worden gevreesd.

Voor de sluiting van het Tholense Gat, die onmiddellijk viel na het gereedkomen van de stormvloedkering, is een eenvoudig scenario zonder gerekte getijden gekozen. De achtereenvolgens in te stellen doorstroomopeningen van de stormvloedkering bedroegen 80%, 40% en 10% van de geheel geopende stormvloedkering. Tien procent is overigens gelijk aan de lek bij gesloten schuiven.

Bij de Krammersluiting was een gecompliceerder gebruik van de stormvloedkering nodig, mede door de lange duur van de sluiting (tabel 2).

Zoals gezegd werd als schakelcriterium

Tabel 2. Overzicht van het scenario voor de stormvloedkeringsopeningen

	Doorstroomopening	Getij
I	100%	ongedempt dubbeldaags getij
II	75%	matig gedempt dubbeldaags getij
III	75%-10%-10%-45%	gedempt enkeldaags getij
IV	50%-10%-10%-45%	gedempt enkeldaags getij
V	50%-10%-10%-10%	enkeldaags getij met gereduceerd laagwater
VI	40%-10%-10%-10%	enkeldaags getij met gereduceerd laag- en hoogwater
VII	30%-10%-10%-10%	idem, verder gereduceerd hoogwater
VIII	10%	geheel gesloten kering

gesteld, dat de voorspelde gemiddelde snelheid in het sluitgat niet groter zou mogen zijn dan 2 m/s.

In verband met de voortgang was tevens als schakelcriterium gesteld, dat het zandverlies maximaal 20% van de produktie zou mogen bedragen. Dit criterium werd niet lager gelegd, omdat de kering anders steeds in een vroeg stadium verder gesloten zou moeten worden. Het criterium werd ook niet hoger gekozen, omdat de kans dat het zandverlies de produktie zou benaderen of overschrijden dan te groot zou zijn, zodat de totale uitvoering te lang zou gaan duren.

De mogelijkheid om de hydraulische omstandigheden door middel van de stormvloedkering te beïnvloeden had aanzienlijke consequenties voor het bestek. Gezocht is naar een mogelijkheid om de belangen van opdrachtgever en aannemer gelijk te richten.

Het belang van het Rijk was om de sluiting zo snel mogelijk te laten verlopen, vanwege de verantwoordelijkheid die het draagt voor het milieu in de Oosterschelde. Door te kiezen voor de betaling van een vaste som, gebaseerd op een theoretische hoeveelheid zand, zou

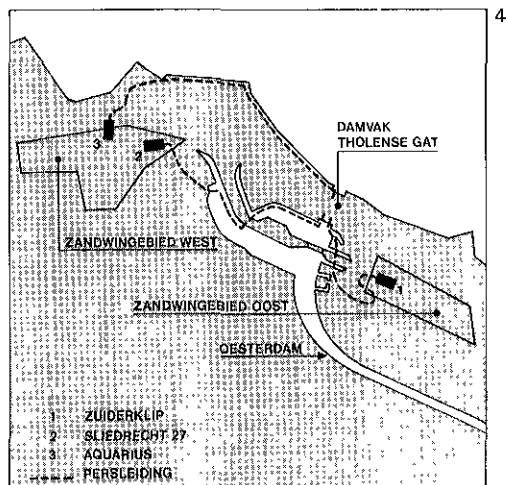
ook de aannemer belang hebben bij een zo snel mogelijke sluiting. Om de prijs te kunnen vaststellen moest de aannemer weten welke stroomsnelheden hij kon verwachten. Daarom is in het bestek vastgelegd hoe met de stormvloedkering gehandeld zou worden. De schakelpunten zijn in het bestek afhankelijk gemaakt van de sluitgatopening. Per sluitgatopening is aangegeven hoe groot het maximale verval over het sluitgat zou zijn. Voorts werden in het bestek eisen gesteld aan de zuigcapaciteit; voor het Krammer 1 250 000 m³ per week in de drempelfase en 15 000 m³/uur bij de horizontale uitbouw. Voor het Tholense Gat is alleen in de laatste bouwfasen een capaciteit geëist, en wel van 10 000 m³/uur.

Door deze hoge capaciteiten duren de bouwfasen relatief kort. Nog hogere zuigcapaciteiten werden praktisch onuitvoerbaar geacht; ook zouden ze de kosten onevenredig doen toenemen.

Tholense Gat

Op maandag 6 oktober 1986, 2 dagen na de

Fig. 4. Zandwinlocaties voor de sluiting van het Tholense Gat





feestelijke ingebruikneming van de stormvloedkering, begon het sluiten van het Tholense Gat.

Het oorspronkelijk doorstroomoppervlak bedroeg 4700 m². Tot een sluitgat van 1400 m² zou de stormvloedkering bij gemiddeld getij tot 80% geknepen worden; van 1400 m² tot 850 m² zou de stormvloedkering verder geknepen worden tot 40%, en in de laatste fase moest de kering helemaal dicht. Voor deze laatste twee fasen waren limieten gesteld van elk twee dagen.

Met behulp van twee pontons, het 'Zeepaard' gekoppeld aan de zuiger 'Sliedrecht 27' en de 'Albis' aan de zuiger 'Zuiderklip', werd de drempel verticaal opgebouwd. De beide pontons werden gevoed via drijvende leidingen. Eerst werd de drempel verticaal opgebouwd tot N.A.P. - 9 m. Daarna werd de dam in V-vorm opgebouwd tot N.A.P. - 2 m, om erosie van de oevers te voorkomen; het diepste punt in het midden van het sluitgat reikte tot N.A.P. - 8 m. Tenslotte werd het middendeel opgevuld tot N.A.P. - 5 m en de drempelkruin op breedte gebracht.

Bij de geplande produktie van 6000 m³/uur zou de opbouw van de drempel drie weken duren, zodat de eindfase van de sluiting met de stormvloedkering voor 40% geopend en tenslotte gesloten op een dooddij zou vallen, rond 27 oktober. Maar omdat de zandprodukties tijdens de drempelopbouw veel hoger waren dan geschat, soms meer dan 10000 m³/uur, en het rendement van de uitvoeringsmethode - dat was ingeschat op 75% - in werkelijkheid 95% bleek te bedragen, was de drempel al op 18 oktober voltooid.

In de volgende fasen, waarin het getij op het Oosterscheldebekken sterk werd beïnvloed

werd de sluitdam horizontaal uitgebouwd. Daartoe waren aan de zuidzijde van het sluitgat vanaf de oever van het werkeiland de persleidingen aangelegd van de zuigers 'Zuiderklip' en 'Sliedrecht 27'. Tijdens de opbouw van de drempel was op de hoogwaterkering van Tholen de persleiding van de cutterzuiger 'Aquarius' aangelegd, die alleen bij de horizontale fase van de sluiting zou worden ingezet.

Omdat de drempel in hoog tempo werd opgebouwd moest de 'Aquarius' versneld aangevoerd worden. Toen de 'Aquarius' aangesloten werd op de persleiding, bleek die op verscheidene plaatsen lekkages te vertonen. De geplande horizontale uitbouw, symmetrisch vanaf twee zijden, moest daarom uitgesteld worden, kort nadat een eerste aanzet was gegeven vanaf het werkeiland.

Op maandag 20 oktober kon de horizontale uitbouw met alle zuigers beginnen, maar het werk moest al snel weer worden gestaakt. Een zware storm veroorzaakte hoge golven in het westelijk zandwingsgebied, waardoor de drijvende leiding van de 'Aquarius' en de zinker van de 'Sliedrecht 27' beschadigd werden. Repareren tijdens de storm was uitgesloten. Dinsdagmorgen was de storm tot rust gekomen, zodat de drijvende leiding van de 'Aquarius' gerepareerd kon worden. Intussen was de 'Zuiderklip' door middel van een drijvende leiding eveneens verbonden met het noordstort, zodat bij eventuele blijvende gebreken van de 'Aquarius' of de 'Sliedrecht 27' toch een tweezijdige sluiting tot stand gebracht kon worden. Omdat reparatie van de zinker van de 'Sliedrecht 27' niet meer mogelijk bleek, is de sluiting alleen voortgezet met de 'Aquarius' en de 'Zuiderklip'.

De blokkering werd uiteindelijk uitgevoerd in de vroege ochtend van woensdag 22 oktober. Spoedig daarna kon de stormvloedkering bij *eb weer open, na 57 uur gesloten te zijn* geweest, met een onderbreking van 5 uren, waarin een opening van 25% was aangehouden om de vogels in het Oosterscheldegebied gelegenheid tot fourageren te bieden. Het ophogen van de kade tot N.A.P. +5 m werd met de 'Zuiderklip' uitgevoerd; dat karwei was gereed op 27 oktober.

Eendracht

Bij de verkenning van de milieu-aspecten was gebleken dat sluiting van de compartimenteringsdammen bij voorkeur in het voorjaar of najaar moest plaatsvinden. Toen om budgettaire redenen overwogen werd om de sluiting van het Krammer *niet direct na de sluiting van het Tholense Gat* uit te voeren, zoals tot dan toe gepland was, maar een half jaar later, zijn er berekeningen gemaakt naar de gevolgen hiervan voor de Eendracht, zowel ten aanzien van de morfologie als in verband met de scheepvaart. Door het uitvoeren van preventieve bestortingen, de aanleg van depots ten behoeve van verwachte aanvullende bestortingen en scheepvaartbegeleiding zou de problematiek op aanvaardbaar niveau gehouden kunnen worden, was de conclusie.

Toen de stormvloedkering na de sluiting van het Tholense Gat weer werd geopend bleken de stroomsnelheden in de noordelijke mond van de Eendracht nog 30% sterker te zijn *toegenomen dan van tevoren was berekend*. Plaatselijk kwamen snelheden voor van meer dan 2 m/s, hetgeen de scheepvaart voor grote moeilijkheden plaatste. Bovendien ontstond twijfel of de preventief uitgevoerde bestortingen op verscheidene plaatsen langs de oevers van het kanaal wel voldoende zouden zijn om de stabiliteit van de aangrenzende hoogwaterkeringen te garanderen.

Daarom werd besloten de stroomsnelheden enigszins te reduceren door de stormvloedkering zover te sluiten, dat bij Yerseke een getijverschil van gemiddeld 2 m zou optreden, ongeveer gelijk aan de situatie bij doodtij. In overleg met belanghebbenden werd, na aanvullende bestortingen, een beheer van de stormvloedkering afgesproken waarbij het getijverschil op 2,70 m zou worden afgetopt. In de praktijk kwam dit neer op een gemiddelde van ongeveer 2,50 m en één op de vier keer een overschrijding van de 2,70 m.

Tot aan de sluiting van het Krammer is de kanaalbodem van de Eendracht aanzienlijk geërodeerd. Op verscheidene plaatsen waar

de bodem uit fijn zand bestond, moesten opnieuw aanvullende bestortingen worden uitgevoerd om de 4 à 5 m diepe ontgrondingskuilen op veilige afstand van de dijken te houden. De scheepvaartbegeleiding die was voorzien werd uitgebreid tot twee vaartuigen, ononderbroken werd de scheepvaart geïnformeerd over de actuele situatie ten aanzien van de stroomsnelheden, het stroombeeld en de ondiepten. Bovendien was gedurende de moeilijkste fase van het getij, rond maximale eb, een sleep/blusboot gereed om in te grijpen als zich een calamiteit mocht voordoen.

Krammer

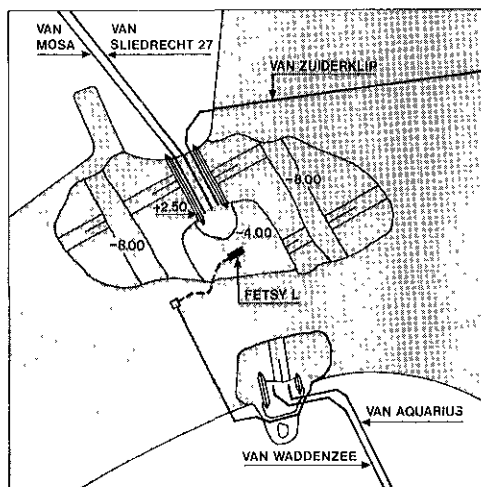
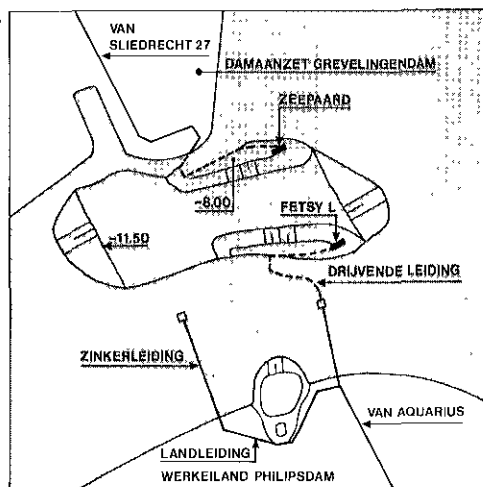
Bij de bouw van de compartimenteringsdammen verkeerde men in de unieke omstandigheid, dat er korte tijd na elkaar twee sterk *overeenkomende zandsluitingen zouden* worden uitgevoerd. Uit de ervaring die werd opgedaan tijdens de zandsluiting van het Tholense Gat konden enkele van de in het ontwerp van de zandsluiting van het Krammer aangenomen onzekerheden opnieuw beschouwd worden.

Gezien de geringe tijd tussen het gereedkomen van de stormvloedkering en het gebruik ervan ten behoeve van de sluiting van het Tholense Gat, was gekozen voor een eenvoudig gebruik van de stormvloedkering. Slechts reductie van de doorstroomopening van de stormvloedkering kwam in aanmerking en het aantal scenario's bleef gering.

Het gebruik van de stormvloedkering tijdens de sluiting van het Tholense Gat bleek zo probleemloos te verlopen, dat geen enkele aanpassing van het ontwerp van de sluiting van het Krammer op dit gebied noodzakelijk was. Het afregelen met de stormvloedkering van het getij op de vervalnorm uit het bestek verliep zonder moeilijkheden.

De gehele sluiting van de stormvloedkering betekent niet dat de waterbeweging in het Oosterscheldebekken geheel verdwijnt. De lek in de stormvloedkering, veroorzaakt door de aanstortingen van de dorpelbalken en de spleten tussen de schuiven en de boven- en dorpelbalken, houdt een kleine getijbeweging in stand op de Oosterschelde. Zo zouden de stroomsnelheden in het sluitgat in de laatste fase toch nog aanzienlijk kunnen oplopen. De sluiting van het Tholense Gat was een goede gelegenheid om de lek van de stormvloedkering vast te stellen.

De stormvloedkering is eind oktober gedurende twee dagen dicht geweest. Door met behulp van het getijmodel de getijden voor verschillende lekopeningen van de stormvloedkering



na te rekenen, en het resultaat te toetsen aan de opgetreden waterstanden op verscheidene plaatsen in het Oosterscheldebekken, werd een indruk verkregen van de lek. De lekopening werd nu bepaald op 1350 m², terwijl vooraf 1650 m² was verondersteld, met een standaardafwijking van 100 m² in plaats van 300 m².

Verticale opbouw van de drempel met pontons was in het Tholense Gat ondanks hoge stroomsnelheden uitvoerbaar gebleken, hoewel de onverwacht grote aanstroomkrachten op de drijvende leidingen ertoe hebben geleid dat bij de sluiting van het Krammer extra verankeringspontons voor de drijvende leiding werden ingezet.

Bij de sluiting van het Tholense Gat bestond er onzekerheid over de te spuiten hellingen van de drempel. In het ontwerp zijn hellingen aangehouden van 1:15, met een steilste toegestane helling van 1:10. Na de uitvoering bleken in het Tholense Gat hellingen te zijn gespoten van 1:15 à 1:20. Dit heeft niet geleid tot aanpassingen van het ontwerp van de

drempel in het Krammer.

Een andere onzekerheid bij de planning was de productie van de verschillende zuigers. Bij de uitvoering van de drempel in het Tholense Gat werden 1,5 maal zo grote producties gehaald dan was voorzien. Bij de sluiting van het Krammer werden daarom de geplande producties van de zuigers aangepast (tabel 3). Al in een eerder stadium was naar voren gebracht dat de sluiting van het Krammer zo zou kunnen worden gepland dat de finale fase op doortij zou vallen.

Om onzekerheden in de uitvoeringsduur van de drempel op te vangen werd besloten tot het invoeren van een wachtperiode juist voor de horizontale uitbouw. De laatste fase van de sluiting werd op het eerste doortij in april gepland, omdat dit aanzienlijk gunstiger was dan het tweede. De meeste tijd zou bij de sluiting van het Krammer in beslag genomen worden door de opbouw van de drempel. Juist het verbeterde inzicht in de opbouw van de drempel heeft ertoe bijgedragen dat de planning betrouwbaarder werd.

Tabel 3. Productie van de zuigers bij de sluiting van het Tholense Gat en het Krammer

Zuigers	Sluiting Tholense Gat		Sluiting Krammer
	Geplande productie (m ³ /u)	Gehaalde productie (m ³ /u)	Geplande productie (m ³ /u)
'Aquarius'	4800	6500	6500
'Mosa'			4000
'Sliedrecht 27'	4200	5300	4800
'Waddenzee'			1300
'Zuiderklip'	3000	4400	4100

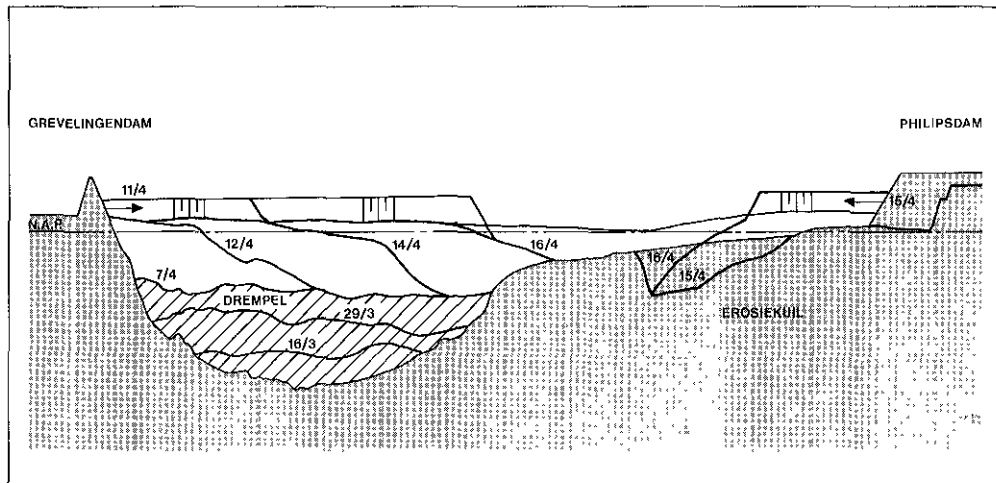


Fig 5 Zuigeropstelling bij de drempelopbouw (links) en de horizontale uitbouw van de Krammersluiting

Fig 6. Opbouw van drempel en dam in het Krammer

Uitvoering

In de loop van januari werd begonnen met het vullen van de ontgrondingskuilen aan weerszijden van de bestaande bodembescherming en de opbouw van een drempel tot N.A.P. - 15 m. Het zand was afkomstig uit het hoge en lage bekken in het kanaal Slaak, die deel uitmaken van het zout/zoet-scheidingssysteem van de Krammersluizen, en werd met twee pontons, de 'Fetsy-L' en het 'Zeepaard', in het sluitgat gebracht. Volgens planning zou deze fase duren tot eind februari.

Ten gevolge van strenge vorst in januari en februari werd dit tijdschema niet gehaald; de achterstand bedroeg na de vorst drie weken. Vervolgens trad er stagnatie op doordat zich grote velden drijfs verzamelden tegen de drijvende leidingen in het sluitgat, die daar

extreme krachten op uitoefenden. Besloten werd de sluitingsdatum te verschuiven naar de volgende doodtijperiode: 18 april, net voor Pasen.

Op 25 maart begonnen de zuigers 'Aquarius' en 'Slidrecht-27' te werken. Via de sproeipontons 'Fetsy-L' en 'Zeepaard' werd de drempel opgehoogd van N.A.P. - 15 m tot N.A.P. - 7 à 8 m. De pontons moesten gedeeltelijk elkaars gebied kunnen bereiken, om elkaar bij tegenvallers te kunnen helpen. Dit bleek niet overbodig: het zand in het oostelijk wingebied was vaster gepakt en meer verontreinigd dan verwacht, waardoor de produktie van de combinatie 'Aquarius'-'Fetsy-L' enigszins tegenviel. Werken met twee pontons dicht bij elkaar bij stroomsnelheden die opliepen tot 2 m/s bleek niet zonder problemen te verlopen. De verankering van de pontons en de drijvende leidingen vereiste bijzondere aandacht. Om de drempel gelijkmatig te kunnen ophogen werd het gebied verdeeld in een vierkantennet van 25 x 25 m. Afhankelijk van de bodemligging en het gewenste niveau van ophogen werd voor ieder vierkant bepaald hoeveel m³ er gespoten moest worden. De drempel werd op het gewenste niveau gebracht in direct contact tussen zuiger en ponton. Op vrijdag 10 april kon hij binnen de toleranties worden opgeleverd. De sluitgatopening was toen verkleind van 10 500 tot 5500 m².

Om onder de gunstiger getij-omstandigheden van gemiddeld tij tot doodtij de finale fase te kunnen uitvoeren, werd met de horizontale uitbouw pas op 12 april begonnen. Wel hadden de voor die fase nieuw aangevoerde zuigers al proefgedraaid op het noordstort, waar zodoende een dam aanzet ontstond. De duur van de horizontale bouwphase mocht

niet langer zijn dan vijf dagen; dan moest de kering weer geheel worden geopend. Om deze reden was een grote produktie nodig. In het ontwerp was die bepaald op gemiddeld 12 000 m³/uur; bij de optimalisering is dit nog verhoogd tot 16 000 m³/uur, om in voldoende korte tijd een volledige tweezijdige zandsluiting te kunnen uitvoeren: de fase met gesloten stormvloedkering moest korter zijn dan twee dagen.

Voor de horizontale fase werden in het westelijk zandwingebied de profielzuigers 'Sliedrecht-27' en 'Mosa' ingezet, terwijl in het oostelijk wingebied de profielzuiger 'Zuiderklip' werd bijgezet. Deze drie zuigers produceerden direct op het noordstort. De cutterzuiger 'Aquarius' bleef vanuit het oostelijk zandwingebied produceren via de ponton 'Fetsy-L'.

Om te voorkomen dat met de 'Aquarius' te vroeg overgegaan zou moeten worden op het zuidstort, hetgeen vanwege hogere stroomsnelheden in de laatste fase niet gewenst was, diende de ponton steeds zo noordelijk mogelijk te werken. Op 15 april is de cutterzuiger 'Waddenzee' vanuit het lage bufferbekken van het Krammersluizencomplex produktie gaan draaien op het zuidstort. In de loop van dezelfde ochtend werd de 'Aquarius' omgesteld van het ponton op het zuidstort. Vanaf dat moment werd de sluiting tweezijdig voortgezet. Het sluitgatoppervlak was inmiddels vernauwd tot 2100 m².

Tijdens de drempelopbouw was reeds erosie opgetreden van de plaat aan de zijde van het werkeiland. In de fase van horizontale uitbouw is deze uitschuring nog toegenomen, tot een diepte van bijna 9 m.

In de loop van vrijdag 17 april was het streven erop gericht vóór de eb in de vroege ochtend van 18 april gesloten te zijn; het voorspelde maximale verval zou dan namelijk meer dan 40 cm bedragen. Uiteindelijk is de blokkering gerealiseerd op vrijdag 17 april om 22.30 uur. De stormvloedkering kon op de hoogwaterkentering van zaterdagmorgen 18 april, om 8.40 uur, weer geopend worden. De kering was zo'n 30 uur achtereen gesloten geweest. In het paasweekend werd de zanddam vervolgens verhoogd tot N.A.P. + 5 m, met een breedte van tenminste 30 m.

Tijdens de gehele uitvoering, maar zeer intensief tijdens de fase van horizontale uitbouw, is het werk nauwlettend gevolgd. De voortgang en de hydraulische omstandigheden werden voortdurend opnieuw voorspeld en afgeregeld op de in het bestek gegarandeerde vervallen.

De stand van zaken werd eerst enkele keren

per week, later twee keer per dag, besproken in een begeleidingsgroep, waarin de ontwerpers, de uitvoerders, het milieu, de visserij en de voorlichting waren vertegenwoordigd. Informatie werd voornamelijk verkregen van het steuncentrum dat hiervoor speciaal was ingericht, en waarin verschillende groepen samenwerkten. Zij coördineerden peilingen en metingen, bewaakten de morfologische ontwikkelingen en de grondmechanische stabiliteit, adviseerden omtrent instellingen van de stormvloedkering en distribueerden gegevens. Ten behoeve van milieu en visserij was een aparte groep deskundigen actief om de reactie van de natuur op het ingrijpen door middel van de stormvloedkering scherp in de gaten te houden. Dagelijks werd de informatie uit het veld bijeengebracht en zonodig in de begeleidingsgroep gepresenteerd, zodat ongewenste ontwikkelingen vroegtijdig onderkend en voor zover mogelijk tegengegaan konden worden.

Tijdens de sluitingen is een aanzienlijke inspanning verricht op het gebied van peilingen en metingen. Een deel van deze inspanning was nodig voor de operationele begeleiding van de sluitingen. De gegevens bieden tevens de mogelijkheid de kennis op het gebied van zandsluitingen te vergroten. Een gedegen evaluatie staat voor de komende tijd op het programma.

De organisatie van gecompliceerde sluitingen in samenwerking tussen tien verschillende aannemersbedrijven, waarbij in extreem korte tijd een maximale prestatie moest worden geleverd, was niet eenvoudig. Het stemt dan ook tot tevredenheid dat de sluitingen zo goed gelukt zijn; de geulen zijn binnen de geplande tijd afgesloten. Voor zover thans valt te overzien hebben milieu en visserij geen blijvende schade opgelopen.

Met het gereedkomen van de sluitingen zijn de doelstellingen van de compartimentering bereikt. Het achter de dammen ontstane randmeer vangt het water op dat vroeger van de Brabantse rivieren en via de Volkeraksluizen op de Oosterschelde terecht kwam. Het meer biedt mogelijkheden tot watervoorziening van de landbouw. België heeft een getijvrije scheepvaartweg tussen Antwerpen en de Rijn. Het getijgebied van de Oosterschelde is verkleind, waardoor het waardevolle milieu een groter getijverschil behoudt dan zonder de compartimentering het geval zou zijn geweest.

De compartimentering is gereed; voor de Oosterschelde en het Volkerak/Zoommeer begint een nieuwe tijd.

Bij de aanleg van de compartimenteringsdammen, de Oesterdam en de Philipsdam, zijn de sluitgaten gesloten met zand. Deze methode houdt in dat een geul, waarin de eb- en de vloedstroom elkaar voortdurend afwisselen, afgesloten wordt door middel van het storten van zand: op enige afstand van het sluitgat wordt door een baggervaart^{tuig}, een cutterzuiger bijvoorbeeld, het zand uit de bodem opgezogen en per pijpleiding of varend naar het stort getransporteerd. Op het stort, de plaats waar het zand gestort wordt, bouwt zich een dam op doordat er meer zand neerslaat dan er door de stroming afgevoerd kan worden.

Zandsluitingen: ontwikkelingen in theorie en ervaring

Bij deze opbouw kan men onderscheid maken tussen twee methoden: de horizontale en de verticale sluiting. Bij de horizontale sluiting stort men vanaf de oever het zand in het gat, zodat er een dam ontstaat waarvan de kop zich naar de andere oever verplaatst. Meestal wordt dan al het zand over de kop van de dam aangevoerd. Bij een verticale sluiting wordt het zand gelijkmatig verdeeld over de breedte van de geul, zodat er een drempel ontstaat die naar boven toe groeit.

Zoals al even is genoemd, is het voor het welslagen van een zandsluiting van belang dat het zandverlies, de hoeveelheid zand die door de stroming wordt meegevoerd tot buiten het sluitgat en daardoor niet in het profiel van de te maken dam sedimenteert, kleiner is dan de produktie, het zand dat kunstmatig wordt aangevoerd. De duur van een sluiting hangt mede af van de inhoud van de dam. Van groot belang hierbij is de vorm, met name de taludhelling van de dam die ontstaat. Het zand komt immers tot rust onder een bepaalde helling, en naarmate die steiler staat, is de inhoud van de dam kleiner en duurt de sluiting korter.

Om een goed ontwerp te kunnen maken is kennis nodig van bovengenoemde zaken. Die kennis bleek voorshands onvoldoende te zijn om voor de sluitingen van het Krammer en het Tholense Gat een verantwoord ontwerp te maken. Men moest gissen naar wat er precies onder het wateroppervlak gebeurde, zodat elke uitspraak over het zandverlies gepaard ging met zeer grote onzekerheden. Uitgebreid onderzoek was nodig om een tip van de sluier op te lichten.

Het ging voornamelijk om de horizontale sluiting, omdat dat de aangewezen methode

was tijdens de kritieke fasen van de sluitingen. Het onderzoek dat hiertoe is uitgevoerd, heeft zich in hoofdlijnen gericht op vergroting van de kennis over de produktie, over de processen die het zandverlies bepalen, en over de vorm van de zanddam. Enigszins los daarvan is uitgebreid onderzoek gedaan naar de te verwachten stroombeelden en stroomsnelheden in het sluitgat. Dit laatste punt zal in dit artikel slechts zijdelings aan bod komen.

Voordat men begon te overwegen de compartimenteringsdammen met zand te sluiten, waren er in Nederland al verscheidene zandsluitingen uitgevoerd, onder andere in de Lauwerszee, het Brielse Gat en het damvak Geul. Toen probeerde men de zandsluiting rekenkundig te benaderen, en toen al werd de basis gelegd voor de rekenmethode die nu nog gebruikt wordt. Het concept was eenvoudig: bereken in de as van het sluitgat de zandtransportcapaciteit met een bepaalde formule, en vermenigvuldig die met een verliescoëfficiënt om het zandverlies te verkrijgen. De verliescoëfficiënt verdisconteert alle verwaarloosde invloeden. De zandtransportcapaciteit is een theoretische waarde, die iets zegt over de evenwichtstoestand van het gehalte aan zand bij constante stroomsnelheid en waterdiepte, waarbij de stroom geen zand meer opneemt uit de bodem en het ook niet afstaat. De natuur kent echter zelden een evenwichtstoestand, hoewel ze daar voortdurend naar streeft; laat staan dat een kunstmatige verstoring zoals optreedt bij een zandsluiting gekenmerkt wordt door een evenwicht. De transportcapaciteit zegt dan ook slechts in beperkte mate iets over het werkelijke transport, terwijl het zandverlies bepaald wordt door het werkelijke verschil in transport



dat het sluitgat in- en uitgaat.

Aan de hand van metingen kon globaal de waarde van de theorie getoetst worden, en dit leidde tot de conclusie dat de rekenmethode bruikbaar was. Aan verdere verfijningen werd nauwelijks gewerkt, mede omdat de meetgegevens niet voldoende gedetailleerde informatie verschaften, en bovendien qua betrouwbaarheid te kort schoten. Daarenboven speelt bij een zandsluiting de uitvoeringswijze een belangrijke rol, waarop de omstandigheden, zoals het beschikbaar materieel en eventuele materiaalpech, alsook de ervaring van aannemer en stortbaas veel invloed hebben. De persoonlijke ervaring met theorie en praktijk speelde een grote rol bij de beoordeling van de vraag of een sluiting kritiek was. Het ervaringsgebied waarbinnen zandsluitingen toegepast waren reikte tot stroomsnelhe-

Sterke stroming om de kop van de damaanzet Grevelingendam bij het Krammer

den van maximaal 2,5 m/s met uitschieters van 3 m/s, en een maximale diepte in het sluitgat van 12 m. Ook was er ervaring met zowel fijn als grof zand. De zandproductie bedroeg tot dan toe maximaal 4000 m³/uur. Niet alle extreme omstandigheden waren echter tegelijkertijd opgetreden. Vergelijken we dit met de sluitgaten in de compartimenteringsdammen met dieptes tot 20 m en stroomsnelheden tot 5 m/s – zonder gebruik van de de stormvloedkering –, en produkties tot 12 000 m³/uur, dan is het duidelijk dat ervaring hier niet de weg kon wijzen, en dat er meer kennis vereist was om veilig te kunnen ontwerpen.

De eerste beslissingen om een zandsluiting toe te passen bij de compartimenteringsdammen waren gebaseerd op bovengenoemde ervaringen en de in theoretisch opzicht relatief eenvoudige rekenmethode. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de hoeveelheid rekenwerk zonder computer zeer aanzienlijk was, omdat zowel getijde- als zandtransport-berekeningen uitgevoerd moesten worden voor verschillende fasen in de bouw van de dam.

Toen duidelijk werd dat zandsluitingen haalbaar leken en economisch aantrekkelijk, zijn er verschillende activiteiten ondernomen, met als doel het fysisch inzicht en de ervaringskennis te vergroten en te komen tot betere wiskundige voorspelmodellen. Deze activiteiten betroffen allereerst het opstellen van een ervarings- en witten-vlekkenverhaal, en de evaluatie van oude sluitingen, vooral met het oog op zandverliezen; verder onderzoek naar de processen op een stort, naar zandtransport en zandtransportcapaciteit in een veranderende stroming, naar de hellingen van een kunstmatige zanddam, en naar onzekerheden in de zandproductie. Tenslotte zocht men naar mogelijkheden voor toepassing van een meer complexe theorie, en voor het bouwen van computer-simulatiemodellen. Om te komen tot een onderzoeksplan is begonnen met het vastleggen van de bestaande kennis en ervaring, om daarna de leemtes in de kennis, de zogenaamde witten-vlekken in kaart te brengen. Van de vele factoren die het zandverlies bepalen, werd de rol die zij spelen en de belangrijkheid ingeschat. Het onderzoek werd vervolgens toegespitst op die onderdelen waar het hoogste rendement verwacht werd. De evaluatie van oude sluitingen bleek een moeizame zaak te zijn. De gegevens waren vaak schaars, zodat met veel inzicht en afschattend werk conclusies getrokken moesten worden, die evenwel soms tegenstrijdig uitpakten. Zo bleek uit de gegevens van de

sluiting van het damvak Geul dat daar geen zandverlies maar zandwinst zou zijn opgetreden; dat was echter te wijten aan de meet-onnauwkeurigheid. Omdat de opgetreden verliezen vaak laag waren in verhouding tot de produktie, bijvoorbeeld maar 10%, en ze indirect gemeten waren als het verschil tussen produktie en daminhoud, die beide met een onnauwkeurigheid van 10% waren bepaald, was de onzekerheid aangaande het werkelijke verlies zeer groot. Ook de voorspellingen van het verlies moesten daarom zeer onnauwkeurig blijven.

Ook bij de sluitingen in de compartimenteringsdammen is het verlies relatief gering geweest, wat overigens volgens het ontwerp de bedoeling was, dus ook hier zal de evaluatie vanuit wetenschappelijk oogpunt minder opleveren dan wanneer het verlies hoger en dus nauwkeuriger bekend was geweest. Een uitzondering vormen wellicht de laatste dagen van de Krammersluiting, waar 20% zandverlies werd geconstateerd – maar dit is momenteel nog onderwerp van studie.

Het belangrijkste resultaat van de evaluatie was dat op basis van naberekeningen van de sluiting van het Brielse Gat volgens een nieuwe methode slechts de helft van het gemeten verlies verklaard kon worden. Dit leverde een aangepaste ijkcoëfficiënt op voor deze methode.

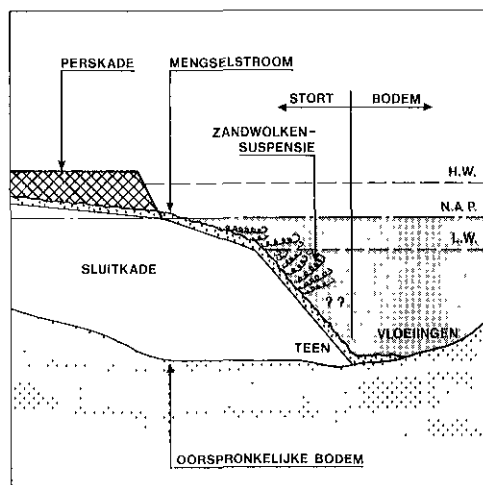
Wat er zich in fysisch opzicht afspeelt op een stort was in eerste instantie onduidelijk. Men kon op een stort boven water een stroom met een mengsel van zand en water vanuit de pijpmond als een kleine doch zeer turbulente en woeste rivier naar de waterlijn zien stromen. Men wist dat het achtergelaten zand het karakter van drijfzand had, maar wat er zich onder water afspeelde, daar waar de verliezen optreden, was onbekend. Het bouwen van een drempel speelt zich geheel onder water af, en men wist wel dat er kratervorming en mengsel- en/of dichtheidsstroming plaatsvond, maar in welke mate al deze processen het zandverlies beïnvloedden was niet bekend.

Er werden hypothesen geformuleerd, die men in de natuur trachtte te toetsen. Aanvankelijk verliep dit erg moeizaam. Er waren niet veel grootschalige praktijksituaties voorhanden, en geschikte meetinstrumenten moesten nog gemaakt worden; de toegankelijkheid van het stort vormde een probleem op zich, en men was sterk afhankelijk van hetgeen de aannemer deed. In latere stadia konden op basis van de duidelijk waarneembare verschijnselen op het bovenwaterstort theorieën opgesteld worden en proeven gedaan in het laboratorium. Met

Veranderingen in waterspanning en poreusheid in het zand zijn kenmerkend voor deze zettingsvloeiingen. Uit metingen naar deze grootheden is gebleken dat plotselinge verhogingen daarvan correspondeerden met kleine vloeiingen die met de schotel of door echolodgingen werden geregistreerd. Later is, door metingen elders, de indruk ontstaan dat de mengselstroom onder bepaalde condities tot grotere diepte in stand kan blijven. Dit kan

In een sluitgat vinden ten gevolge van de gedeeltelijke blokkering sterke stroomversnellingen en -vertragingen plaats. Omdat het zandtransport tijd en stroomlengte nodig heeft om zich aan de hydraulische omstandigheden aan te passen, zal het werkelijke transport naijlen op de transportcapaciteit. Voor dit naijlingsproces bestond een wiskundige beschrijving, met partiële differentiaalvergelijkingen die slechts numeriek opgelost konden worden. Dit is verwezenlijkt in computerpro-

Fig. 2. Na-ijling van het werkelijk transport op de transportcapaciteit



dellen binnen en buiten de Rijkswaterstaat. Hierdoor is dit verschijnsel thans redelijk beschreven, maar bij een zandsluiting zijn er twee complicerende factoren.

Ten eerste wordt er op kunstmatige wijze veel zand aan de natuurlijke stroom toegevoegd. Dit beïnvloedt onmiddellijk de zandconcentratie onder water, de lokale stroomsnelheid en de turbulentie, en indirect de ruwheid en pakking van de bodem van het stort. Ten tweede is het stroombeeld door de aanwezigheid van neren en wervelstraten tamelijk complex, hetgeen de turbulentie op het onderwaterstort versterkt. Er is eenmaal getracht, bij de sluiting van het Lage Bufferbekken, een onderdeel van het sluizencomplex in de Philipsdam, op natuurlijke schaal uitgebreid te meten aan de stroming en de transporten in een sluitgat. De stroomsnelheden en de verliezen bleken daar erg laag, en het narekenen stuitte op allerlei problemen.

Bovendien was het kritieke moment aan vrijwel ieders aandacht voorbijgegaan, omdat de aannemer een eerder opgelopen vertraging meende goed te maken door op het einde van de sluiting 's nachts door te werken, zodat van de planning en de uitvoering van metingen weinig terecht kwam. Zonder meer proeven in de natuur doen bleek een zeer kostbare zaak, zodat voor dit onderdeel gewacht moest worden op de sluitingen van de compartimenteringsdammen; de sluiting van het Slaak kon daarbij dienen als leerobject voor het Tholense Gat en het Krammer.

Terug naar de wiskundige modellen. Door middel van gevoeligheidsanalyses zijn verscheidene invloeden afgetast; met name de turbulentie bleek een belangrijke rol te spelen. Bij de evaluatie van de sluitingen, die bij het schrijven van dit artikel nog niet is

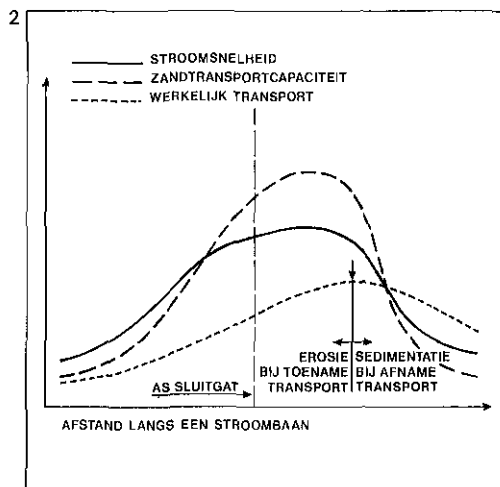
afgerond, zal dit vermoeden hoogstwaarschijnlijk worden bevestigd.

Bij de sluitingen van de compartimenteringsdammen was het van belang om de zandtransportcapaciteit te kennen bij stroomsnelheden van 0 tot 5 m/s, teneinde te weten hoever men met een zandsluiting kan gaan zonder gebruik van de stormvloedkering, of welk gebruik minimaal vereist is voor een succesvolle sluiting. Voor stroomsnelheden hoger dan 2 m/s was uit het verleden geen adequate informatie te krijgen om betrouwbare uitspraken te doen over de transportcapaciteit. Proeven in het laboratorium hebben er toe bijgedragen dat men voortaan voorspelling van de transportcapaciteit ook wel aandurfde bij snelheden van 2 tot 3,5 m/s.

De afmetingen van een zanddam worden bepaald door de breedte op de kruin en de hellingshoek van het talud tussen de kruin en de teen op de oorspronkelijke bodem. De kruinbreedte is een kwestie van ontwerpen en uitvoeren, waarbij de breedte van het bovenwaterstort bepaald wordt door de productie, maar de hellingen kan men niet gemakkelijk beïnvloeden. Pogingen daartoe tijdens de sluitingen van het Tholense Gat en het Krammer bleken weinig succesvol.

Vooraf was door het inventariseren en analyseren van meetgegevens een verband gevonden tussen de korreldiameter van het zand en de hellingshoek, en tussen de grootte van de productie en de hellingshoek. Eerstgenoemde verband bleek het sterkst, en dit is achteraf bevestigd. Gezien het feit dat de productie slechts op een klein oppervlak onder water direct merkbaar is, is het aannemelijk dat de invloed op de hellingshoek gering is. Het proces van zettingsvloeiingen heeft wel grote invloed, en blijkbaar bepaalt de korreldiameter van het zand de eindhelling van een zettingsvloeiing.

Voor de sluiting van het Krammer en het Tholense Gat was het van vitaal belang dat er een strak tijdschema gevolgd werd. Er werd immers gebruik gemaakt van de stormvloedkering, hetgeen gunstig was voor de voortgang van het werk, maar ongunstig voor het milieu. Voor de vraag of het tijdschema goed kon worden gevolgd bleek de productie een belangrijke factor, zowel de grootte als de onzekerheid ervan. Op basis van reeds uitgevoerde werken werd de bedrijfszekerheid van verschillende baggervaartuigen geanalyseerd. Daaruit bleek dat er forse afwijkingen van de gemiddelde productie konden optreden. Een standaardafwijking van 30% voor een periode van 2 dagen en 15% gerekend over een week leken realistische uitgangspunten



voor het ontwerp. Hoewel dit velen gevoelsmatig wat pessimistisch leek, is achteraf gebleken, met name in de laatste fase van de sluiting van het Tholense Gat, dat dit percentage realistisch was.

Zoals al eerder vermeld, bestond de vroegere rekenmethode – als de stroomsnelheden en waterdiepten in de as van het sluitgat bekend waren – uit het toepassen van een zandtransportformule met een verliescoëfficiënt ervoor. Ook is al gewezen op het proces van naijling, dat van wezenlijk belang is voor het zandverlies. Met behulp van wiskundige modellen, waarin de naijling maar ook de produktie en de extra turbulentie overal in het sluitgat gesimuleerd konden worden, zijn zandverliezen berekend voor verschillende belangrijke bouwfases. Omdat deze modellen zeer bewerkelijk en rekenintensief zijn, zijn ze niet gebruikt om gehele sluitingen door te rekenen, maar om meer inzicht te krijgen in de factoren die het verlies bepalen, en om theoretische verliescoëfficiënten te berekenen die toegepast werden bij de oude methode, die dan hetzelfde over een getij gemiddeld zandverlies opleverde als de nieuwe methode. De vroegere methode was inmiddels volledig geautomatiseerd, uitgebreid en verbeterd. Met deze uitgebreide methode zijn gehele sluitingen doorgerekend, inclusief talloze alternatieven die dienden om het ontwerp te optimaliseren. De verliescoëfficiënten, één voor het stortgedeelte in het sluitgat en één voor de nog niet door het stort bedekte bodem, zijn nog onderwerp van evaluatie. De eerste resultaten duiden erop dat er geen afwijkingen groter dan een factor 2 te verwachten zijn tussen de voorspelde en de uit metingen bepaalde verliescoëfficiënten in de kritieke bouwphase met hoge stroom-snelheden.

Evaluatie

Tijdens de uitvoeringen van de sluitingen van het Slaak, het Tholense Gat en het Krammer is het werk begeleid met computersimulaties en uitgebreide metingen, die gedeeltelijk direct gebruikt werden om de modellen bij te stellen. Dit heeft een schat aan informatie opgeleverd die nu onderwerp van studie is. Een aantal conclusies is reeds genoemd. Tot slot volgen er nog een paar.

Hoge zandprodukties met uitschieters tot 14.000 m³/uur gemiddeld over een dag op een stort zijn zeer wel verwerkbaar gebleken. De geulvorming op het bovenwaterstort – op een gegeven moment kwam er zand uit zes pijpmonden tegelijk! – was goed te beheersen, terwijl de breedte van het stort toch 100 m

bedroeg. Per strekkende meter breedte van het stort kan per uur ongeveer 100 m³ specie verwerkt worden.

Het risico van een zettingsvloeiing bij geulen van 10 tot 20 m, die de dam in één keer zou doen bezwijken, lijkt er niet te zijn: de dam komt juist tot stand door het mechanisme van kleine zettingsvloeiingen; er zou dus alleen een geleidelijke evenwijdige teruggang van de kop van de dam verwacht kunnen worden. Vooraf was men echter zeer beducht voor het gevaar van een forse teruggang van de kop van de dam, zelfs met gevaar voor levens, als gevolg van een zettingsvloeiing over de totale hoogte van de dam. Mede daarom is in het ontwerp uitgegaan van een verticale sluiting tot een diepte van minder dan 10 m, gevolgd door een horizontale sluiting daaroverheen. Tijdens de sluitingen van de compartimenteringsdammen zijn geen grote vloeiingen opgetreden.

Bij het spuiten van zand vanaf een bestaande oever was men van te voren vooral huiverig voor erosie van de oever als gevolg van de mengselstroom. Tijdens de sluitingen zijn er echter geen problemen ontstaan, de kracht van de mengselstroom was te gering. Dit stemt overeen met de conclusie dat de mengselstroom op een zandstort onder water snel ophoudt te bestaan.

De grootte van het zandverlies tijdens een sluiting blijkt, althans naar morfologische maatstaven, redelijk goed voorspelbaar te zijn. Een belangrijke invloed op de onzekerheid in het zandverlies heeft de onzekerheid over de stroomsnelheid. De vervallen over het sluitgat blijken goed berekend te kunnen worden, maar de vertaling naar stroomsnelheden introduceert extra onnauwkeurigheid. Door de vele metingen worden nu ook de wiskundige waterbewegingsmodellen geëvalueerd, zodat met name neervorming en energieverliezen bij min of meer geleidelijke vernauwingen beter voorspeld kunnen worden.

Hoewel de evaluatie nog niet is afgerond, wijzen de ervaringen met vier sluitingen op een rij – die van het Marollegat, het Slaak, het Tholense Gat en het Krammer – erop dat aan de voorspelde relatief lage verliezen in alle vier gevallen ook werkelijk opgetreden lage verliezen hebben beantwoord. De voorspelmethode heeft niet gefaald; eerder is ze bevestigd. Door de onderzoeksinspanning vooraf, de evaluatie achteraf en de lering van het ontwerpproces kent een zandsluiting nu veel minder geheimen dan voorheen, en kan dit in veel gevallen economischer alternatief van een steensluiting beter beoordeeld en toegepast worden.

De zuidrand van het Noordelijk Deltabekken omvat het Haringvliet, het Hollands Diep, de Amer en de Nieuwe Merwede. Het Haringvliet/Hollands Diep-gebied wordt soms omschreven als de groene zoom langs de zuidrand van het industriële Rijnmondgebied, maar helaas vaker als bezinkput aan het eind van de riolen van West-Europa, de Rijn en de Maas.

Dit laatste heeft alles te maken met de manier waarop de mens van de watersystemen in dit gebied gebruik en misbruik maakt. Van oudsher gebruikte men ze voor scheepvaart en visserij, en om er water aan te onttrekken voor de landbouw of voor menselijk gebruik. Vaak ook vormde het water een bedreiging waartegen de mens zich beschermen moest door het bouwen van dijken.

Met de toenemende industrialisatie werd het water steeds meer gebruikt als stortplaats van afvalstoffen, met als gevolg dat de kwaliteit en het ecologisch functioneren van water en waterbodembodem thans ernstig worden bedreigd. Het resultaat is dat veel gebruiksfuncties van het gebied niet, of niet goed meer tot hun recht komen; dit geldt met name voor de natuur, de recreatie, de drinkwatervoorziening en de visserij.

Begin 1984 is de directie Benedenrivieren van de Rijkswaterstaat een verkennend onderzoek begonnen naar de kwaliteit van de waterbodembodem in het gebied. In dit artikel wordt, aan de hand van de eerste resultaten van dat onderzoek, een beeld geschetst van de huidige vervuiling van de waterbodembodem van de vier genoemde rivieren.

De algemene doelstelling van de studie is, na te gaan hoe en in welke mate de waterbodembodem in het Noordelijk Deltabekken vervuild is. Met name is getracht de kwaliteit in kaart te brengen van de bovenste 20 cm van de waterbodembodem – de zogenaamde toplaag –, die vooral van belang is voor de bodemorganismen. Verder is geprobeerd in beeld te brengen hoe het sedimentatiepatroon en de verontreinigingsgraad van het sediment vanaf 1970 zijn veranderd.

Om deze doelstellingen te verwezenlijken

De waterbodembodem langs de zuidrand van het Noordelijk Deltabekken

werden zo'n 60 monsterplaatsen uitgezocht waarvan met een redelijke betrouwbaarheid was aan te nemen dat de waterbodembodem er een min of meer ongestoorde sedimentatiegeschiedenis had gehad. Oude zandwinputten of baggergeulen zijn bewust vermeden; die zullen overigens wel in een later onderzoek worden betrokken.

Op de monsterplaatsen werden globaal 600 monsters genomen van de toplaag. Deze monsters en de daaraan uitgevoerde analyses karakteriseren de tegenwoordige kwaliteit van het waterbodembodemoppervlak. Daarnaast zijn er 65 boringen verricht, tot een diepte van maximaal 4 meter, die inzicht verschaffen in de bouw van de verschillende bodemlagen en de vervuiling ervan.

De monsters zijn in het laboratorium onderzocht op de korrelgrootteverdeling (de fracties $< 2 \mu\text{m}$, $< 16 \mu\text{m}$ en $< 50 \mu\text{m}$), het gehalte aan kalk en organische stof, de voedingsstoffen fosfaat en nitraat, de zware metalen zink, cadmium, arseen en kwik, en organische microverontreinigingen zoals PCB's, bestrijdingsmiddelen (HCB) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)

Vóór het ingrijpen van de mens bestond het gebied uit zandplaten, slikken en gorzen, doorsneden door talrijke stromen en kreken. In de 12e en 13e eeuw vonden de eerste bedijkingen plaats. Landaanwinning op grotere schaal dateert van de 14e eeuw. De natuur hernam de haar ontnomen rechten herhaalde malen. De Sint Elisabethsvloed van 1421 is hiervan een sprekend voorbeeld. Tijdens deze natuurramp ging veel in cultuur gebracht land verloren. Ook de Biesbos is toen gevormd.

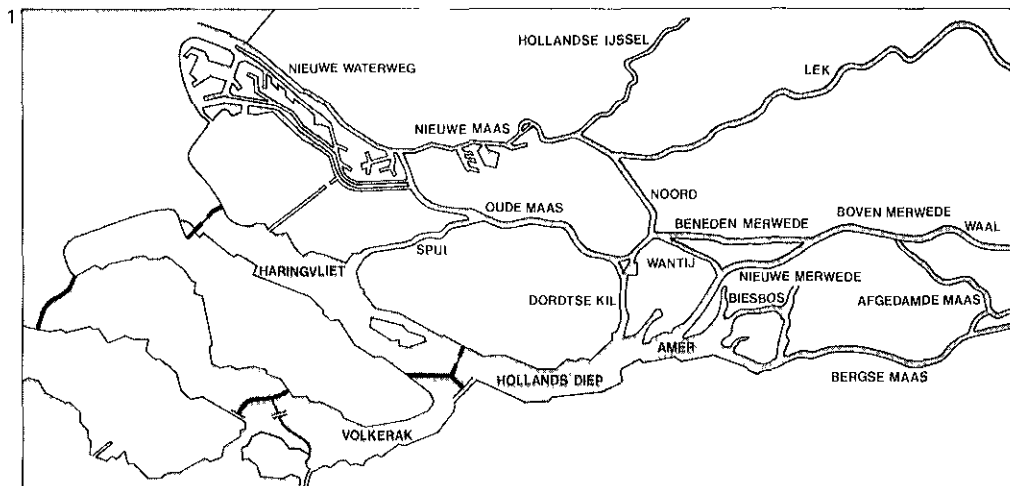


Fig 1 Overzicht van het benedenrivierengebied

Aan het eind van de vorige eeuw werd om waterhuishoudkundige redenen de Nieuwe Merwede gegraven, dwars door de Biesbos heen. Toen werd ook de Bergse Maas aangelegd, als een nieuwe, op de Amer aansluitende benedenloop van de Maas. Door deze ingrepen veranderde het afwateringsproces drastisch. Het meest recente voorbeeld van een ingreep door de natuur is de watersnoodramp van 1953, die weer leidde tot de Deltawet en het Deltaplan, waardoor de Zeeuwse en Zuidhollandse getijdewateren werden afgesloten en gecompartmenteerd. Voor het Haringvliet/Hollands Diep-gebied had de voltooiing van de Haringvlietdam in 1970 een aantal zeer ingrijpende veranderingen tot gevolg.

Ondanks de reeks menselijke ingrepen heeft het gebied een bijzonder grote waarde behouden voor natuur en landschap. Langs de oevers liggen belangrijke natuurgebieden zoals gorzen, grienden en slikken, waarin veel soorten vogels hun voedsel- of overwinteringsplaatsen vinden. Het gebied is erg in trek voor de water- en oeverrecreatie. Ook zijn er belangrijke industriële vestigingen in de regio. Het meest in het oog springt het industriegebied bij Moerdijk. De hier aanwezige industrie loost alleen koelwater; hetzelfde is het geval bij de Amercentrale.

De scheepvaart heeft van oudsher een bijzondere plaats ingenomen. Een gedeelte van het gebied wordt druk bevaren door de binnenscheepvaart. Vanuit de Dordtse Kil is er tevens zeescheepvaart naar het industrieterrein Moerdijk; hiertoe is in het Hollands Diep een vaargeul gebaggerd.

In het verleden is onder andere ten behoeve van de aanleg van de Deltawerken veel zand

gewonnen. Momenteel wordt alleen nog aan zandwinning gedaan in het Hollands Diep. Sommige van de door de zandwinning ontstane putten worden opgevuld met baggerslib. Dat slib moet dan altijd uit de regio zelf afkomstig zijn.

Het gebied vervult ook een belangrijke functie in de wateraan- en -afvoer van de aangrenzende agrarische gebieden. Vanuit het Haringvliet en de Amer wordt water ingenomen ten behoeve van de drinkwatervoorziening, onder andere van Rotterdam. In de Biesbos zijn daartoe grote spaarbekkens aangelegd.

Tenslotte is het gebied door zijn enorme bergingsvermogen van groot belang voor de veiligheid bij stormvloed.

Veranderingen

Vóór de afsluiting van het Haringvliet werd de waterbeweging in het gebied vooral bepaald door het samenspel van wateraanvoer van Rijn en Maas en het getij op zee. Het merendeel van het door de rivieren aangevoerde water

werd via het Haringvliet afgevoerd, de rest via de Nieuwe Waterweg. Het getijverschil bedroeg ongeveer 2 meter.

De afvoer van de Boven-Rijn bij Lobith varieert globaal tussen de extremen 600 m³/s en 16 500 m³/s, met een gemiddelde afvoer van 2200 m³/s. De afvoer van de Maas bij Lith varieert tussen de extremen 0 m³/s en 4500 m³/s, en bedraagt gemiddeld 320 m³/s.

Met de afsluiting van het Volkerak in 1969 en die van het Haringvliet in 1970 veranderde de waterhuishouding ingrijpend. Sinds 1970 bedraagt het getijverschil onder gemiddelde omstandigheden nog slechts 20 tot 35 cm; het gemiddelde waterpeil ligt op 50 cm boven N.A.P. De eb- en vloedstromen zijn sterk afgenomen. De Haringvlietssluisen dienen als bescherming tegen hoog water, maar daarnaast zijn ze de kraan waarmee de waterbeweging in het benedenrivierengebied binnen zekere grenzen wordt geregeld. Naarmate de sluisen verder dichtgezet worden, krijgt de Nieuwe Waterweg relatief meer rivierwater af te voeren. De kraan wordt vooral bij lage afvoeren gebruikt, om het via de Nieuwe Waterweg binnenstromende zoute zeewater terug te dringen.

Een andere mogelijkheid tot sturen is ontstaan door de compartimentering van het Deltagebied. Het vervulde Rijn- en Maaswater kan bij de Volkeraksluisen en voor een deel ook bij de Haringvlietssluisen worden tegenhouden. Het belang daarvan bleek in november 1986, toen bij de Sandoz-giframp grote hoeveelheden schadelijke stoffen bij Bazel in de Rijn terecht kwamen. Door de Haringvlietssluisen dicht te zetten werd de gifwolk voor 80% de Nieuwe Waterweg opgestuurd, waardoor het Haringvliet en het Hollands Diep nog enigszins gespaard bleven.

Vóór 1970 werd er via de Rijn en Maas per saldo ongeveer net zo veel zand en slib naar het Hollands Diep en het Haringvliet aangevoerd als er via het Volkerak en bij de mond van het Haringvliet naar de Noordzee werd afgevoerd; de rivier verkeerde in evenwicht. Lokaal waren er toen wel verschillen: gebieden waar erosie plaatsvond en gebieden waar sedimentatie optrad. Zo vond er in het Haringvliet aanvoer van schoon zeesediment plaats. Ook waren door de forse eb- en vloedstromen diepe geulen uitgeschuurd waarvan de bodem uit zand bestond. Het fijne slib kwam alleen op de rustiger plaatsen zoals gorzen, platen en slikken tot bezinking, maar werd voor het overgrote deel naar de Noordzee afgevoerd.

In 1970 werd het evenwicht verstoord. De forse eb- en vloedstromen verdwenen

nagenoeg geheel, en de grote waterdoorvoer verminderde sterk. Men kan zeggen dat de rivierafvoer in feite te klein was geworden voor de bedding. Sindsdien is de rivier bezig te reageren op de verandering, en poogt hij door middel van versterkte sedimentatie zijn bedding op te vullen, om zo weer een nieuw evenwicht te vinden.

Jaarlijks zetten Rijn en Maas 5,5 miljoen m³ zand en slib in het bekken af. Deze hoeveelheid wordt echter niet gelijkmatig verdeeld over het gebied. De sedimentatie begon in 1970 daar, waar – komend van de bovenrivieren – de stroomsnelheid het eerst merkbaar afnam. In de Nieuwe Merwede en de Amer. Niet alleen het zand, maar ook het slib dat vroeger naar de Noordzee werd afgevoerd kwam nu tot bezinking. Uit de jaarlijkse dieptelodgingen blijkt dat de Nieuwe Merwede in de periode 1970–1975 sterk verondiept is, en in de jaren daarna veel minder. Rond 1975 heeft deze rivier blijkbaar nagenoeg een nieuwe evenwichtssituatie bereikt. Ook de Amer is sterk verondiept in de periode 1970–1975; het proces verloopt daar echter langzamer. Alleen het bovenstroomse gedeelte benadert momenteel een evenwichtssituatie.

Op dit moment bezinkt het meeste sediment in het Hollands Diep. In de verre toekomst zal ook het Haringvliet met slib worden opgevuld, en zal er een Biesbosachtig landschap ontstaan. De oude diepe geulen worden het snelst opgevuld. Sommige geulen in het bovenstroomse gedeelte van het Hollands Diep, in de Nieuwe Merwede en in de Amer zijn al 4 meter of meer ondieper geworden, door afzetting van slib van een matige tot slechte kwaliteit. In het Haringvliet is de sliblaag op dit moment gemiddeld nog niet dikker dan 10 cm.

Vóór de afsluiting was het Haringvliet/Hollands Diep-gebied een getijdebekken. Er waren grote tijverschillen en het water was brak. In dit bijzondere overgangsmilieu, met zijn stroomafwaartse overgang van zoet naar zout, vond men veel karakteristieke plant- en diersoorten.

Na 1970 veranderde het estuarium in een zoetwatermeer, met geringe getijverschillen en een hoge vuilbelasting. De plant- en diersoorten veranderden mee. Dat deze verandering nog niet afgelopen is blijkt uit het feit dat lokaal nog steeds zoutminnende plantensoorten voorkomen, die er eigenlijk niet meer thuis horen.

De geringe getijverschillen zijn er de oorzaak van dat de intergetijdezone veel kleiner is geworden. In dat gebied vinden veel vogelsoorten zoals wulp, bonte strandloper en winterta-



ling hun voedsel. Het kleiner worden van de intergetijdezone betekende ook vermindering van deze vogelsoorten. Een ander gevolg is dat de golven nu steeds op dezelfde hoogte tegen de oever slaan, waardoor die sterk afkalft, soms wel tientallen meters. De Rijkswaterstaat heeft in samenwerking met het Ministerie van Landbouw en Visserij de afgelopen jaren bij natuurgebieden zoals de Beninger en Korendijkse Slikken oeververdedigingen aangebracht om verdere aantasting te voorkomen en zo mogelijk de oorspronkelijke toestand te herstellen, want er zijn nog steeds grote natuurwaarden aanwezig. Een groot deel van de Biesbos is aangewezen als 'wetland' een waterrijk gebied van internationale betekenis in het kader van de zogenaamde Ramsar-conventie.

De meeste buitendijkse gebieden in het

Hollands Diep en het Haringvliet zijn ingevolge de *Natuurbeschermingswet* aangewezen als beschermd of als staatsnatuurmonument.

De waterbodem

Wat zijn waterbodems: bodems die of permanent of af en toe onder water staan. We rekenen ertoe bodems van rivieren, meren, kanalen, sloten, de zee, uiterwaarden, gorzen en grienden.

In het rivierwater zweven veel fijne deeltjes, vooral kleideeltjes die de rivier bovenstrooms heeft opgenomen, en verder dode en levende micro-organismen. Benedenstrooms bezinken het meegevoerde zand en de zwevende deeltjes. Dit proces wordt sedimentatie genoemd. In Nederland bestaan nagenoeg alle waterbodems uit sediment.

De waterbodem, als onderdeel van het watersysteem, is de standplaats, rustplaats en voedselbron voor vele plantensoorten en diersoorten, zoals schelpdieren, wormen, kreeftachtigen en insecten. Die vormen op hun beurt weer het voedsel voor hogere organismen zoals vissen en vogels. Via deze weg worden ook schadelijke stoffen doorgegeven.

De waterbodem vormt ook een bescherm laag voor het grondwater omdat hij werkt als een filter voor verontreinigingen.

De vervuiling van de waterbodem is de schuld van de mens. Door menselijke activiteiten worden stoffen in het oppervlaktewater geloosd die er niet, of niet in zo'n grote hoeveelheid in thuishoren. De geloosde verontreinigingen hechten zich aan de zwevende stof als aan een magneet. We noemen dit proces adsorptie. Zo reinigt de zwevende stof als het ware het water, maar wordt zelf vuil. Wanneer de zwevende stof benedenstrooms bezinkt en een deel wordt van de waterbodem, raakt die op zijn beurt vervuild.

Sommige lozingen vinden plaats vanuit een direct aanwijsbare bron, bijvoorbeeld een lozingspijp, een schip of een stortplaats, we spreken dan van puntlozingen. Er komen ook verontreinigingen in de rivier vanuit zogenaamde diffuse bronnen, als gevolg van bestrijdingsmiddelen in de landbouw en door neerslag van luchtverontreinigingen. De diffuse lozingen vormen ongeveer de helft van de totale verontreiniging van het water en de waterbodem.

Wanneer de waterbodem verontreinigd is met chemicaliën, dan kunnen die worden opgenomen door de bodemorganismen en zo verder worden verspreid in de hele voedselketen. Zo komen ze dan uiteindelijk ook bij de mens. De gehalten aan zware metalen en organische microverontreinigingen die op dit moment worden gemeten in vissoorten als paling in het Hollands Diep en het Haringvliet zijn te hoog. Ook in wormen en mosselen zijn de gehalten te hoog. Muggelarven in het gebied vertonen afwijkingen aan de kop, en er zijn aanwijzingen dat de watervogels die in het Hollands Diep en het Haringvliet hun voedsel zoeken zich minder goed voortplanten dan watervogels die in schonere gebieden fourageren.

Tenslotte wordt de waterbodem langzamerhand zo opgeladen met schadelijke stoffen dat er gevaar kan ontstaan voor de kwaliteit van het grondwater.

Gelukkig is het nog niet zo ver dat er directe gevaren voor de volksgezondheid zijn. Maar

de natuur geeft signalen af dat het niet goed met haar gaat, en die signalen moeten we serieus nemen.

Bij de beoordeling van de waterbodem gaat het vooral om het milieu-effect van de vervuilde sedimenten, en niet zo zeer om de totale vervuilinglast. Het milieu-effect wordt voornamelijk bepaald door de mate waarin de verontreinigingen – zware metalen en organische microverontreinigingen – vrij in het milieu kunnen bewegen, en dus door planten en dieren kunnen worden opgenomen. Een groot aantal mechanismen speelt hierbij een rol. De belangrijkste zijn de binding aan fijne deeltjes, kleiner dan 16 micron, en aan organische stof. Daarnaast kunnen zware metalen vastgelegd worden in de vorm van een neerslag, bijvoorbeeld metaalcarbonaten of metaalsulfiden.

Tot op heden is onze kennis omtrent deze mechanismen en de daarmee samenhangende milieu-effecten nog lang niet volledig. Een uniform toepasbare normstelling voor de waterbodemkwaliteit wordt voorbereid door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

In dit artikel is in afwachting van zo'n normstelling de kwaliteit van de waterbodem bepaald met behulp van de algemeen door de Rijkswaterstaat gehanteerde klasse-indeling voor de beoordeling van baggerspecie. Er wordt dan een verontreinigingsklasse toegekend aan het bodemonmonster, waarbij rekening wordt gehouden met de binding aan fijne deeltjes en organische stof, en met de kenmerken van het gebied waaruit het monster afkomstig is. De volgende vier klassen worden onderscheiden: I – niet of nauwelijks verontreinigd; II – matig verontreinigd; III – verontreinigd (overeenkomend met de kwaliteit van het Rijnsediment in 1980); IV – lokaal ernstig verontreinigd.

Het verspreidingsbeeld van de deeltjes kleiner dan 16 micron, de organische stof, de zware metalen en de organische microverontreinigingen wordt voornamelijk bepaald door de aanvoer van het vervuilde sediment vanuit de Boven-Merwede en de Maas.

De verontreinigingsgraad van dit sediment is niet constant. Nadat de gehalten decennia lang stegen, valt na 1975 een verbetering van de sedimentkwaliteit waar te nemen. Dit houdt in dat bij de interpretatie van vervuilingsspatronen rekening gehouden dient te worden met de herkomst en de ouderdom van het sediment.

De verontreinigingen zijn voornamelijk gebonden aan de fijne deeltjes. Er mag dus

een samenhang verwacht worden tussen de mate van vervuiling en het afzettingsmilieu, behalve voor arseen, dat een iets ander afzettingspatroon laat zien. Dit is zowel zichtbaar op grote schaal, wanneer we het patroon van de verontreinigingen over het gehele gebied bekijken, als op kleine schaal, wanneer we kijken naar de verschillen tussen bijvoorbeeld de platen en de geulen.

Allereerst worden nu de basiseigenschappen besproken, dat wil zeggen de korrelgrootte en het percentage organische stof van de waterbodem. Daarna komen de verontreinigingen aan bod.

Het sedimentatiepatroon van de deeltjes kleiner dan 16 micron is vrijwel hetzelfde als dat van de organische stof.

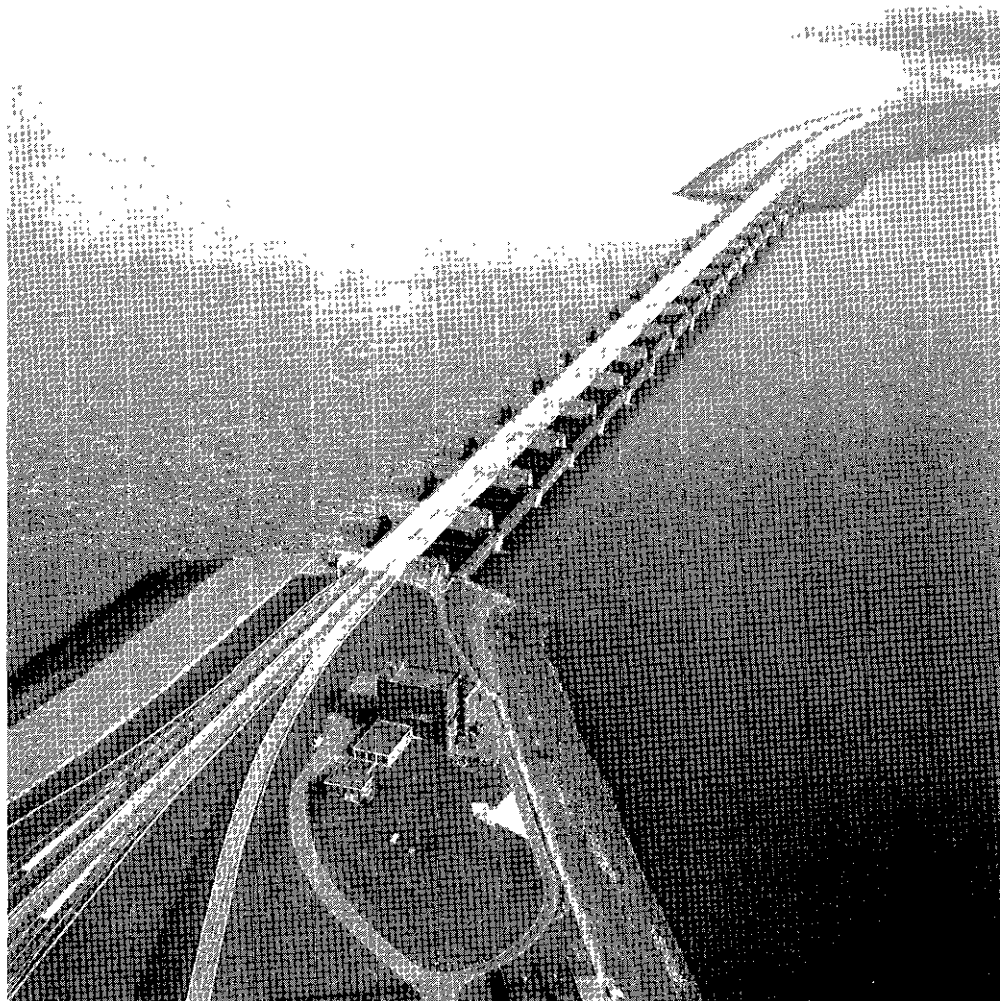
Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat de meeste fijne deeltjes bezinken in het

westelijk deel van de Amer en van de Nieuwe Merwede en in het Hollands Diep, dus in een relatief rustig afzettingsmilieu.

Ten aanzien van cadmium moet het oppervlaktesediment in de Amer en de Nieuwe Merwede tot klasse III en IV gerekend worden, in het Hollands Diep en het Haringvliet tot klasse II. Kwik valt in de Nieuwe Merwede overwegend in klasse IV, in de Amer, het Hollands Diep en in het Haringvliet in klasse II en soms I. Het zinkgehalte valt in de Amer zowel als in de Nieuwe Merwede in klasse III en gedeeltelijk in IV, in het Hollands Diep in klasse II, en in het Haringvliet overwegend in III.

Op grond van de arseenconcentratie valt de Nieuwe Merwede, het oostelijk deel van de

Spuien met de
Haringvlietssluisen



Amer en het westelijk deel van het Haringvliet in klasse III; het overige deel van de Amer valt in klasse II. Het Hollands Diep wordt gekenmerkt door lagere arseenconcentraties, die vallen in klasse I en II. Arseen komt niet boven de grens van klasse IV-specie, maar kent een uitgebreid afzettingsgebied behorende tot klasse III. Een mogelijke verklaring hiervoor is het afwijkende chemische gedrag van arseen. Als gevolg van chemische veranderingen die optreden in de waterbodem worden de zware metalen als een neerslag of aan fijne deeltjes vastgelegd. *Met arseen is dit minder het geval.* Daarbij vindt arseen een sterke concurrent in het in relatief hoge concentraties voorkomende fosfaat, dat met het arseen wedijvert om de beschikbare bindingscapaciteit. Dit leidt tot een afname van sedimentgebonden piekconcentraties (klasse IV) en de daaraan gekoppelde verhoging van de achtergrondconcentratie (klasse III). Op grond van de concentratie van organische microverontreinigingen kunnen vrijwel alle gebieden voor de PAK's tot klasse III gerekend worden. HCB en PCB's vallen in alle gebieden in respectievelijk klasse II en III, met uitzondering van de Nieuwe Merwede, waar tevens lokaties met klasse IV voorkomen.

Het algemene verspreidingsbeeld voor zware metalen en organische microverontreinigingen is het volgende. De Nieuwe Merwede, de Amer en het westelijk deel van het Haringvliet worden gekenmerkt door sterk vervuild oppervlakt sediment. Met name in de Amer en in de Nieuwe Merwede kan voor vrijwel alle onderzochte stoffen het sediment tot klasse IV gerekend worden. Het centrale deel van het gebied, het Hollands Diep, wordt gekenmerkt door relatief schone oppervlakt sedimenten. Het Haringvliet is globaal weer wat slechter van kwaliteit. Wanneer we naar de toplaag van de waterbodem over het hele gebied kijken en die vergelijken met de mate van vervuiling op grotere diepte in de waterbodem, dan is een globale driedeling te maken op basis van de kwaliteit en de ouderdom van het sediment. In de Amer en de Nieuwe Merwede wordt de waterbodem gekenmerkt door een hoge vervuilingsgraad en een plaatselijk minstens 2 meter dikke vervuilde laag. Deze laag is in de periode 1970-1975 afgezet op lokaal eveneens vervuild riviersediment. Hierdoor zijn de veranderingen in de mate van vervuiling in het sediment met de diepte niet eenvoudig te interpreteren. Dit heeft tot gevolg dat voor de Amer en de Nieuwe Merwede het afsluitings-tijdstip - 1970 - moeilijk is terug te vinden in de sedimentkolom. Er vindt weinig of geen

afzetting meer plaats van schoner nieuw sediment. De kwaliteit van de toplaag zal ook in de toekomst slecht blijven.

Het Hollands Diep daarentegen wordt gekenmerkt door een dik pakket schoner riviersediment. Dit ligt op vuil, tussen 1970 en 1975 afgezet riviersediment, dat vergelijkbaar is met dat van de Amer en de Nieuwe Merwede. Onder dit vuile sediment bevindt zich het sediment van voor de afsluiting. Dit sediment, een mengsel van rivier- en zeersediment, is relatief schoon. Hier vindt bovendien nog steeds in grote mate afzetting plaats van nieuw sediment. In de toekomst zal de waterbodembodemkwaliteit nog verder verbeteren. Het gebied ten westen van Tiengemeten tenslotte wordt gekenmerkt door een dunne, sterk vervuilde toplaag van ongeveer 10 cm, op relatief schoon zeersediment. De monsters die hier zijn gestoken zijn eigenlijk mengmonsters van sediment uit de periode onmiddellijk vóór en na 1970. Daarom is de kwaliteit gemiddeld beter, zodat dit sediment de klasse-IV-grens meestal niet haalt. Alhoewel enige bijmenging van schoon zeersediment door opwoeling van bodemdieren heeft plaatsgevonden, speelt het bodemleven zich voornamelijk af op en in de bovenste centimeters van de waterbodem, die opgebouwd is uit sterk vervuild riviersediment. Door de op dit moment geringe afzetting van nieuw sediment zal hier voorlopig weinig veranderen. Pas in de verre toekomst, wanneer het Hollands Diep is opgevuild, zal ook hier de kwaliteit van de bovenlaag van de waterbodem verbeteren. Er zijn duidelijk signalen dat de levensgemeenschappen die direct afhankelijk zijn van de kwaliteit van de waterbodem door de vervuiling ontregeld zijn. Toch zijn er een aantal ontwikkelingen waar te nemen die zich de komende jaren voort zullen zetten. De levensgemeenschappen in het Hollands Diep hebben zich duidelijk beter ontwikkeld dan die in het Haringvliet. Dit komt tot uitdrukking in onder andere een rijkere bodemfauna en een hogere visstand. Bovendien lijken de duikenden en de visetende watervogels zich sinds het begin van de tachtiger jaren in toenemende mate in het Hollands Diep te concentreren. Hoewel een directe relatie met de waterbodem niet is aan te geven - ook de algemene verbetering van het Rijnwater van de laatste jaren is natuurlijk heel belangrijk -, is er vermoedelijk toch wel een samenhang. In dat verband is het bedenkelijk dat de meest vervuilde bodems binnen het hele gebied, die van de Amer en Nieuwe Merwede, direct gelegen zijn naast het belangrijke natuurgebied de Biesbos.

Met het gereedkomen van de compartimenteringswerken in april van 1987 is een nieuwe waterstaatkundige eenheid ontstaan, die het Krammer-Volkerak, de Eendracht, het Zoommeer en het Bathse Spuikanaal omvat. In zijn geheel wordt dit gebied kortweg aangeduid als het Zoommeer.

Het Zoommeer

In december 1975 besloot de regering dat het oostelijk gedeelte van de Oosterschelde bij de bouw van een stormvloedkering in de Oosterscheldemonnd zou worden afgedamd met behulp van compartimenteringsdammen. Het gebied ten oosten van deze dammen zou dan omgevormd worden tot een zoet meer.

Er waren verscheidene redenen voor de compartimentering en het realiseren van een zoet Zoommeer. Allereerst is het getijvrij maken van de Schelde/Rijn-verbinding met België in een tractaat overeengekomen. Bovendien zou compartimentering van de Oosterschelde leiden tot beperking van oppervlakte en inhoud van het getijgebied, zodat na voltooiing van de stormvloedkering voldoende getij op het Oosterscheldebekken zou blijven bestaan. De compartimentering zou daarnaast bijdragen tot de beëindiging van de zoutinfiltratie van het Noordelijk Deltabekken bij de Volkeraksluizen. En tenslotte diende het compartimenteringsplan om in een deel van het Zuidelijk Deltabekken zoet water beschikbaar te krijgen ten behoeve van de landbouw, en om de goede afwatering veilig te stellen van de Brabantse rivieren, ondanks het gereduceerde getij op de Oosterschelde.

Het parlement heeft in 1976 de besluiten inzake de Oosterschelde en het zoete Zoommeer bekrachtigd. In het noorden wordt het Zoommeer begrensd door de Volkerakdam met de Volkeraksluizen, en door de Hellegatdam. In het westen wordt de begrenzing gevormd door de Grevelingendam, de Philipsdam, met daarin opgenomen de Krammersluizen, en de Oesterdam, waarin de Bergse-Diepsluis is opgenomen. In het oosten wordt het Zoommeer begrensd door de

Brabantse oever en de Markiezaatskade. Aan de zuidkant bevindt zich het Bathse Spuikanaal, dat de verbinding vormt tussen het Zoommeer en de Westerschelde.

Het Zoommeer is onderdeel van de Schelde/Rijn-verbinding; het heeft dus een belangrijke scheepvaartfunctie. Daarnaast vervult het tevens een functie voor de doorgaande en in mindere mate ook voor de plaatsgebonden recreatievaart.

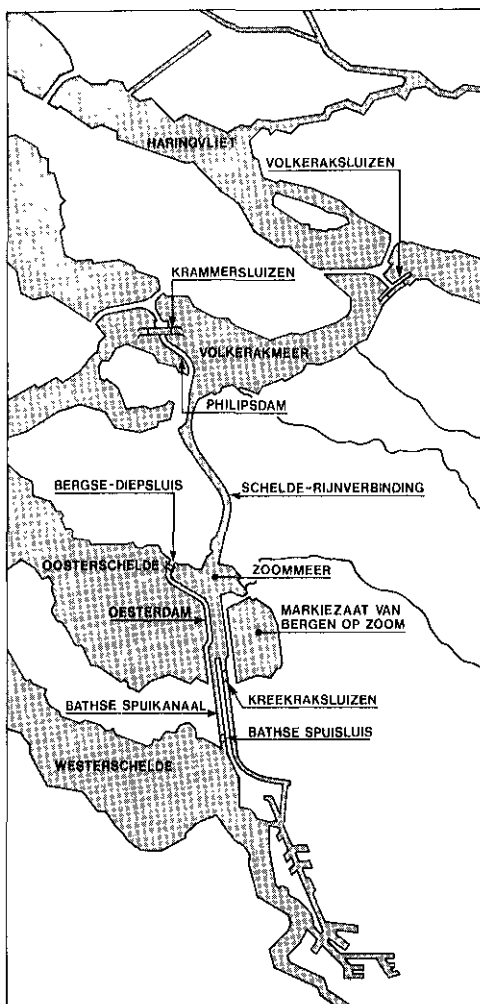
Bovendien behoort het Zoommeer tot de waterhuishoudkundige hoofdinfrastructuur. Er bestaan immers relaties met het Noordelijk Deltabekken via de Volkeraksluizen, met de Oosterschelde via de Krammersluizen en de Bergse-Diepsluis, en met de Westerschelde via het Bathse Spuikanaal. Daarnaast heeft het Zoommeer een belangrijke functie als ontvanger van afstromend water uit de Brabantse rivieren met hun stroomgebied van 165 000 ha, en voor de opvang van neerslagoverschotten uit de afwaterende polders. Voor de landbouw is het Zoommeer in de toekomst vooral van belang als leverancier van zoet water.

De omvang van de beroepsvisserij op het meer zal naar verwachting gering zijn. Voor de zoetwatersportvisserij kan het gebied daarentegen van grote betekenis worden.

Een zeer belangrijke functie van het Zoommeer, die zich in de toekomst met name kan ontwikkelen op de droogvallende gronden en de gebieden ondiep water, is tenslotte de natuurwetenschappelijke betekenis.

Ten behoeve van waterbeheer en scheepvaart bevinden zich aan de randen van het Zoommeer een aantal beheersmiddelen, die we nu de revue zullen laten passeren.

Als eerste de Volkeraksluizen. Behalve



schutsluizen bevat dit complex ook een inlaatsluis, waarmee zoet water ingelaten kan worden vanuit het Hollands Diep. Dit water kan gebruikt worden voor handhaving van het peil op het Zoommeer, en voor doorspoeling, om verzilting tegen te gaan. Het inlaatdebiet is regelbaar door het kiezen van een of meer openingen en het instellen van de hefhoogte van de schuiven; de maximale inlaatcapaciteit bedraagt 350 m³/s.

De Krammer- en de Kreekraksluizen zijn daarentegen uitsluitend scheepvaartsluizen, die voor het minimaliseren van de uitwisseling tussen het zoete Zoommeer en de aangrenzende zoute wateren – respectievelijk de Oosterschelde en het Antwerps Kanaal – zijn uitgerust met een zout/zoet-scheidingssysteem. Dit systeem kan in tijden dat weinig inlaatwater beschikbaar is, bijvoorbeeld door

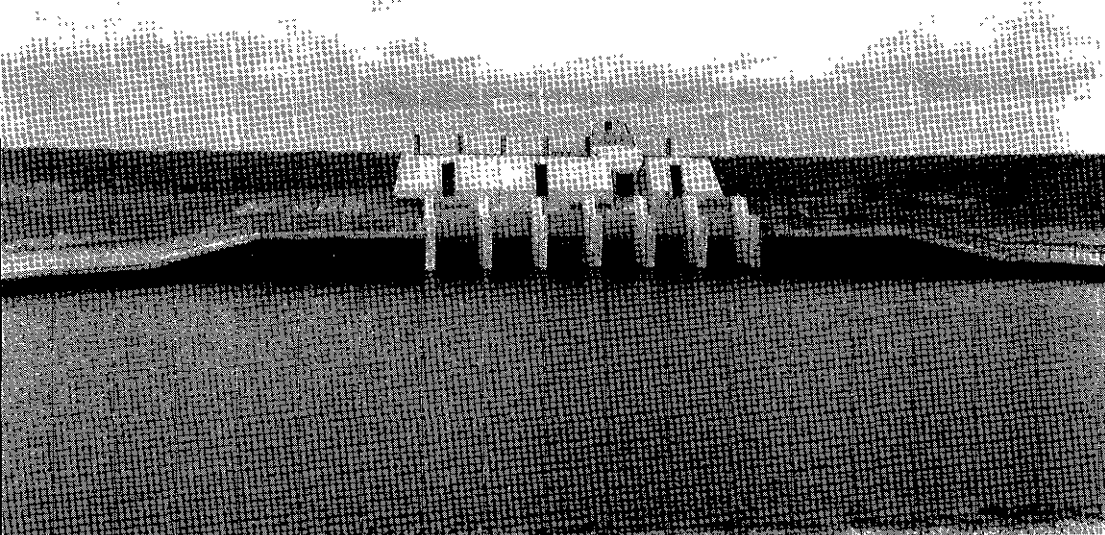
droogte, tevens gebruikt worden om het zoetwaterverlies vanuit het Zoommeer, dat optreedt als gevolg van het schutten, zoveel mogelijk te beperken, ofwel zoet water terug te winnen.

Het zout/zoet-scheidingssysteem maakt gebruik van het feit dat zout water zwaarder is dan zoet water. Bij schuttingen van de zoute kant naar de zoete kant zal in het normale geval het zwaardere zoute water door een geperforeerde sluisvloer afgevoerd worden naar een laag gelegen bufferbekken, terwijl via wandschuiven zoet water bovenop het zoute water wordt ingelaten. Dit proces komt tot stilstand zodra de kolk geheel gevuld is met zoet water. Zo wordt voorkomen dat er zout water in het zoete meer wordt gebracht. Bij schuttingen van zoet naar zout zal het zoete water in de kolk bij normaal schutbedrijf verloren gaan. Het terugwinnen bestaat er nu in dat via de geperforeerde vloer zout water uit een hoger gelegen bekken in de kolk wordt gebracht, terwijl het bovendrijvende zoete water tegelijkertijd via de wandschuiven teruggevoerd wordt naar het zoete meer. Bij normaal continu schutbedrijf bedraagt het zoetwaterverlies bij zowel de Kreekraksluizen als de Krammersluizen 15 à 20 m³/s. Door terugwinning kan dit verlies beperkt worden tot 7,5 à 10 m³/s. Een nadeel is dat de schuttijden langer worden en dat de zoutbelasting op het meer toeneemt. Het teruggewonnen zoete water zal immers ook enig zout water meenemen. Vanwege deze nadelen zal het procédé van terugwinnen slechts worden toegepast in extreem droge perioden.

De Bergse-Diepsluis moet het stellen zonder zout/zoet-scheidingssysteem, en dat kan ook, gezien de betrekkelijk geringe afmetingen van deze sluis. Wel zijn er voorzieningen getroffen voor een luchtbellenscherm om de zoutindringing door deze sluis zoveel mogelijk te beperken.

Het Bathse Spuikanaal verbindt het Zoommeer met de Westerschelde. In de dijk tussen het kanaal en de Westerschelde bevindt zich de Bathse Spuisluis. Hier wordt via zes kokers onder vrij verval gespuid op de Westerschelde. Er is een beperkte debietregeling mogelijk door een of meer kokers te sluiten. Variatie in de schuifstand is hier niet mogelijk. Ook moet steeds gedurende een gehele laagwaterperiode worden geloosd.

De Bathse Spuisluis dient in eerste instantie voor de peilbeheersing van het Zoommeer. Na overvloedige regenval bijvoorbeeld kan het overtollige water worden geloosd op de Westerschelde. Ook dient deze sluis als uitlaatkraan bij doorspoeling van het meer met



De Bathse Spuisluis gezien
vanaf het Kanaal

zoet water. Vanwege het getij op de Westerschelde is lozing echter alleen mogelijk gedurende de periode van laag water. De maximale capaciteit van de Bathse Spuisluis bedraagt gemiddeld over een etmaal $150 \text{ m}^3/\text{s}$, onder gemiddelde getij-omstandigheden op de Westerschelde.

Behalve de zojuist besproken kunstwerken zijn er nog twee belangrijke aanvoerpunten van water naar het Zoommeer te noemen: de Roosendaalse en Steenbergse Vliet, en de Mark en Dintel. Deze Brabantse rivieren lozen hun water onder vrij verval op het Zoommeer. Gezien de omvang van het er op afwaterende gebied kan de afvoer van beide rivieren sterk fluctueren, onder invloed van neerslag. Onder gemiddelde omstandigheden bedraagt de gezamenlijke afvoer $15 \text{ m}^3/\text{s}$, wat kan toenemen tot 100 à $120 \text{ m}^3/\text{s}$ in extreem natte perioden. Voor de waterhuishouding in het gebied moet tevens rekening worden gehouden met directe lozingen van polderwater op het Zoommeer, die kunnen variëren van $1 \text{ m}^3/\text{s}$ onder gemiddelde omstandigheden tot $10 \text{ m}^3/\text{s}$ bij veel neerslag.

In tijden met ruime aanvoer van water zal er weinig water worden onttrokken ten behoeve van de landbouw. De behoefte aan water voor de landbouw is het grootst op het moment dat er relatief weinig water beschikbaar is.

Waterbeheer

Eind april 1987 heeft de Minister van Verkeer en Waterstaat het te volgen waterbeheer voor het Zoommeer vastgesteld, op basis van een advies van de Raad van de Waterstaat. Vanwege de genoemde wisselende factoren, zoals de beschikbaarheid en de kwaliteit van

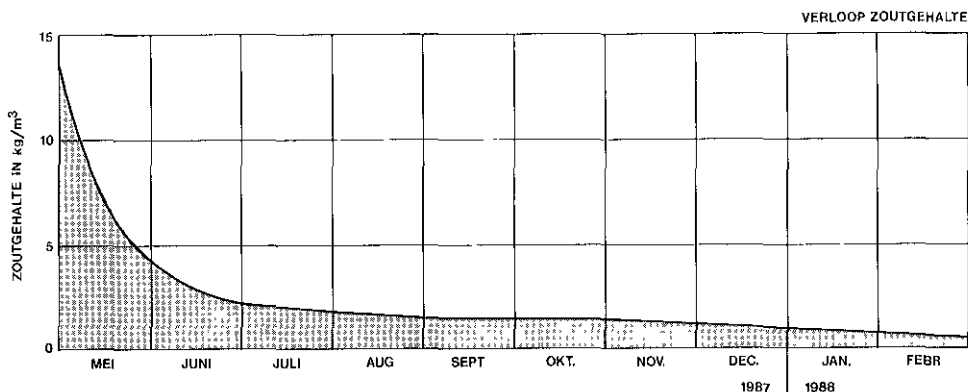
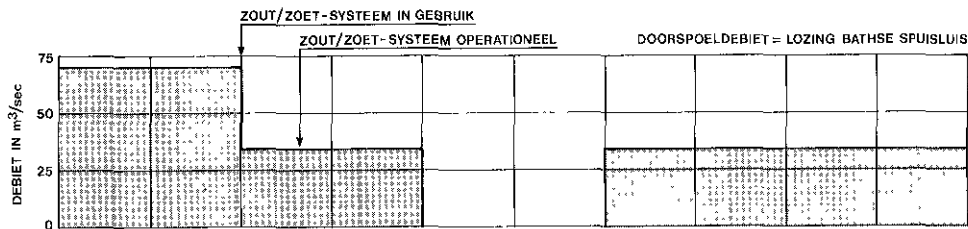
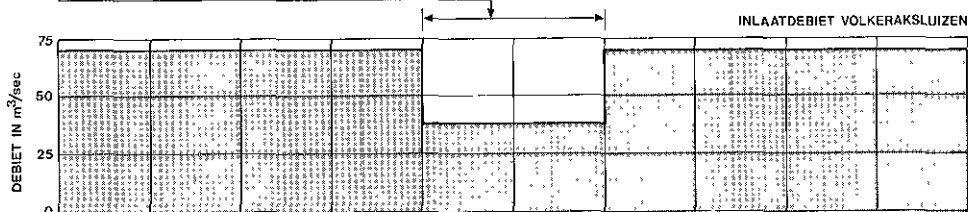
het inlaatwater, is een flexibel beheer noodzakelijk.

Centraal staat de beperking van de inlaat van verontreinigende stoffen vanuit het Hollands Diep. Concreet betekent dit vermindering of afsluiting van de inlaat zo spoedig mogelijk nadat bepaalde verontreinigingen van het inlaatwater zijn geconstateerd. Om een ingreep in de inlaatdebieten mogelijk te maken, is een flexibel peilbeheer voor het Zoommeer vastgesteld, met als streefwaarde N.A.P., een bovengrens van N.A.P. + $0,05 \text{ m}$ en een ondergrens van N.A.P. - $0,25 \text{ m}$. Bij die peilen is geen rekening gehouden met op- of afwaaiing.

Voor een goed begrip moet men weten dat voor het compenseren van de zoetwaterverliezen bij de Krammer- en Kreekraksluizen een inlaatdebiet van $40 \text{ m}^3/\text{s}$ nodig is. Bij dreigende

Fig. 2 De ontziltingsstrategie
geschematiseerd

PERIODE WAARIN GEDURENDE ENKELE WEKEN MOGELIJK DOOR
DROOGTE GEEN WATER BESCHIKBAAR IS T.B.V. DOORspoeling



verontreiniging of droogte, als het inlaatdebiet daalt beneden $40 \text{ m}^3/\text{s}$, zal nu eerst het peil van het Zoommeer zakken tot N.A.P. - 0,25 m. Pas dan mag het terugwinnen van zoet water bij de Krammer- en de Kreekraksluizen in overweging worden genomen, aangezien bij zoetwaterterugwinning ook een zoutlast hoort. Gelet op de landbouwbelangen dient gestreefd te worden naar een maximaal zoutgehalte van 400 mg Cl/l in het Bathse Spuikanaal. Bij overschrijding daarvan zal het meer worden doorgespoeld. De doorspoeling in de definitieve beheerssituatie dient echter beperkt te blijven tot een debiet van $22,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit maximum wordt ingegeven door de wens zo min mogelijk water in te laten van het Hollands Diep en om de beïnvloeding van vooral het zoutgehalte op de Westerschelde zo veel mogelijk te beperken.

Om tot een definitieve beheerssituatie te komen dient het Zoommeer eerst te worden ontzilt. Er is besloten uit te gaan van een snelle ontzilt, zodat het meer vrijwel geheel verzoet is vóór het groeiseizoen van 1988, met uitzondering van de diepe geulen en putten. Tijdens de ontzilt dienen dezelfde randvoorwaarden gehanteerd te worden ten aanzien van de inlaat van verontreinigende stoffen uit het Hollands Diep en de beïnvloeding van het zoutgehalte op de Westerschelde. Na drie jaar zal een eerste evaluatie van het waterbeheer plaats vinden.

Ontzilt

Om tot een verantwoorde keuze van de ontziltsmethodiek te komen is gebruik gemaakt van het 1-dimensionaal water- en

zoutbewegingsmodel ZWENDL en het stratificatiemodel STRESS. ZWENDL geeft een goede indruk van de horizontale verplaatsing van de ontzilting gezien in de tijd, terwijl met het model STRESS een indruk kan worden verkregen van het gedrag van de ontzilting in de verticaal; dit laatste is met name van belang voor de diepe geulen en putten. Voor de bepaling van de ontziltingsmethodiek zijn de resultaten van beide modellen gecombineerd. De opgestelde prognose mag representatief geacht worden voor de bovenste 6 m water in het meer. Bij aanvang van de ontzilting, eind april 1987, wordt het Zoommeer doorgespoeld met een debiet van 70 m³/s. Het zoutgehalte op het meer is op dat moment nog hoog, en via de schutsluizen komt nog een aanzienlijke zoutlast binnen: de zout/zoet-scheidingssystemen komen pas in juli en augustus in werking. Doorspoeling van het meer met hogere debieten dan 70 m³/s is volgens de berekeningen niet zinvol, omdat de menging van zout en zoet water dan afneemt, zodat de doorspoeling minder effectief wordt.

Wanneer het zoutgehalte op het meer voldoende is gedaald, kunnen de zout/zoet-scheidingssystemen van de scheepvaartsluizen in werking treden. Daardoor wordt de zoutlast op het meer geringer, de doorspoeling kan dan worden verminderd. Vanaf dat moment dient wel het extra zoetwaterverlies ten gevolge van de zout/zoet-scheiding aangevuld te worden, en wel via de Volkeraksluizen. Naarmate het zoutgehalte in de bovenste laag water daalt, zal de uitwisseling met de dieper gelegen lagen, die alleen voorkomen in putten en geulen, vanwege de gelaagdheid van het water afnemen. Doorspoelen met relatief grote debieten is dan niet erg effectief meer. Als vervolgens weer menging met de diepere lagen optreedt, bijvoorbeeld als gevolg van een storm, zal tijdelijk extra worden doorgespoeld.

Als zich tijdens de ontziltingsperiode een periode van droogte voordoet waardoor weinig water uit het Noordelijk Deltabekken beschikbaar is, zal de doorspoeling zo nodig worden gestaakt en zal alleen zoet water via de Volkeraksluizen worden ingelaten ten behoeve van peilhandhaving. Overigens is in de prognose rekening gehouden met een periode van twee maanden waarin uitsluitend water ten behoeve van peilhandhaving beschikbaar is.

Indien het water van het Hollands Diep verontreinigd is door calamiteiten in het stroomgebied van Maas en Rijn zal de inlaat van water uit het Hollands Diep zo nodig

volledig worden stopgezet. Verontreinigingen op de grote rivieren worden al betrekkelijk vroegtijdig opgemerkt, ruim voordat het inlaatpunt wordt bereikt. Wordt ergens op de rivieren een verontreinigingsgolf gemeten, dan worden de betrokken diensten van de Rijkswaterstaat gewaarschuwd door de Dienst Binnenwateren en het Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater in Lelystad. Bij vroegtijdige waarschuwing is het mogelijk het peil van het Zoommeer iets op te zetten, zodat er een buffer ontstaat en er gedurende de tijd dat de golf met verontreiniging passeert geen water behoeft te worden ingelaten.

Bij de aangegeven ontziltingsmethode zullen de lozingsdebieten op de Westerschelde naar verwachting niet leiden tot onderschrijding van de daar aangehouden zoutcriteria. Als tijdens de ontzilting blijkt dat niet aan de gestelde criteria wordt voldaan, dient de lozing bij Bath te worden verminderd. Ten gevolge van de lozingen tijdens de ontzilting van het Zoommeer is tijdelijke verlaging van het zoutgehalte van de Westerschelde onvermijdelijk, met name in het oostelijk deel. Ter bescherming van de aanwezige flora en fauna van het Land van Saeftinghe en ook van het westelijk deel van de Westerschelde – de Hoge Platen – is een aantal criteria geformuleerd. Het Land van Saeftinghe is hierbij maatgevend. Men wil daar geen enkele waarde aanvaarden lager dan 4 g Cl/l. Dit criterium biedt voldoende veiligheid aan de algemeen voorkomende bodemdieren. Om de huidige situatie van de vegetatie in schorgebieden zoveel mogelijk te handhaven is een norm opgesteld van 9,5 g Cl/l Westerscheldewater als zomergemiddelde en 7 g Cl/l als wintergemiddelde. Deze gehalten hebben betrekking op het overspoelingswater van het gebied; voor toetsing aan de criteria zullen daarom de zoutgehalten van 1 à 2 uur voor hoogwater genomen dienen te worden. Voor operationeel gebruik zijn deze waarden verder nog gedifferentieerd per maand, zodat al vroegtijdig een indruk kan worden verkregen of zonder bijstelling van de methode aan de gestelde criteria kan worden voldaan.

Organisatie

Ten behoeve van de ontzilting is een operationele werkgroep opgericht, die zorg draagt voor de dagelijkse gang van zaken. Deze groep zorgt ervoor dat dagelijks balansberekeningen van het Zoommeer gemaakt worden, waarmee de vereiste instellingen van de Volkeraksluizen bepaald kunnen worden. Om

het ontziltingsproces goed te kunnen volgen. en eventueel tot bijstelling van de methodiek te kunnen besluiten, is het van belang continu geïnformeerd te zijn over de actuele situatie op en rond het Zoommeer.

Mede met het oog op dit doel, ook voor de toekomst, zijn op en rond het Zoommeer vaste meetopstellingen geplaatst waar waterstand, temperatuur en geleidendheid worden bepaald. Met hetzelfde doel is een akoestische debietmeter in het Bathse Spuikanaal geplaatst, en wordt plaatsing van nog meer debietmeters overwogen, onder andere bij de inlaatsluis in het Volkerak.

Naast operationele inwinning van gegevens door vaste meetopstellingen worden ook regelmatig meettochten op het Zoommeer uitgevoerd. Dan meet men onder andere het zoutgehalte, de temperatuur en het zuurstofgehalte. Uit deze gegevens kan onder meer een langsdoorsnede van het meer samengesteld worden, waarmee bijvoorbeeld plaatsen met zuurstofloosheid of gelaagdheid snel ontdekt worden. Daarnaast neemt men tijdens deze meettochten watermonsters die later in het laboratorium worden geanalyseerd. Deze gegevens dienen zowel voor operationeel gebruik als ten behoeve van studie naar het verloop van het ontziltingsproces. Tevens wordt hiermee een grote hoeveelheid basis materiaal verzameld, hetgeen gebruikt kan worden voor het te voeren beheer in de toekomst.

Na de sluiting van het Krammer op 17 april

1987 bedroeg het zoutgehalte op het tot stand gekomen Zoommeer 12,5 g Cl/l. Dit was minder dan de 16 g Cl/l die aan de andere kant van de Philipsdam werd gemeten. Door de geleidelijke vermindering van de doorstroomopening in het Krammer was het Zoommeer eigenlijk af enigszins gaan verzouten. In juli 1987, twaalf weken later, was het zoutgehalte gedaald tot 3 à 3,5 g Cl/l. Uit de ervaringen van de eerste ontziltingsperiode valt te constateren dat het peil van het Zoommeer met de aanwezige beheersmiddelen goed is te handhaven.

Van de verwachte negatieve gevolgen van de ontzilting, zoals vissterfte en stankoverlast door rottende plantendelen, is tot op heden *waarschijnlijk mede door het niet al te warme voorjaar* nog niets te merken geweest. Uit de metingen blijkt dat er in de diepere putten inderdaad gelaagdheid optreedt.

Ten opzichte van de prognose is een achterstand van 1 à 2 weken in de ontzilting ontstaan, veroorzaakt door een tijdelijke beperking van de doorspoeling in verband met baggerwerkzaamheden in het Bathse Spuikanaal. De tijd tot maart 1988 zal nodig zijn om het gehalte terug te brengen tot zo'n 300 à 400 mg Cl/l.

Zoals het zich nu laat aanzien zal de geringe achterstand in de ontzilting ten opzichte van de prognose niet verder toenemen, zodat ruim voor het groeiseizoen van 1988 gerekend kan worden op een zoet Zoommeer.

De Deltawet onderscheidt in Zeeland twee gebieden: de Noordzeekust noordelijk van Westkapelle tot de grens met de provincie Zuid Holland op de Brouwersdam; en de Westerschelde, dat is de waterkering vanaf Westkapelle langs de noordzijde van de Westerschelde tot de landsgrens met België nabij Doel, en vanaf deze grens de Zeeuws-Vlaamse oever volgend tot aan het Zwin.

De stand van zaken bij de waterkeringen in Zeeland

De Noordzeekust bestaat voornamelijk uit een duinenrij waarin de grote Deltawerken liggen. De leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering is nog maar sinds enkele jaren beschikbaar, dit heeft tot gevolg gehad dat de noodzakelijke versterking van de duinkusten meestal later in uitvoering werden genomen. Een tweede reden voor de latere aanpak is dat de natuurlijke ontwikkelingen van zandige kusten zo lang mogelijk worden gevolgd.

Recent uitgevoerde studies hebben aangetoond dat er een zekere regelmaat te vinden is in perioden met extra aanzanding of erosie van de zandige kusten, omdat zich zandgolven verplaatsen langs de kust. Dit is een belangrijk element in het voorspellen van de kustregressie, die een voornaam deel uitmaakt van de veiligheidsberekening van een duinkust. In het algemeen zijn de duinkusten aan erosie onderhevig en daardoor niet meer voldoende veilig.

Het opvoeren van het volume van het duinprofiel is een gebruikelijke methode van beveiliging. Zandaanvullingen tegen het zeewaarts duinfront en op het strand zijn veelal goede oplossingen, omdat juist van deze plaatsen van het profiel bij stormen zand verdwijnt en eenvoudig kan worden teruggebracht. Bij deze werkwijze wordt nagenoeg geen schade toegebracht aan de duintop en het landwaartse duinbeloop, en de meestal bijzondere vegetatie gespaard.

Duinverzwaring alleen landwaarts betekent dat bij kustafslag steeds een stukje Nederland wordt prijsgegeven aan de zee. Zandsuppletie op het strand moet regelmatig worden herhaald bij steeds doorgaande erosie van de



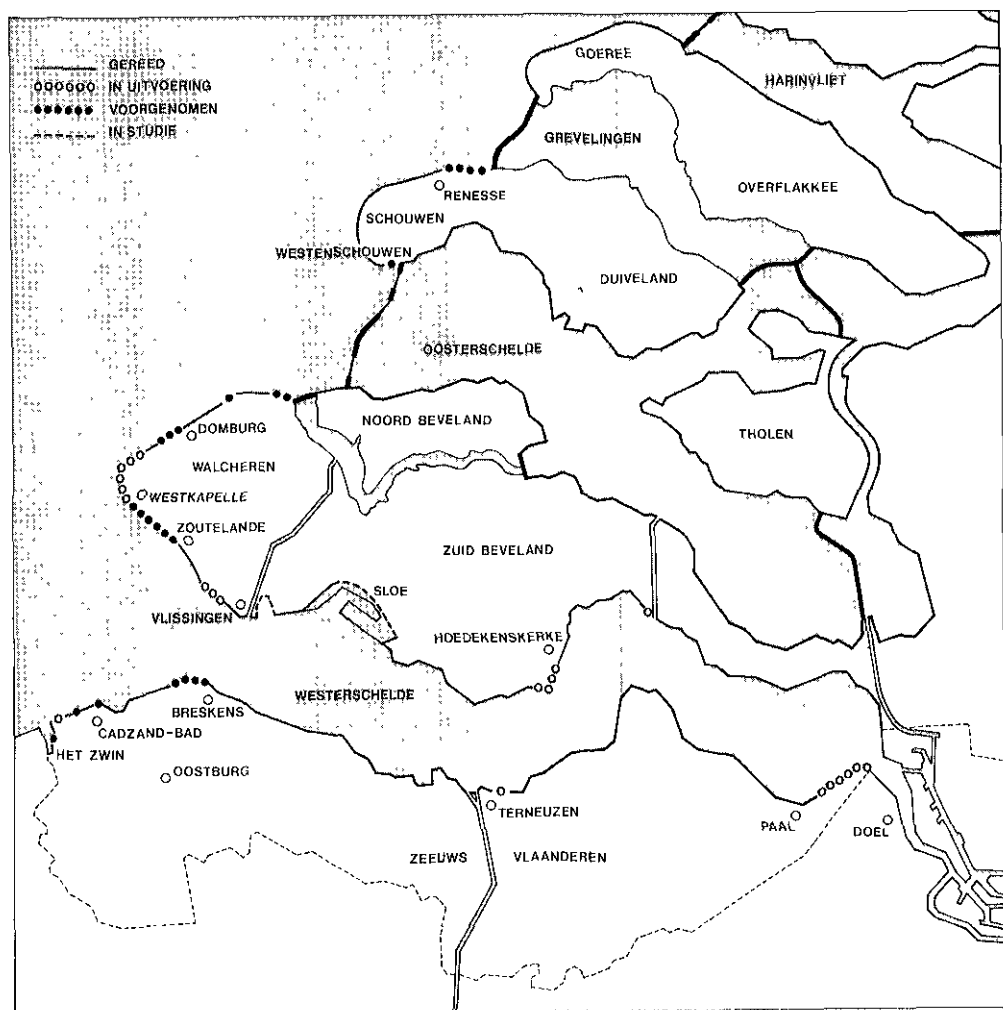
kust, maar de kustlijn blijft dan wel gehandhaafd.

Op Walcheren is de te smalle duinregel ter plaatse van de Golf links te Domburg het eerste uitgevoerde werk waarbij rekening is gehouden met het optreden van zandgolven. De zandsuppletie verkreeg hierdoor een minimaal volume en behoeft toch naar verwachting de eerste decennia niet te worden herhaald. De golfbaan die hier gedeeltelijk op de zeewering ligt, moest worden aangepast, waarbij de tevens noodzakelijke landwaartse aanvulling zo goed mogelijk in het golfveld en het duinlandschap werd opgenomen.

Het benodigde zand werd tezamen met het aanvulzand voor de Westkapelse zeedijk in 1986 gewonnen met behulp van een zeegaande sleephopperzuiger, ditzelfde vaarwerktuig

Dijkversterking bij
Hoedekenskerke,
Zuid-Beveland

Fig. 1. Overzicht van de stand
der werken, eind 1987



perste het zand via een drijvende en een vaste persleiding in het werk.

Verder staat voor de jaren 1989 en 1990 de duinregel van het badstrand te Domburg op het programma, en enkele zwakke plaatsen nabij Westhove en Oranjezon, tussen Domburg en de Veersegatdam. Het dingedeelte op Noord-Beveland is voldoende veilig, de aansluiting op de Oosterscheldekering is reeds in 1985 uitgevoerd als dijkconstructie. Op Schouwen-Duiveland staat het Noorderstrand, het kustvak tussen Renesse en de Brouwersdam, op het uitvoeringsprogramma voor het jaar 1990

Westerschelde

Het Westerscheldegebied kent zowel duinkusten als zeedijken.

De duinkusten zijn te vinden op Walcheren tussen Westkapelle en Vlissingen, en aan de West-Zeeuws-Vlaamse kust tussen het Zwin en Breskens.

Op Walcheren is het grootste Deltawerk van Zeeland, de versterking van de Westkapelse zeedijk, nagenoeg afgerond. Voor het winterseizoen 1987-1988 werd hier de omvangrijke asfaltbekleding aangebracht in één jaar tijd. Het gedeelte Zwanenburg-Vijgeter, westelijk van Vlissingen is afgerond. De beveiliging van het kustvak Zoutelande-Westkapelle staat voor de jaren 1988-1989 op het programma. Dit project bestaat uit een combinatie van strandsuppleties en duinverzwaringen, en te Zoutelande uit de aanpassing van de steenglooiing van het dijkgedeelte.

Als laatste schakel van de Zeeuws-Vlaamse kust resteert nog de Deltaversterking van het kustvak Nieuwe Sluis-Veerhaven Breskens. Dit project zal in de jaren 1988 tot en met 1990 worden uitgevoerd; het zal reeds in 1989 de nodige veiligheid bieden. Het werk bestaat grotendeels uit een zeedijkconstructie die aan de landzijde hoofdzakelijk als duin wordt afgewerkt; een gedeelte van 800 m wordt geheel als duin aangelegd. De gemeente Oostburg haakt in op de uitvoering door er enkele werken ten behoeve van de openlucht-recreatie aan toe te voegen. Zo zal de zeedijk over een beperkte lengte gedurende de zomermaanden voor toeristisch personenauto-verkeer worden opengesteld. Deze route geeft een fraai uitzicht over de Westerschelde en het ankergebied voor de zeeschepen op de rede van Vlissingen.

Na de zomer van 1987 is als voorlaatste werk de Deltaversterking van het kustvak te Cadzand-Bad in uitvoering genomen. Het betreft voor een deel een duinverzwaring, en

verder een dijkconstructie die behalve aan de zeezijde als duin wordt afgewerkt. Het voor dit vak liggende badstrand is door de erosie nagenoeg verdwenen en wordt door een zandsuppletie aangevuld. Een hoge strandligging geeft meer reductie op de golfaanval, waardoor de veiligheid van dit kustvak toeneemt en het onderhouds- en reconstructiewerk aan de strandhoofden grotendeels kan vervallen.

Aan de Zeeuws-Vlaamse zijde van de Westerschelde tussen Breskens en de Belgische grens vond dit jaar de voltooiing plaats van dijkvakken nabij Terneuzen van de Ser Lippens- en Nieuw Othenepolder, en het aan de landsgrens liggende dijkvak in het traject Paal-Belgische grens.

Aan de Zuidbevelandse zijde van de Westerschelde is in afronding het zuidwestelijk van Hoedekenskerke gelegen dijkvak van de Baarland- en Zuidpolder. Vanaf het Sloegebied in oostelijke richting zijn dus alle waterkeringen op veilige hoogte, er moeten nog slechts ondergeschikte werkzaamheden worden uitgevoerd, zoals de aanleg van wegen om de glooiingen bij eventuele calamiteiten bereikbaar te maken.

Voor wat betreft het gedeelte tussen de Boulevards van Vlissingen tot en met het Sloegebied is te melden dat dit jaar begonnen is met de werken rond de Koopmanshaven en Vissershaven binnen de bebouwde kom van de stad Vlissingen. Hier wordt een nieuwe keersluis met aansluitende kademuren aangelegd en verbeterd. Deze werken zijn in 1989 gereed.

Nadere berekeningen moeten uitsluitsel geven over de aanpak van de Eilanddijk en de Buitenhaven van Vlissingen. De dijken rond het industriegebied in het Sloe moeten plaatselijk worden opgehoogd, indien de opgetreden zettingen van de ondergrond te groot zijn geweest; de metingen daarvoor worden thans verricht. De noodzakelijke werken kunnen voor eind 1990 zijn afgerond. Samenvattend kan gesteld worden dat de voor het jaar 1990 beoogde veiligheid in het kader van de Deltawet kan worden gehaald. Voor de jaren 1988 tot en met 1990 is hiervoor nog f 85 à 90 miljoen benodigd. De lopende werken van 1987 vroegen f 50 miljoen. De voorbereiding van de werken en het houden van toezicht bij de uitvoering ervan wordt door de beheerder – dat is meestal een waterschap – op zijn kosten uitgevoerd. De Rijksoverheid geeft in het kader van de Deltawet 100% subsidie in de directe uitvoeringskosten.

In de kop van Noord-Holland, op Texel en Wieringen en langs de Noordzeekust zijn in de afgelopen decennia tal van dijkverhogingen en duinverzwaringen ter hand genomen, want er bleken volgens de criteria van de Deltawet veel zwakke plekken in de waterkering te zitten. Aan dit omvangrijke programma is al jarenlang hard gewerkt, en wanneer alles meezit kunnen de werkzaamheden nog in 1990 worden voltooid. Niet altijd ging het op rolletjes. Er waren technische problemen, tijdelijke financiële problemen, en daarnaast ook de landschaps- en milieuproblematiek. Over dat laatste gaat het in dit artikel.

Met argwaan werd de komst van de dijkenbouwers door de vele natuurliefhebbers tegemoet gezien. Die Waterstaters en aannemers zouden met hun baggerlaarzen en ronkende machines de zaak in een oogwenk overal op zijn kop zetten, en het gebied voor vele jaren verstoren. De nieuwe dijk, met zijn lelijke asfaltbekleding aan de buitenkant, zou als een rouwlint afsteken tegen het landschap. En er waren al zoveel buitendijkse kwelders en schorren verloren gegaan bij de uitvoering van de Zuiderzeewerken. Er was nog maar zo weinig over. Dat sommige natuurgebieden juist waren ontstaan als gevolg van de Zuiderzeewerken, door oppersingen of door het wegspreiden van onbruikbare grond, was niet aan iedereen bekend.

De dijkbouwers van hun kant keken met argwaan naar de groene rakkers, die zowel binnen langs de slootkant als buiten op het wad overal zeer bijzondere rietkragen, zeekraal, zoutminnende plantjes en schelpdieren zagen zitten, en zeldzame vogels zagen vliegen. De flora en fauna langs de te verzwaren zeedijken waren uniek in Europa, kregen ze te horen. Die milieu-jongens en -meisjes zouden de werkzaamheden kunnen vertragen, omdat overall toestemmingen of vergunningen voor nodig waren, die door in te dienen bezwaren lang konden worden opgehouden. Dijkbouwers en natuurliefhebbers zaten dus in principe in elkaars vaarwater, maar in de kop van Noord-Holland zijn deze groepen elkaar niet in de haren gevlogen. Er werd contact gezocht met elkaar, en er werd regelmatig goed en soms pittig overleg gevoerd.

Verstoring van de flora en fauna tijdens de uitvoering van de dijkverzwaring was beslist

niet te voorkomen. Wel kon er bij stil worden gestaan, of er op allerlei plaatsen tegelijk moest worden gewerkt, of een bepaald stuk grond kon worden gespaard, of de verloren gegane gronden en natuurgebiedjes konden worden gecompenseerd. Hoe kon er zo weinig mogelijk schade worden berokkend? In de meeste gevallen volgt de nieuwe Deltadijk het tracé van de bestaande waterkering; alleen scherpe bochten werden afgerond.

Texel

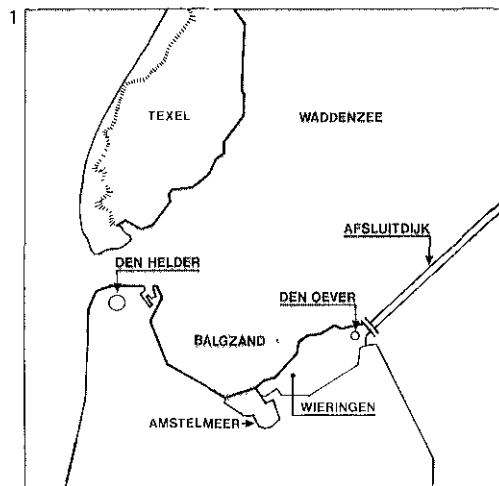
Op Texel werd enkele keren expres afgeweken van de ligging van de oude zeedijken, omdat mede rekening werd gehouden met de wensen van de Nederlandsche Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten op het gebied van natuur en milieu.

Boven Oudeschild kon het natuurgebied 'Dijkmanshuizen' met 2,5 hectare worden uitgebreid. Dit landschap van moerassige plassen en oude wielen kon zelfs zijn oorspronkelijke zoute karakter behouden.

Iets noordelijker werd een groene binnendijk aangelegd, en in het daardoor ontstane poldertje konden natuurgebiedjes als 'Kleiput' en 'Zandkes' behouden blijven. De bestaande karakteristieke zeedijk, met 'noren' in de bekleding, werd gerestaureerd; thans wordt hij de 'Museumdijk' genoemd.

Tussen de bekende punten 'Oostkaap' en 'Krassekreet' werd de nieuwe zeedijk over het wad aangelegd, zodat er een nieuw poldertje ontstond, dat geheel als natuurgebied kon worden ingericht – deels water, deels land. 'Oostkaap' en 'Krassekreet' werden ingericht als recreatiesteunpunten.

Nog verder naar het noorden moest, in



verband met een te maken grondverbetering op het wad, een cunet worden gebaggerd. De uitkomende grond werd opgespoten aan de zuidzijde van het buitendijkse natuurgebied 'De Schorren'. Hierdoor kon dit gebied aan de zuidzijde met 7 hectare worden vergroot. De afslag door golfslag en stroming aan de noordkant van 'De Schorren' werd afgeremd door het aanbrengen van kleine kribben. Het bovenstaande is slechts een greep uit de lange lijst van grote en kleine gebieden met landschappelijke waarde, die door overleg konden worden gemaakt of gespaard bij versterking van de hoogwaterkering op Texel.

Wieringen en Balgzand

De kruin van de nieuwe dijk langs de Wadden-kust moest 2 à 3 meter hoger komen te liggen. Om deze hoogte zoveel mogelijk te beperken, werden flauwe buitentaluds gepland met een buitenberm. Op de binnenberm van de nieuwe Deltadijk moest bovendien een werkweg worden aangelegd.

Het kwam er op neer dat de voet of fundering van de nieuwe dijk 20 tot 30 meter breder moest worden dan de bestaande dijk. In principe zijn er dan drie mogelijkheden: uitbouwen naar binnen, naar buiten, of naar beide kanten. Meestal is de keuze niet moeilijk, omdat overal een prijskaartje aan hangt. De gronden binnen de dijk zijn bebouwd; grond en opstallen zijn te duur om aan te kopen, dus is het logisch om naar buiten te gaan, het wad op.

Maar niet overal is de wadbodem gelijk, niet overal bestaat die uit een laag slib zonder enige begroeiing. Op tal van plaatsen wordt de vlakheid onderbroken door natuurlijke of kunstmatige gebieden, kwelders, schorren of buitendijkse poldertjes. Deze gebieden zijn van grote betekenis als broed- of overtijingsplaats voor de talrijke wadvogels. Op het droogvallend wad in de buurt vinden ze hun fourageerplaatsen.

Door verbreding van de dijk aan de zeezijde

Fig. 1. Overzicht van de besproken gebieden

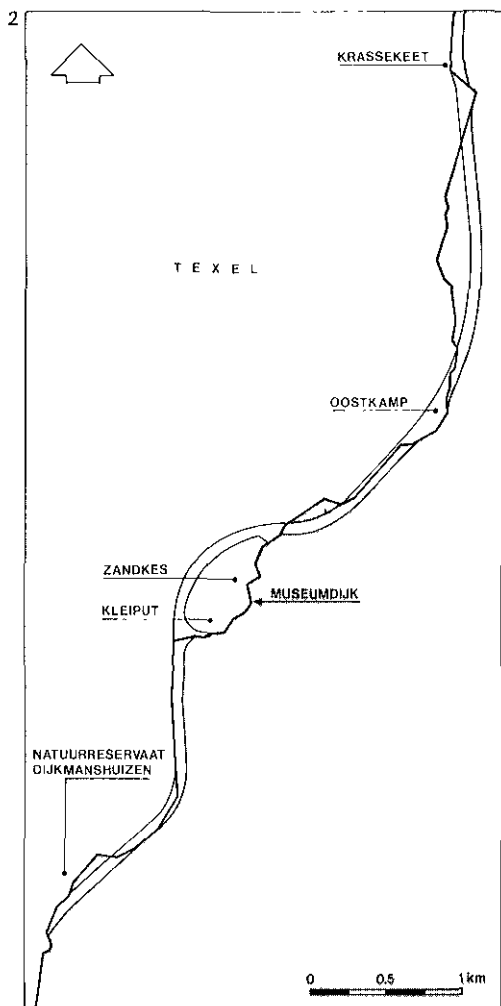


Fig. 2. Dijkbouw en natuurbehoud op Texel

De dijk tussen Oostkamp en Krassekeet



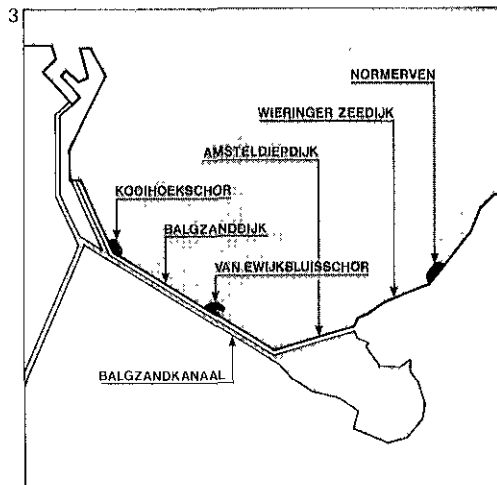
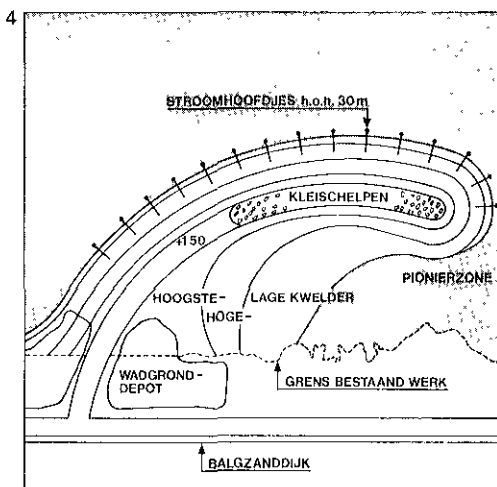


Fig. 3 Projecten in het Balgzandgebied

Fig. 4 Kunstmatig Van Ewijksluis-schor

Fig. 5 Reconstructie van het natuurgebied Normerven op Wieringen



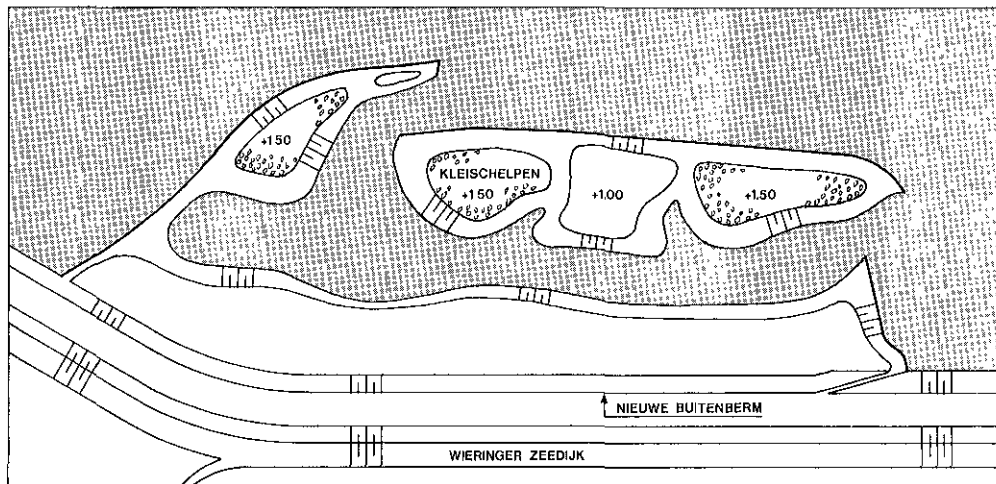
gingen vele hectaren schorgrond verloren. Jammer, maar het kon niet anders. Toch is er niemand echt ontevreden, de dijkbouwers niet en de natuurliefhebbers evenmin. Dat komt, omdat er rekening werd gehouden met de natuurwaarden van de buitendijkse gebieden, omdat de schade zo beperkt mogelijk werd gehouden, en omdat vrijwel iedere vierkante meter schor die verloren ging op een of andere manier werd gecompenseerd: door de aanleg van een nieuw kunstmatig schor, of door opgespoten zand waarvan eilandjes werden gemaakt.

Niet onvermeld mag blijven, dat deze werkzaamheden in feite slechts een fractie hebben bedragen van de kosten voor de dijkverhoging. Dat alles kon worden gerealiseerd, omdat er een goede verstandhouding was gegroeid

tussen de ontwerpers en uitvoerenden van de Rijkswaterstaat in de directie Noord-Holland en de actieve 'Werkgroep Balgzand' als gedelegeerde van de Stichting Natuur en Milieu. In de 'Werkgroep Balgzand' waren verder de volgende instanties of groepen vertegenwoordigd: Staatsbosbeheer, de Afdeling Natuur, Milieu en Fauna van het Ministerie van Landbouw en Visserij, het Rijksinstituut voor Natuurbeheer op Texel, de Provinciale Planologische Dienst van Noord-Holland, het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee op Texel, de Nederlandse Vereniging tot Bescherming van Vogels en de Studiegroep Dijkverhoging Den Oever-Den Helder op Wieringen.

Voor het verhogen en verzwaren van de zeedijk bij Den Oever was het nodig een grondverbetering aan te brengen. Met een kleine cutterzuiger werd een cunet gebaggerd, waarbij de uitkomende specie – zand, klei en veen – zijdelings op het wad werd gespoten. Op heel korte termijn was het terrein begroeid. Er werd later zelfs een vergunning aangevraagd voor het snijden van zeekraal, maar geadviseerd werd die niet te verlenen.

Op de kwelder en langs de dijk staan op regelmatige afstanden borden met het opschrift 'Natuurreservaat'. Deze borden hielden aanvankelijk de cross-brommers niet tegen. Momenteel echter wordt er een oogje in het zeil gehouden door de Stichting Vrijwillig Landschapsbeheer Wieringen. Even ten westen van Den Oever ligt Vatrop, een van de drie keileem-kliffen op Wieringen. De nieuwe Deltadijk verloopt hier geleidelijk met flauwe groene hellingen in het hoge land. Langs de zeezijde, achter een bestaande kapglooiing, lag een oude kleiput, een terrein



waar in vroegere jaren door de Dienst der Zuiderzeewerken klei was gewonnen voor dijkbekleding. In overleg met Staatsbosbeheer werd een plan gemaakt om dit inlaaggebied in te richten als natuurgebied. De eilandjes in een waterpartij hebben een passende vegetatie gekregen, die momenteel huisvesting biedt aan verscheidene vogelsoorten. Het publiek kan kennis nemen van de aanwezige flora en fauna door raadpleging van een daar opgesteld voorlichtingspaneel.

Ten noorden van Hippolytushoef was in de vorige eeuw een kweldergebied op het wad ingedijkt met lage kaden. Dit poldertje, 'Buitenveld' of 'Normerven' genoemd, werd door Zuiderzeewerken eveneens benut voor kleiwinning ten behoeve van de dijkverhogingen. Bij de huidige dijkverzwaringswerken werden buitendijks wat kaden en enkele net boven hoog water uitstekende zandgronden aangetroffen. Ook hiervan ging nog een strook van 20 meter verloren. Met gebaggerde cunetgrond en opgespoten zand werd het 'Normerven' gereconstrueerd en ingericht als broedgebied en hoogwatervluchtplaats voor vogels. Op enkele eilandjes zijn kleischelpen aangebracht, terwijl de begroeiing aan de natuur wordt overgelaten.

Langs de Balgzanddijk waren enkele begroeide schorren aanwezig met grote natuurwetenschappelijke waarden, die onmisbaar waren als overtijingsplaats en broedgebied voor vele tienduizenden wadvogels in dit gedeelte van de Waddenzee.

De 'Werkgroep Balgzand' bracht in het overleg het grote belang van deze gebieden naar voren. Elke vierkante meter schoroppervlak die verloren zou gaan bij de dijkverbreding, diende hier beslist te worden gecompenseerd.

Niet zo gemakkelijk in dit gebied met slappe ondergrond, maar ook niet onmogelijk. Het dijktracé kon uiteindelijk zo worden gepland dat het 'Kooihoekschor' nagenoeg niet werd aangetast: aan de binnenkant van de bestaande dijk was ruimte aanwezig voor de verbreding. Langs de rest van de dijk moest echter 4 hectare schor worden opgeofferd aan de dijkverzwaring.

Na intensief overleg werd besloten een nieuw kunstmatig schor te maken bij het 'Van Ewijksluis-schor'. Dit nieuwe schor moest een eilandachtig karakter hebben, een soort schoorwal, op 200 à 250 m afstand van de dijk, maar er nog wel mee verbonden. Zo mogelijk moesten er verschillende zones worden gecreëerd voor zoute plantenvegetatie, respectievelijk oplopend van wad naar pionierzone en van lage kwelder naar hoogste kwelder. Op het hoogste gedeelte, één meter boven hoogwater, zouden kleischelpen moeten worden aangebracht om sterke begroeiing tegen te gaan. Om afslag door golfaanval te voorkomen werd een verdediging aangebracht in de vorm van een aantal rijshoutdammen. Het 5 hectare grote nieuwe schor werd in het voorjaar van 1985 in gebruik genomen door de vogels.

De ervaringen hebben geleerd, dat er uitstekend kan worden samengewerkt tussen dijkbouwers en natuurliefhebbers. De bereikte resultaten hebben alle betrokkenen veel voldoening gegeven, niet alleen de vele tienduizenden wadvogels, maar eveneens de tijdelijke 'vreemde vogels': de dijkbouwers. Ook in het voorjaar van 1987 werkten ze rustig naast elkaar door, de een bouwend en de ander broedend

In de kop van Noord-Holland, tussen Wieringen en Den Helder moet tot eind 1990 hard worden gewerkt, om de zeedijken Delta-veilig te maken.

Dijkverhoging in het Balgzandgebied

De Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk, samen ongeveer tien kilometer lang, zijn nog jonge Waddenzeedijken, die zestig jaar geleden, in de periode 1923–1926 zijn aangelegd in het kader van de Zuiderzeewerken. Achter de Amsteldiepdijk – ook wel de ‘kleine Afsluitdijk’ genoemd –, tussen Wieringen en het vasteland van Noord-Holland, ontstond het Amstelmeer. Om de scheepvaart en de afwatering van het Amstelmeer mogelijk te maken werd het Balgzandkanaal gegraven, buitendijks, zodat er geen gronden behoefden te worden aangekocht. Ter bescherming van dit nieuwe scheepvaart- en afwateringskanaal werd op het wad de nieuwe Balgzanddijk aangelegd. De kruinhoogte bedroeg N.A.P. + 5,40 meter bij het Amstelmeer, aflopend tot N.A.P. + 4,80 meter in het luwer gelegen gebied bij Den Helder.

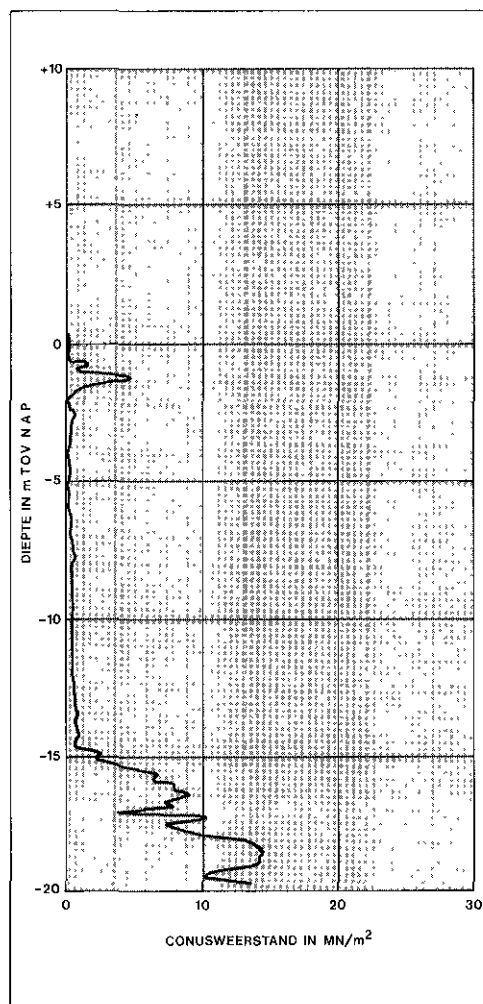
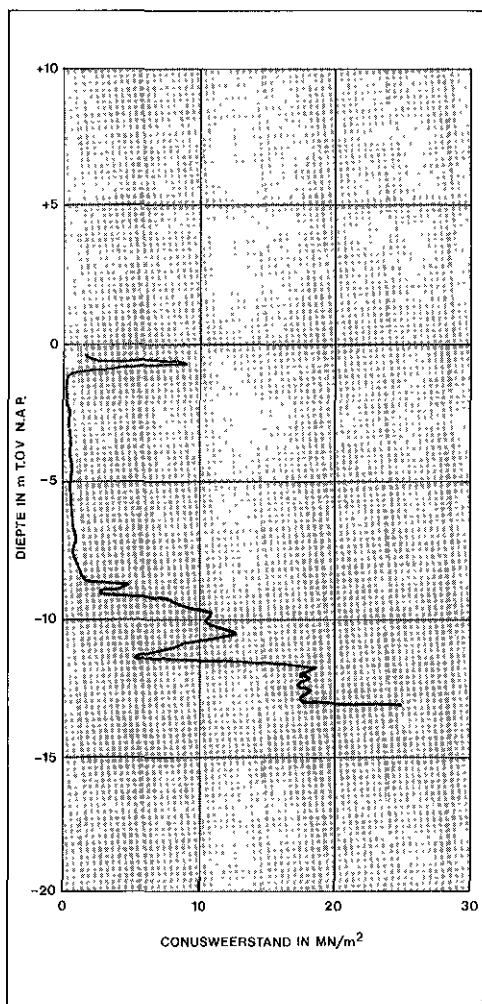
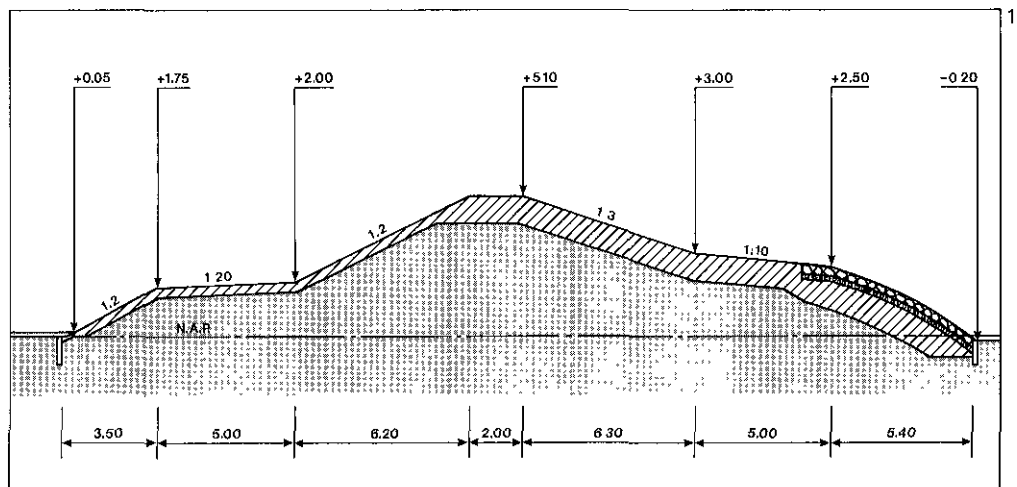
Deze situatie diende als uitgangspunt bij het opstellen van de plannen voor versterking van de waterkeringen in het kader van de Deltawet. De kruin van de dijken lag gemiddeld 3 meter en plaatselijk zelfs 3,50 meter te laag. Grote gedeelten werden dan ook geplaatst in de categorie C: versterkingen met de hoogste prioriteit. Bij een doorbraakwaterstand van N.A.P. + 4,00 meter lagen de overschrijdingsfrequenties tussen $2 \cdot 10^{-2}$ en $3 \cdot 10^{-3}$ per jaar, ofwel 1 keer per 50 à 300 jaar. Dat de dijken nu pas aan de beurt zijn om te worden versterkt, ligt aan het feit, dat er rond Den Helder, op Texel en op Wieringen veel meer dijkvakken in die categorie C lagen. Wanneer een dijkverzwaring wordt voorbereid en uitgewerkt, dient er met allerlei factoren rekening te worden gehouden. Allereerst bepaalt men de waterloopkundige randvoorwaarden als maatgevende stormvloedstand,

optredende golfhoogten, richting van de golfaanval, golfoploop en dergelijke. Dan wordt vastgesteld hoe het dwarsprofiel van de dijk eruit gaat zien, rekening houdend met helling en ruwheid van het talud, de toepassing van een buitenberm, de kruinhoogte inclusief de aan te houden overhoogte en zo meer. Vervolgens moet men overwegen hoe de dijk ruimtelijk kan worden ingepast: moet of kan de verbreding buitendijks plaats vinden, of moet er binnendijks ruimte worden gezocht? Zijn er bijzondere omstandigheden of milieuaspecten; zijn er mogelijk natuurwetenschappelijk waardevolle gebieden waarmee rekening moet worden gehouden?

Een ander onderdeel vormt het verzamelen van grondmechanische gegevens. Het is natuurlijk essentieel dat men de belangrijkste eigenschappen kent van de ondergrond die

Fig. 1 Dwarsprofiel van de Balgzanddijk in 1923

Fig. 2 Een ‘gewone’ sondering die een weinig draagkrachtige laag aangeeft tot –7 m. Onder de wadbodem (rechts) begint de conusweerstand pas op –16 m.



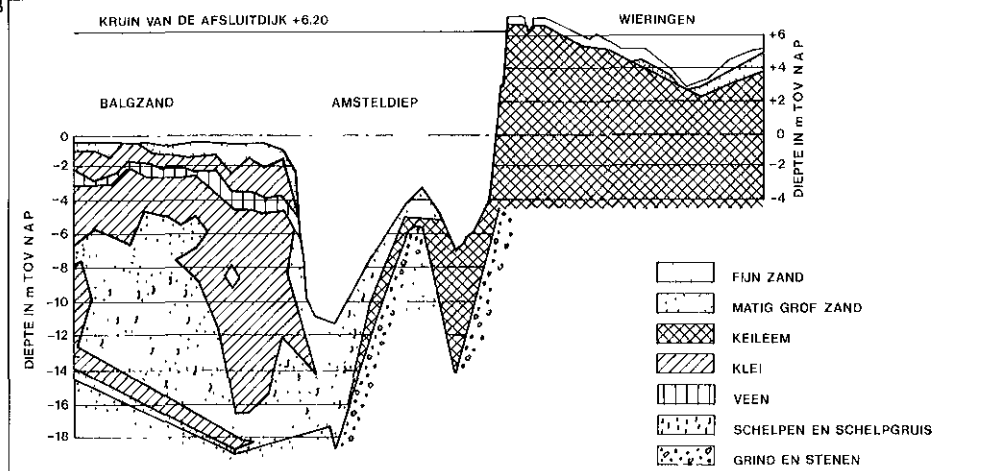


Fig 3 Geologisch profiel; het Balgzandgebied vertoont veel klei en leem

Fig 4 Dijkverbetering aan de binnenzijde, uitgevoerd tussen 1984 en 1987

als basis dient voor de nieuwe dijk. Soms moeten er bovendien bijzondere bepalingen worden opgenomen, waarmee de aannemer en de directie rekening moeten houden. Kostenvergelijking van de verschillende alternatieven kan een rol spelen bij het bepalen van het uiteindelijk plan.

In het onderhavige geval, de dijkverhoging in het Balgzandgebied, bleek van alle factoren en randvoorwaarden één facet alle andere te domineren: de slechte samenstelling van de bodem.

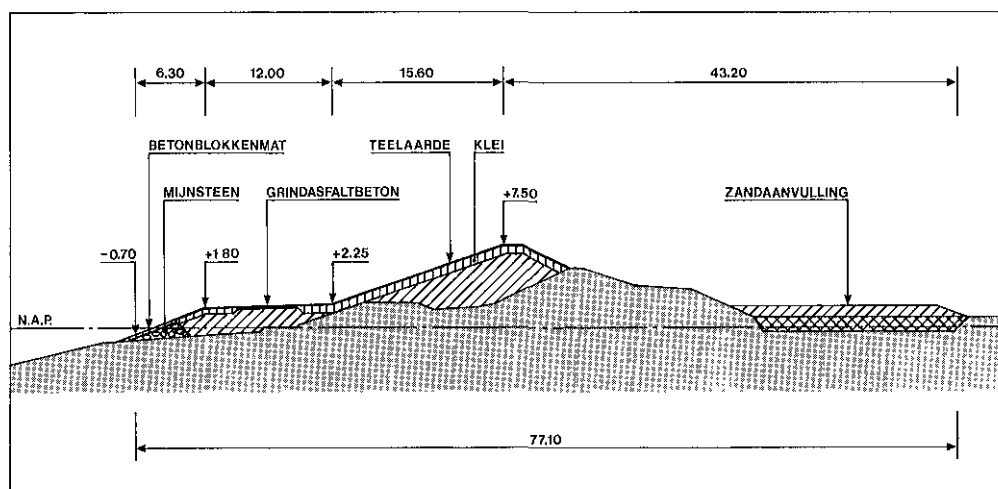
Spurwerk in oude archieven bracht naar voren dat de ontwerpers hier niet voor de eerste keer tegen grondmechanische problemen oplepen. In de driemaandelijke berichten van de Dienst der Zuiderzeewerken tussen 1923 en 1926 komen we verschillende passages tegen die op moeilijkheden duiden bij de aanleg van de Balgzanddijk.

De grondslag ter plaatse bestaat over een dikte van 6 à 7 meter uit afwisselende lagen klei en veen, van meer of minder slappe hoedanigheid, waartussen lagen van fijn zand. Er werd 60 jaar geleden bij de dijk aanleg plaatselijk 85% meer zand en 45% meer klei gebruikt, ten gevolge van verzakking tijdens de bouw; er was zelfs een dijkvak waar de feitelijke hoeveelheid grond 252% bedroeg van de theoretische. Soms zakte de kruin van de dijk plotseling 2 meter omlaag, dit ging gepaard met oppersingen op het wad. Plaatselijk schoof het pas gebaggerde kanaal weer dicht. Bij het afwerken van de dijk werd gebruik gemaakt van licht spoorwegmateriaal en van kruitwagens. Omdat goed zand van elders moest worden aangevoerd – het materiaal uit het kanaal was niet geschikt – kreeg de aannemer daarvoor f 0,40 per m³.

bijbetaald; hij moest dan wel van alle verdere aanspraken op vergoeding afzien. Ook voor de een vol jaar langere duur van het werk kreeg hij niets vergoed.

Na dit lesje geschiedenis keren we terug naar onze eigen tijd. Voor de nieuwe Balgzanddijk werd aan Grondmechanica Delft verzocht ter plaatse het nodige grondonderzoek uit te voeren, en op grond daarvan te komen tot vaststelling van de grondslag onder en zeewaarts van de bestaande dijken, berekening van de stabiliteit van de Balgzanddijk, vooral in de richting van het kanaal, indicatie van de te verwachten zettingen en advies voor de uitvoering van het werk.

Aan de hand van de gemaakte boringen en sonderingen kon de toestand van de bodem worden vastgesteld. Om een dijk op te bouwen bleek de bodemkwaliteit slecht. De gemeten conusweerstand van de sonderingen geven daarvan een goed beeld (figuur 2). Plaatselijk langs de Amsteldiepdijk konden zelfs geen sonderingen worden gemaakt wegens onbegaanbaarheid van het terrein. Om de aard van de slappe lagen daar te bepalen moest worden volstaan met gutschotboringen.



De door de Dienst der Zuiderzeewerken al gesignaleerde slappe lagen tot een diepte van N.A.P. - 6 à 7 meter werden ook nu gevonden. Plaatselijk, in de overgang tussen Amsteldiepdijk en Balgzanddijk, werd zelfs pas een redelijke conusweerstand gevonden op een diepte van N.A.P. -16 à 18 meter. Door belasting van deze slechte bodem zouden er aanzienlijke vervormingen kunnen optreden, en zettingen van 1 tot 3 meter. Bij een snelle ophoging zouden zeker zijwaartse verplaatsingen en oppersingen kunnen worden verwacht. Verwijdering van de slappe lagen was niet mogelijk. Een grondverbetering in de bovenste slibhoudende laag van 1 tot 3 meter dik was wel uitvoerbaar, en zou veel voordeel bieden. Een uitzondering vormde het oostelijke gedeelte van de Amsteldiepdijk, ter plaatse van de vroegere geulen van 8 tot 12 meter diep. De sliblaag moest daar tot N.A.P. - 4 à 5 meter worden verwijderd; gelukkig kon de dijk net boven de in de twintiger jaren aangelegde beteugelingsdam worden gebouwd.

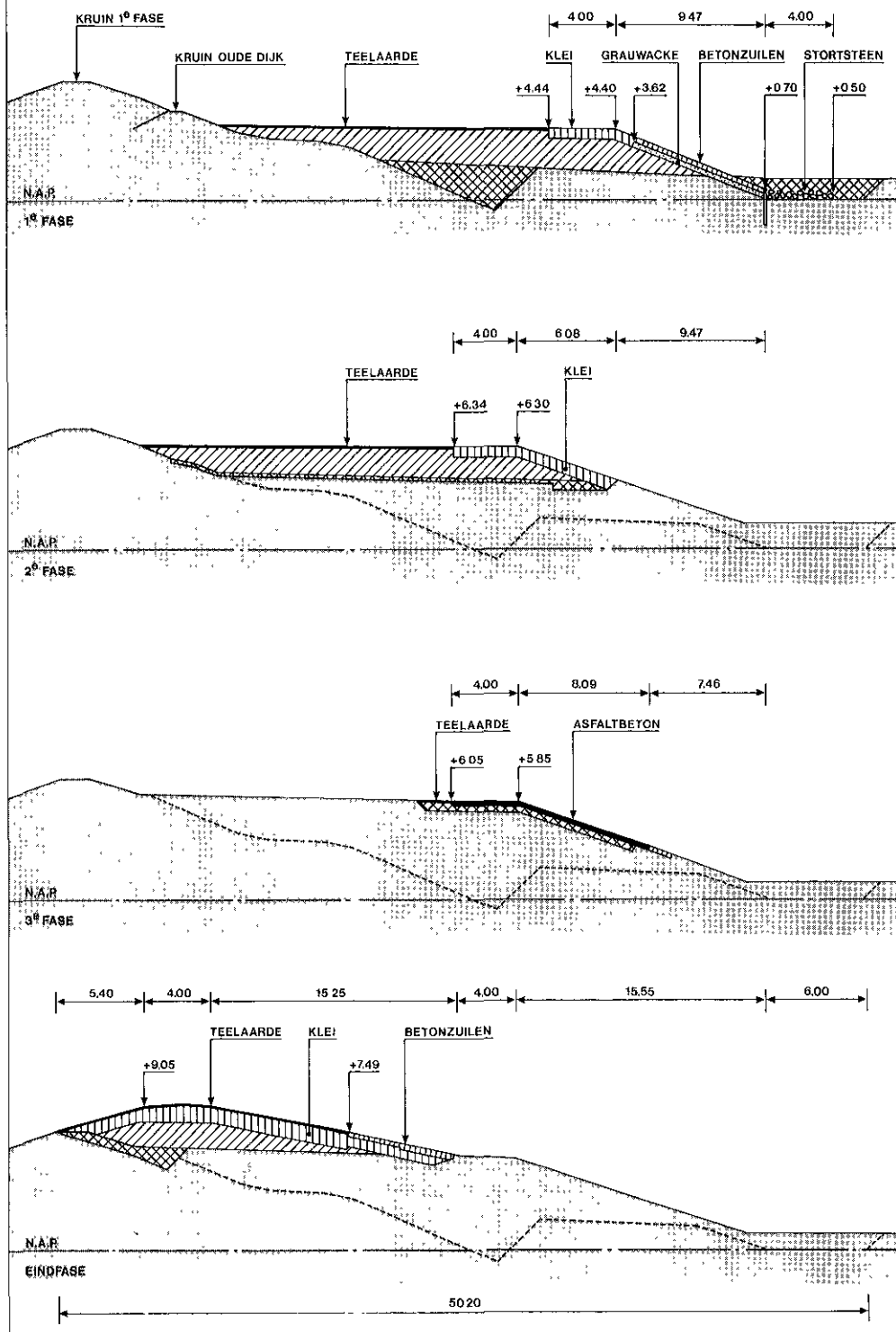
De zettingen zouden zo klein mogelijk blijven, wanneer gebruik werd gemaakt van de reeds opgetreden zettingen onder de bestaande dijken. Het dwarsprofiel zou dus zoveel mogelijk boven de bestaande dijk moeten komen te liggen. Omdat grotere hoogte ook grotere breedte impliceert, zou aan uitbouw op de binnenberm of op het wad echter niet te ontkomen zijn. Het zettingsgedrag in het dwarsprofiel zou daarom plaatselijk wel sterk kunnen verschillen.

Een keuze tussen nat of droog aan te brengen zand kon snel worden gemaakt. Uit berekeningen bleek namelijk dat bij nat aangebracht zand de evenwichtsfactoren onder de vereiste normen zouden komen te liggen. Geadviseerd

werd tot een trapsgewijze verhoging met droog zand, in lagen van 2 à 3 meter, gecombineerd met een deugdelijk drainagesysteem. De wachttijden tussen de aan te brengen lagen zouden ongeveer een jaar moeten bedragen, althans zonder maatregelen om de waterspanning te verlagen. Als voor zo'n gefaseerde ophoging zou worden gekozen stond daarmee meteen de uitvoeringsperiode nagenoeg vast: 7 jaar, van 1984 tot en met 1990.

De uiteindelijk gekozen dwarsprofielen variëren nog enigszins, omdat de ligging van de dijkvakken ten opzichte van de windrichting niet overal gelijk is. Het meest noordelijke deel van de Balgzanddijk ligt in de luwte, waardoor bij onder- en boventaluds van 1 : 3 een blijvende kruinhoogte op N.A.P. + 7,80 meter voldoende is. Daarna loopt de kruinhoogte op tot N.A.P. + 8,80 meter langs het Balgzandkanaal en tot N.A.P. + 9,25 meter voor de Amsteldiepdijk, die het meest geëxponeerd ligt ten opzichte van storm. Daarbij moest het boventalud worden verflauwd, naar een helling van 1 : 5.

We geven bij wijze van voorbeeld een opsomming van de factoren die hebben geleid tot de uiteindelijke hoogte van de kruin van het dijkgedeelte langs het Balgzandkanaal. Voor de berekening van de significante golfhoogte zijn op enkele punten metingen verricht; uit extrapolatie van de gemeten waarden werd een maatgevende significante golfhoogte van 1,90 meter gevonden, die de dijk onder een hoek van 30° zou kunnen aanvallen. De richting is met behulp van luchtfoto's bepaald. Om de golfoploop tegen de dijk te reduceren werd ter hoogte van het ontwerppeil een 4 meter brede berm opgenomen. Hoewel





Het schor langs de
Balgzanddijk

Fig. 5. De dijkverhoging aan
de buitenzijde wordt vanaf
1987 in vier fasen uitgevoerd

flauwere taluds de golfploop eveneens beperken, is toch gekozen voor hellingen van 1:3 voor het benedentalud en 1:5 voor het boventalud; dit vooral ook om de basis van de dijk smal te houden, in verband met de slechte gesteldheid van de ondergrond. De kruinhoogte van de dijk werd nu als volgt bepaald. Uitgangspunt was als steeds het basispeil, de door de Deltacommissie bepaalde waterstand, die een overschrijdingskans heeft van $1 \cdot 10^{-4}$, ofwel 1 keer per 10 000 jaar; die bedroeg ter plekke N.A.P. +5,65 m. Gezien het achterland achter de Balgzanddijk, met veel industrie en woningen in Den Helder, werd geen zogenaamde economische *reductie toegepast*. De golfploop kwam na berekening op 2,95 m, zodat de zogenoemde dijktafelhoogte N.A.P. +8,60 m bedroeg, nog te vermeerderen met de aanname voor de

relatieve bodemdaling en zeespiegelrijzing, per eeuw, van 20 cm. De blijvende kruinhoogte zou dus N.A.P. + 8,80 m moeten zijn.

Voor de aanleghoogte van de dijk moest er nog een schepje bovenop worden gegooit. Aan de hand van bodemonderzoek kon de zetting van de ondergrond worden bepaald, terwijl rekening werd gehouden met 6% klink. Met meer recht kunnen we in het laatste geval zeggen: variabel; niet alleen in de lengterichting van de dijk, als gevolg van een sterk wisselende draagkracht van de bodem, maar ook in dwarsrichting mocht verwacht worden dat de zetting sterk zou variëren. Bij de vaststelling van het dwarsprofiel van de Amsteldiepdijk is ook een alternatief in het onderzoek betrokken: een zogenaamde overslagdijk. Uit kosten oogpunt was dat niet eens veel aantrekkelijker, omdat ook de kruin en het binnentalud van een gesloten bekleding zouden moeten worden voorzien. Van dit alternatieve plan werd dan ook afgezien in verband met landschappelijke en milieu-technische bezwaren en verwacht zwaarder onderhoud.

De kern van zand in de dijk moet uiteraard worden verdedigd met materialen die bestand zijn tegen golfaanval, golfoverslag en wateroverdrukken van binnen uit. De teenconstructie bestaat uit azobé-houten palen en een teenschot, met aan de zeezijde een bestorting van 1 ton steen per m² op een polypropreen-weefsel. Boven de teenconstructie komt van N.A.P. + 0,70 tot N.A.P. + 2,40 meter de noodzakelijke open verdediging, die hier wordt uitgevoerd in zetwerk van 30 cm lange betonzuilen op een 30 cm dikke filterlaag. De rest van het ondertalud en de 4 meter brede berm worden uitgevoerd in waterbouwasfalt-beton, respectievelijk 30 en 20 cm dik. Boven de berm begint de kleibekleding, tot N.A.P. + 7,50 meter nog verdedigd met betonzuilen, die over de kruin doorloopt naar binnentalud en binnenberm.

Een periode van 7 jaar, van 1984 tot 1990, is erg lang om achter onveilige dijken te wonen en te werken. Om de situatie zo snel mogelijk iets veiliger te maken, werd in eerste instantie de binnenzijde van de Balgzanddijk versterkt, zodat de kruin 2 meter hoger kwam te liggen, op N.A.P. + 7,50 m. De overschrijdingskans voor een dijkdoorbraak bij een waterstand van N.A.P. + 4,00 m vermindert daardoor van 1 keer per 30 jaar naar 1 keer per 300 à 400 jaar. Deze fase werd, na 3 jaar bouwen, in augustus 1987 bereikt.

De uitvoering is aan de buitenzijde moeilijker dan aan de binnenkant, omdat de bekleding van de bestaande dijk moet worden verwijderd,

terwijl iedere laag direct weer moet worden voorzien van een nieuwe verdediging. Bovendien moet dat in een korte tijd worden uitgevoerd, in de periode tussen 1 april en 15 oktober. Op die laatste datum moet een goede waterkering aanwezig zijn. Een vreemd soort werk, vooral voor de aannemers, die in het zomerhalfjaar veel werk moeten verzetten, om daarna pardoos het materieel stil te zetten en de werknemers naar huis te sturen, tot 1 april van het volgende jaar.

Maatgevend is de aanvoer van zand. Het zand wordt vanaf de Waddenzee aangevoerd met zelfvarende steekhopperzuigers van 500 à 600 m³, met een gezamenlijke produktie van 12 000 m³ per week. Met behulp van een hydraulische kraan op een ponton worden de zandschepen gelost. Via moderne transportbandinstallaties kan het zand direct droog in de dijk worden verwerkt. Het materieel schuift daarbij langzaam door het kanaal langs de acht kilometer lange Balgzanddijk. Voor het aanbrengen van zand langs de Amsteldiepdijk is een vaste transportbandinstallatie opgesteld en wordt het zand met dumpers vervoerd. Om te kunnen zien hoe alle werkzaamheden op elkaar aansluiten en welke capaciteiten er moeten worden gehaald, zijn goede planning-schema's onontbeerlijk. Naast totaaloverzichten worden er ook meer gespecificeerde tijd/weg-diagrammen opgezet, die meestal gelden van 1 april tot 15 oktober. Het is belist niet eenvoudig om met alle randvoorwaarden en leveringen rekening te houden bij de keuze voor in te zetten mankracht en materieel, en om de trein in een bepaald tempo zonder storingen aan de gang te houden. Zo'n 'trein' bestaat bijvoorbeeld uit de volgende handelingen: cunet graven, grondverbetering aanbrengen, teenconstructie maken van azobé, kraagstuk maken met steen afkomstig uit de oude dijkbekleding, dan de bestaande dijk ontmantelen, zand aanbrengen, profileren en verdichten, filterlagen leggen, de bekleding van betonblokken met steenslagvulling erop aanbrengen, en de kleiafdekking verzorgen. Een goede bedrijfsvoering is voor dit alles een eerste vereiste.

Regelmatig worden de opgetreden zettingen opgenomen, door middel van waterpassing over de vele geplaatste zakbaken. Bij de zo geregistreerde waarnemingen kan na elke ophoging worden gezien dat de ondergrond telkens iets verder wordt samengedrukt. Door de geadviseerde fasering met laagsgewijze opbouw en vrij lange consolidatieperiode goed in acht te nemen, heeft men in de achterliggende vier jaar geen onverwachte problemen ontmoet.

Samenvattingen

Milieukundige begeleiding bij de voltooiing van de Oosterscheldewerken

Tijdens de laatste fase van de bouw van de stormvloedkering werden delen van de kering uit hydraulische overwegingen soms gesloten; bij de sluiting van de compartimenteringsdammen ging hij zelfs een paar dagen geheel dicht. Omdat dit gevaarlijk kon zijn voor het milieu, is op tal van manieren met metingen in de gaten gehouden of de toestand niet uit de hand liep. Onder andere werden het getijverschil, het zuurstofgehalte en het zoutgehalte steeds opgenomen.

Een enkele keer werd tijdens de operaties ingegrepen door af te wijken van het scenario. Zo werd het patroon van de gesloten schuiven veranderd toen de mosselen in de Hammen onder het slib dreigden te raken, en werd wel eens een klein tussen-laagwater gecreëerd om de vogels te helpen aan een groter fourageergebied.

Een ander resultaat van de milieukundige begeleiding was de vaststelling van sluitdatums voor de compartimenteringsdammen in herfst en voorjaar, om visserij en voortplanting zoveel mogelijk te ontzien.

Evaluatie van de hydrometeo-informatie

Tijdens de planning en uitvoering van de werken in de Oosterschelde was het van groot belang dat de werkschepen op voorhand waren geïnformeerd over de te verwachten werkomstandigheden. Een tijdlang heeft de UPS-berichtenkamer gefungeerd als vooruitgeschoven post van het voorspelcentrum. Tenslotte bevonden zich zelfs voorspellers aan boord van de werkschepen.

Over het algemeen kan worden gesteld dat de nauwkeurigheid van de voorspellingen aan de verwachtingen heeft beantwoord. De beslissing om een dependance van het K.N.M.I. te vestigen in Zierikzee, is stellig juist geweest. Het kantoor te Zierikzee is thans uitgegroeid tot het voorspelcentrum bij uitstek voor de Noordzee en de kustwateren.

De sluiting van de compartimenteringsdammen

In oktober 1986 en april 1987 werden het Tholense Gat en het Krammer gesloten. Daarmee kwamen de compartimenteringsdammen gereed. Beide sluitingen werden voltrokken met behulp van zand, dat in grote hoeveelheden in de gaten werd gespoten. Eerst in de vorm van een laag voor laag opgehoogde drempel, daarna in de vorm van een vanuit de oevers opgespoten dijklichaam.

Met zandsluitingen van deze omvang bestond nog geen ervaring. Bij het ontwerp werd gesteld dat de stroomsnelheden in de sluitgaten niet hoger mochten zijn dan 2 m/s. Van nature zou de stroomsnelheid echter wel kunnen oplopen tot 5 m/s. Om de sluitingen mogelijk te maken was het dan ook nodig de stormvloedkering in de Oosterscheldemonde eerst gedeeltelijk, en daarna gedurende twee dagen geheel te sluiten, zodat de getijbeweging zo goed als buitengesloten werd.

Beide sluitingen konden ruim op tijd worden voltrokken, onder meer omdat de zandcapaciteit van de zuigers groter bleek dan werd aangenomen, en de efficiëntie van de werkmethode aanzienlijk beter uitpakte dan was verwacht.

Zandsluitingen: ontwikkelingen in theorie en ervaring

Bij de voorbereiding van de sluitingen van de compartimenteringsdammen moest men buiten het ervaringsgebied treden op dit terrein, en zo was men gedwongen een plan op te zetten met grote theoretische onzekerheden. Vandaar dat bij de voltrekking van de sluitingen intensief is gemeten en geobserveerd, om meer kennis te krijgen van de fysische processen die er een rol in spelen. Het zand bleek onder water flauw aflopende taluds te vormen door telkens in kleine zettingsvloeiingen naar beneden te zakken. De dam als geheel is daardoor steviger dan werd verwacht.

Het is mogelijk gebleken de formules voor zandverliezen aanzienlijk te verfijnen door er nieuwe elementen in op te nemen, zoals het

na-ijlen van het werkelijke transport op de transportcapaciteit. Ook zijn er nieuwe inzichten ontstaan ten aanzien van de haalbare produkties en de onzekerheden daarin. De werkelijke zandverliezen zijn over het algemeen meegevallen.

De waterbodem langs de zuidrand van het Noordelijk Deltabekken

Door de afsluiting van het Haringvliet in 1970 is de waterloopkundige toestand op het traject Nieuwe Merwede-Noordzee ingrijpend veranderd. Het getij en het zoute water verdwenen uit het systeem, en sluizen in het Volkerak en het Haringvliet maakten manipuleren mogelijk met de afvoer van Rijn en Maas. Het hele rivierstuk begon te verondiepen, op zoek naar een nieuwe evenwichtssituatie tussen afvoer en bedding. Het grootste probleem is thans de verontreiniging van het water en de waterbodem als gevolg van industrie en landbouw. De verontreinigingen hechten zich aan kleine kleideeltjes, en bezinken ermee op de waterbodem. Het bovenstroomse gedeelte van de Nieuwe Merwede en de Amer hebben wat dit betreft de slechtste prognose: daar is tussen 1970 en 1975 zeer vuil sediment afgezet. Op het Hollands Diep en het Haringvliet zal de kwaliteit van de onderwaterbodem op de lange termijn verbeteren, nu de bovenafvoeren minder verontreinigd zijn.

Het Zoommeer

Het Zoommeer is ontstaan na de sluiting van de compartimenteringsdammen in 1986 en 1987. Het is een zoetwatergebied zonder getij achterin de Oosterschelde, dat deel uitmaakt van de Schelde/Rijn-verbinding tussen Nederland en België. De waterkwaliteit kan hier beheerst worden middels doorstroming van het Volkerak naar de Westerschelde. De maximale inlaatcapaciteit aan de noordzijde bedraagt 350 m³/s, en de uitlaatcapaciteit aan de zuidzijde 150 m³/s. Daarnaast zijn er scheepvaartsluizen in de Philipsdam en de Oesterdam. Eind april 1987 werden de definitieve regels voor het waterbeheer vastgesteld.

De stand van zaken bij de waterkeringen in Zeeland

Behalve door de grote afsluitingswerken van het Deltaplan wordt Zeeland ook beveiligd door gewone dijken en duinen. Deze primaire zeeuweringen moeten vanaf 1990 alle op Deltahoogte zijn gebracht. Een overzicht van de recentelijk uitgevoerde, in uitvoering zijnde en nog te maken werken van deze categorie wijst uit dat de beoogde veiligheid inderdaad in 1990 kan zijn gerealiseerd.

Dijkbouw en natuurbehoud

Er bestaat een wederzijds natuurlijk wantrouwen tussen dijkbouwers en natuurbeschermers. Bij sommige gelegenheden kan dat wantrouwen in overleg terzijde worden geschoven, zodat een vruchtbare samenwerking ontstaat. In de kop van Noord-Holland en op het eiland Texel is dat gelukt, met als gevolg dat waar mogelijk natuurgebieden gespaard bleven of alternatieve gebieden werden gevormd, terwijl de dijkbouw die ingevolge de Deltawet noodzakelijk was, toch doorgang vond.

Dijkverhoging in het Balgzandgebied

In het Balgzandgebied, tussen Den Helder en Wieringen, zijn zestig jaar geleden, ter gelegenheid van de Zuiderzeewerken, voor het eerst dijken gelegd. De ondergrond bleek toen al zeer slap. Om deze dijken nu op Deltahoogte te kunnen brengen, is opnieuw advies gevraagd aan het Laboratorium voor Grondmechanica, dat vervolgens is verwerkt in het ontwerp van de dijkverzwaring, en vooral ook in de uitvoeringsmethode: de grondophogingen werden uitgevoerd in lagen van telkens 2 à 3 meter, met een wachttijd voor consolidatie van telkens een jaar. Omdat het werk op die manier 7 jaar zou duren, is eerst een dijkverbetering gemaakt aan de binnenzijde, die de veiligheid reeds nu in belangrijke mate verhoogt.

Summaries

Environmental studies as a support for the completion of the Oosterschelde works

During the final phases of the construction of the storm surge barrier it happened that parts of the barrier had to be closed for hydraulic reasons. At the occasion of the closure of the compartment dams, the barrier was even closed completely for some days. As this could possibly damage the natural environment, strict measures were taken to ensure that the situation went not out of hand – mainly by measuring quality parameters such as the tidal movement, oxygen and salt concentrations.

And so, for instance, the pattern of the closing of part of the barrier gates was changed when it appeared that mussels in the channel Hammen were being threatened by silt deposits; sometimes an extra low-tide was evoked to help birds foraging. It was also for environmental reasons that the compartment dams were scheduled to be closed in spring and autumn, in order to protect fishing and procreation interests.

Evaluation of the hydro-meteo service

During the planning and the execution of the Oosterschelde works it was of great importance that the working vessels should be informed beforehand about the weather conditions. For a certain time the UPS control office on the island of Neeltje Jans functioned as an advance post of the forecasting centre at Zierikzee. At the end there were even forecasters aboard those ships. Generally it can be said that the accurateness of the predictions rose up to expectations.

The decision to implement at Zierikzee a branch-office of the Meteorological Institute has no doubt been a right one. This office has now developed into the main centre of prediction activities for the North Sea and its coastal waters.

Closure of the compartment dams

In October, 1986, and April, 1987, the Tholense Gat and the Krammer were closed respectively. With that the construction of the compartment dams came to an end. Both closures were realised in the last phase with the help of sand only, which was pumped in large quantities into the closing gaps, at first forming layers upon layers horizontally, and at last vertically, as a cap, growing from both shores.

Sandfill closures on this scale fell entirely beyond experience. The maximum permissible water velocity was fixed at 2 m/s. Under natural conditions however they could easily reach 5 m/s. So in order to make these sandfill closures possible at all, it appeared necessary that the storm surge barrier in the mouth of the Oosterschelde should be closed; partially at first, but in the end totally for a couple of days. This kept tidal movements out almost completely.

Both closures were carried out in due time, and even sooner, because the pumping capacities of the dredges appeared to be greater than was expected; also the efficiency of the working methods surpassed expectancy.

Sandfill closures: developments in theory and experience

The preparation of the sandfill closures of the compartment dams led designers far beyond the limits of experience in this field. A design therefore had to be set up full of theoretical uncertainties. In order to gather more information about the physical processes that play a part in sandfill closures, intensive measuring and observation programs were carried out, during the actual execution. It appeared that the sand formed very weak slopes under water, by way of many successive losses of stability on a small scale. This made the dam as a whole more robust than could have been expected.

It has proved possible to upgrade considerably the formulas for sand losses, by incorporating new elements, like the delay between transport capacity and actual transport. Also new insights have been reached into the productions that can be reached, and into the

uncertainties which surround these data. Real sand losses turned out to be more favorable than expected.

The riverbeds along the southern fringe of the Northern Delta estuary

The closure of the Haringvliet in 1970 considerably changed the hydraulic situation on the stretch Nieuwe Merwede-North Sea Tide and salinity disappeared from the system, and sluices in the Volkerak and the Haringvliet allowed for manipulation of the discharges of the Rhine and Maas rivers. As a result the whole of the trajectory began to shallow, in search of a new equilibrium between bedding and discharge.

The greatest problem now is the pollution of the water and the riverbed, as a result of industrial and agricultural activities. Heavy metals attach themselves to particles of clay, and sink with them to the riverbed. The upstream part of the Nieuwe Merwede and the Amer have a bad prognosis in this respect: between 1970 and 1975 very much polluted silt has sedimented there. On the Hollands Diep and Haringvliet the quality of the riverbed will ameliorate in the long run, because the discharge of the rivers is less polluted now.

The Zoommeer

The Zoommeer was formed by the closing of the compartment dams, the last of which took place in April, 1987. It is a fresh water area, without tidal movement, in the rear of the Oosterschelde estuary, and is a part of the Schelde/Rijn-shipping route between Belgium and Holland. Water quality on the Zoommeer can be controlled by flushing it from the Volkerak to the Westerschelde. The maximum intake capacity on the northern side amounts to 350 m³/s, and the outlet capacity on the southern side to 150 m³/s. Besides there are locks in the Philipsdam and the Oesterdam. At the end of April, 1987, rules for the control of water level and quality were established officially.

Achievements in dyke and dune building in the province of Zeeland

Zeeland is not only protected from the sea by the enormous works of the Delta project, but also by quite ordinary dykes and dunes. These more simple primary defences are scheduled to be all on the required Delta height by 1990. The article gives a survey of recently achieved works, works in execution and in preparation of this category. The survey shows that the proposed safety from storm surges can in fact be realized in 1990.

Dyke building and preservation of the environment

There exists a natural mutual lack of confidence between dyke builders and preservators of the natural environment. At some occasions this lack can be set aside in good harmony, so that a fruitful cooperation results. In the northern area of North-Holland this has been achieved, and also on the isle Texel; with the result that wherever possible natural areas are being preserved or alternative areas were formed, whereas dyke building as required by the Delta law, went through nevertheless.

Reinforcing the dykes in the Balgzand area

In the Balgzand area, between Den Helder and Wieringen, some sixty years ago dykes were built for the first time, at the occasion of the Zuiderzee works. The foundation then already appeared to be very weak. In order to heighten and strengthen these dykes to Delta requirements now, again a foundation report has been asked from the Soil Mechanics Laboratory, which subsequently has been used for designing the new cross section of the dyke, and specially for establishing a suitable method of execution. New layers of soil, 2 to 3 m thick, were put on top of one another; after each layer a year was needed for consolidation. Thus the work would hold on for seven years. In the meantime the dyke has been reinforced on the landside, which already increased safety considerably.

Vorderingen

in de periode 1 juli – 1 oktober 1987

Philipsdam

Aan de buitenzijde van de bekkens werd in de verslagperiode een zandsuppletie aangebracht. De westelijke voorhaven van de jachtensluis is thans geheel afgewerkt. De afwerking van het damvak Krammer is zover gevorderd dat voldaan wordt aan de waterkerende functie. Begonnen is met de voorbereidende werken voor de bouw van een peilmeetstation ten westen van de sluizen. Het bestek voor de weg op het noordelijk deel van de Philipsdam, waaronder begrepen een wegaansluiting op de Grevelingendam, werd verder uitgevoerd. In dit bestek is ook de bouw opgenomen van een uitzichttoren ten zuiden van de sluizen. Er is thans een bestek in voorbereiding voor uitbreiding van de wachtplaatsen aan de oostzijde van de sluizen, en voor de voltooiing van het zuidelijke brandweerplateau. De Begeleidingsgroep Oosterschelde heeft een onderzoekscommissie ingesteld inzake het functioneren van de Krammersluizen. Deze commissie onderzoekt klachten over de sluizen en geeft indien nodig aan welke verbeteringen mogelijk zijn. Enige onderdelen van de sluisuitrusting, zoals de flexibele elektrakabels voor de riooldeuren, zijn vervangen,

en er is een begin gemaakt met het herstel van de corrosieschade aan de wandschuiven. Begonnen werd met het demonteren van de hulpoverbrugging van de sluizen, en met de aanpassing van de ligging en het afbouwen van de definitieve overbrugging. De bouw van een aanlegsteiger voor de milieuboot is nagenoeg gereed. Voortgegaan werd met de fabricage van onderdelen voor de basculebrug en de daarvoor benodigde elektra.

Oesterdam

De definitieve afwerking van de oostzijde van de Oesterdam wordt meegenomen in het bestek voor de inrichting van het werkeiland Oesterdam en de tweede fase van het damvak Speelmansplaten. De werkzaamheden verlopen volgens plan. Het beplantingsbestek voor de Oesterdam en het Spuikanaal is in september aanbesteed; in oktober begint de uitvoering.

Bathse Spuikanaal

Zinkers en pijpen zijn uit het Spuikanaal afgevoerd, en begonnen werd met de afwerking van de taluds. Ook is men bezig met het bouwen van vissteigers. In het bufferbekken wordt het grind op de kraagstukken en bij het surfstrand afgewerkt. De werkzaamheden aan de afwateringssloot van de Augustapolder verlopen zeer voorspoedig; eind oktober kan dit werk gereed zijn.

Stormvloedkering

Begin juli werd een aanvang gemaakt met het aanbrengen van een 12 000 m² grote

waterdichte constructie op de naden tussen de verkeerskokers en de flappen op de kering over Roompot, Schaar en Hammen. Op het betondek van de kering werden achtereenvolgens een kleeflaag van bitumenemulsie en – in twee werkgangen – een laag asfaltbeton aangebracht. De montage van vangrails op de brug kwam gereed, evenals de asfaltering, de belijning en het uitrichten van de leuning. Er werd een begin gemaakt met het beschermen tegen zoutindringing van de schampkanten en de middenberm; dit onderdeel wordt voltooid in het voorjaar van 1988. Op het werkeiland Roggenplaat en op alle damaanzetten werden wegen aangelegd, en bermen en belopen voorzien van een kleibekleding. Met het oog op de verkeersveiligheid is een vangrail aangebracht van Noord-Beveland tot Schouwen, met uitzondering van de gedeelten op Neeltje Jans en de Roggenplaat. Na de vaststelling van de definitieve stortgrenzen zijn de stortactiviteiten in september hervat. De benodigde breuksteen wordt aangevoerd vanuit Duitsland en Noorwegen. De toeleidingsgeul naar de binnenhaven Noordland werd met een sleeophopper op diepte gebracht. Voorts werden nog achtergebleven zaken opgeruimd, werd materieel afgevoerd en werden voorzover nodig terreinen afgewerkt. De ontruiming van het woonoord Moermond is volgens afspraak voltooid. Er werden zes afrasteringen geplaatst op de damaanzetten. Nu nog resterende aanpassingswerken werden op 18 september opgedragen.

