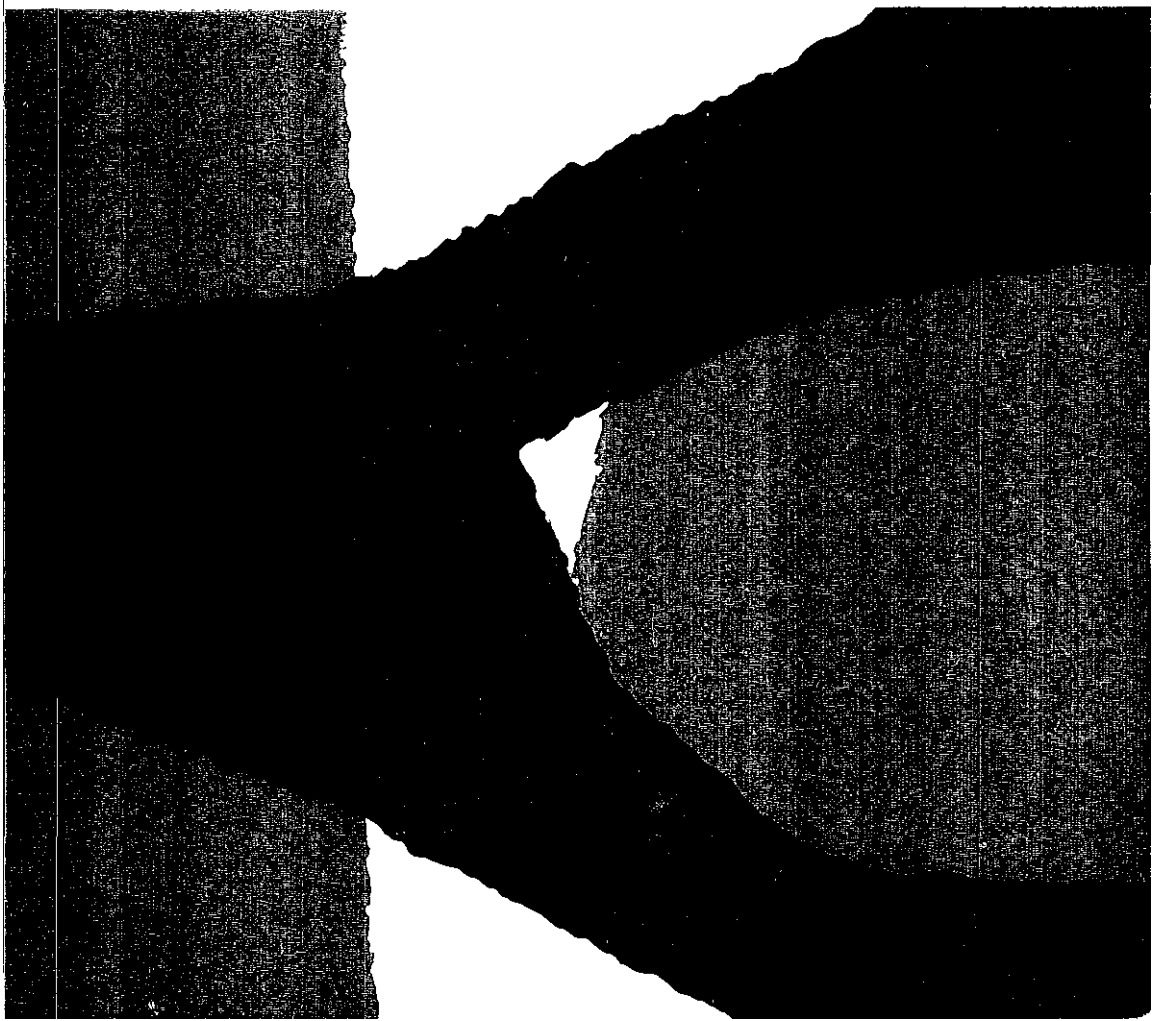


Driemaandelijkse Bericht
nummer 76, mei 1976

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadelaan 400
's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1,
's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 19,- per Jaar
of f 5,- per nummer

**dit nummer is geheel gewijd
aan de relatie tussen de
stormvloedkering in de Ooster-
schelde en zijn omgeving**

Inhoud

De stormvloedkering in zijn omgeving 299

De belastingen op de stormvloedkering 301

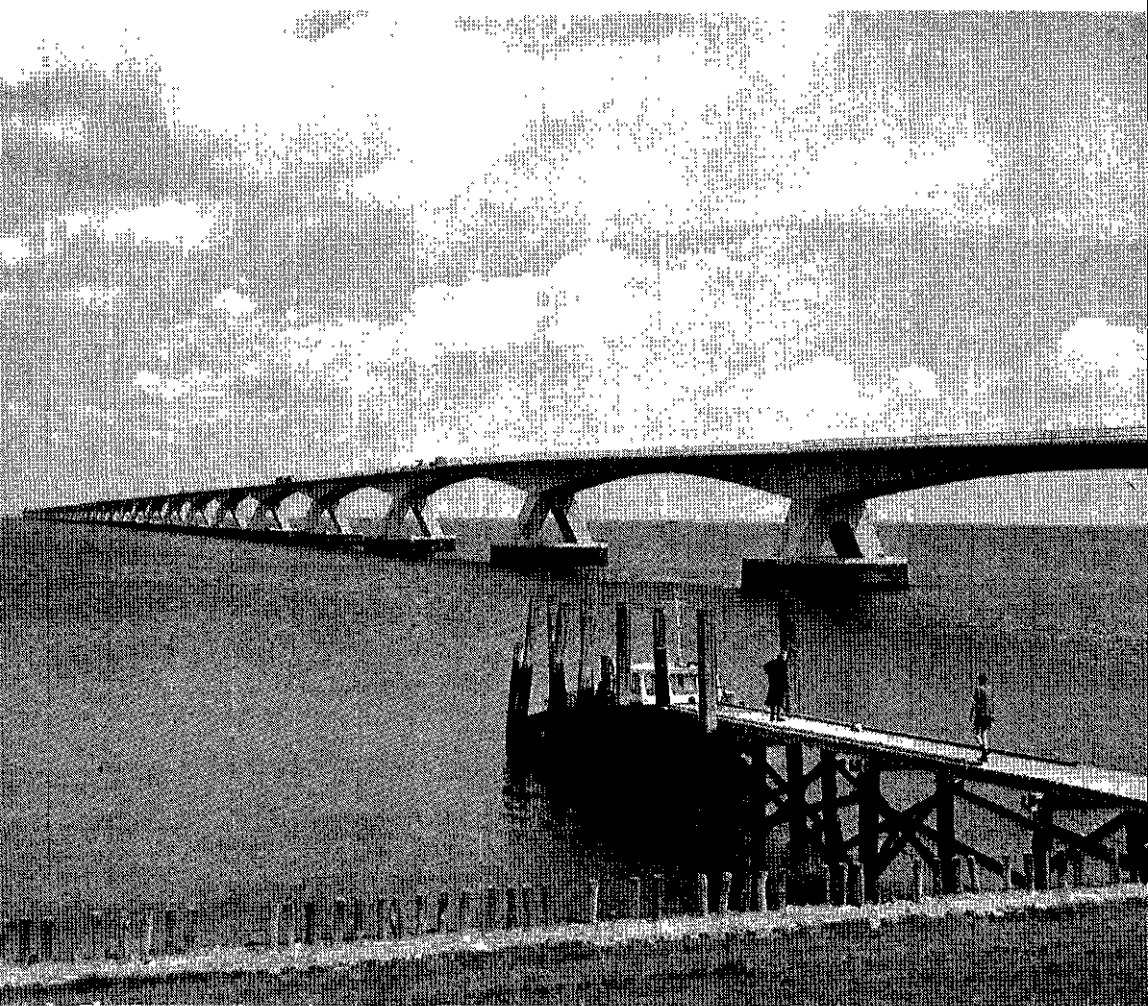
Waterloopkundige en hydrografische gevolgen
voor het Oosterscheldebekken 312

*De ecologische gevolgen van de stormvloed-
kering op het Oosterscheldebekken* 324

De waterloopkundige, hydrografische en
ecologische gevolgen van de stormvloed-
kering voor de buitendelta en het aangren-
zende kustgebied 332

Vorderingen 351

Oosterschelde met Zeelandbrug



De stormvloedkering in zijn omgeving

Bij de bouw van een waterbouwkundig kunstwerk zien we een wisselwerking optreden tussen het kunstwerk en de omgeving waarin het wordt geplaatst. De confrontatie van het kunstwerk met zijn omgeving vertoont twee verschillende kanten. In de eerste plaats zijn daar de reacties van de omgeving op het kunstwerk. Uit deze reacties kunnen we de belastingen afleiden, waarop de constructie dient te worden berekend. Bij een waterbouwkundig kunstwerk in een getijdegebied valt bijvoorbeeld te denken aan de noodzaak het werk te beschermen tegen de uitschuren-de werking van de stroom, waardoor de basis zou kunnen worden ondermijnd. We kunnen ook denken aan de golfaanval waaraan de constructie kan worden blootgesteld en waartegen ze bestand moet zijn, of aan grote waterstandsverschillen als gevolg waarvan een grote horizontale belasting op het kunstwerk kan worden uitgeoefend. Wanneer het bijvoorbeeld gaat om een scheepvaart- of spuilsuis, moeten we bovendien verdacht zijn op mogelijke verzanding van de toegangsgeulen. Wanneer we verder van huis gaan kunnen we ook denken aan het opslippen van een reservoir achter een stuwdam, waardoor het op den duur aan bergingscapaciteit en dus ook aan nut zal gaan inboeten. In het algemeen is het niet mogelijk een waterbouwkundig kunstwerk te ontwerpen zonder rekening te houden met de reacties van de omgeving.

Anderzijds oefent het kunstwerk zelf ook effecten uit op zijn omgeving; en dan hebben we meer in het bijzonder de omgeving in ruimere zin op het oog; dat wat we tegenwoordig 'het milieu' noemen. Sommige van deze effecten liggen in de doelstelling van het

kunstwerk besloten. Een stuwdam heeft de bedoeling het afvoerregiem van een rivier zo te wijzigen, dat daaruit een zeker nut voor de mens kan worden verkregen. Er zijn echter ook effecten die onbedoeld optreden en die soms schadelijke gevolgen kunnen hebben; in zulke gevallen zal het milieu tegen het kunstwerk moeten worden beschermd. We kunnen hier denken aan erosie van op geruime afstand van het kunstwerk gelegen waardevolle natuurgebieden zoals schorren of slikken, of aan de aantasting van een aquatisch milieu waarin zich een belangrijke flora of fauna bevindt, als gevolg van overmatige sedimentatie.

Voorts kunnen we in aansluiting op een hierboven reeds genoemd buitenlands voorbeeld, denken aan de gevolgen die het onderschep-pen van de sedimentafvoer van een rivier door een stuwdam kan hebben op het benedenstroomse deel van die rivier en misschien zelfs op zijn mondingsgebied in zee. Deze uitwerkingen kunnen zich soms over een zeer grote afstand uitstrekken; vaak openbaren ze zich pas wanneer het kunstwerk is voltooid.

Toen we bespraken welke reacties het kunstwerk ondergaat van zijn omgeving ging het ons vooral om de standzekerheid van het kunstwerk, dat onder invloed van de reacties van de directe omgeving zijn evenwicht niet mag verliezen. Overzien we wat het kunstwerk zelf zijn omgeving aandoet, dan worden we bewogen door een zekere zorg om het evenwicht van het omringende milieu, dat niet zo sterk mag worden verstoord dat een herstel naar een aanvaardbare nieuwe evenwichtssituatie onmogelijk wordt. Vroeger letten de ontwerper en de bouwer van een kunst-

werk vooral – en soms vrijwel uitsluitend – op het eerste aspect van de wisselwerking tussen een kunstwerk en zijn omgeving. Thans zijn ook de ontwerpers van grote infrastructurele werken zich er van bewust dat ze het andere aspect bepaald niet mogen verwaarlozen en dat het er bij het ontwerpen en bouwen van kunstwerken niet alleen maar om gaat het werk tegen zijn omgeving te beschermen, maar dat ook het omgekeerde, de bescherming van het milieu tegen het kunstwerk, in het geding kan zijn. Uit deze overweging en een zo goed mogelijke bepaling van de effecten die een kunstwerk op zijn omgeving uitoefent en vice versa, volgt een pakket van eisen waaraan het kunstwerk zal moeten voldoen. Deze 'eisen en uitgangspunten' zijn de basis waarvan bij het ontwerp van het kunstwerk moet worden uitgegaan. En de eerste stap van het ontwerpen zal dus het vaststellen van die eisen en uitgangspunten moeten zijn.

Eisen en uitgangspunten zijn echter niet altijd een onwrikbaar gegeven. Er is veelal een wisselwerking tussen een ontwerp en de voorwaarden waaraan het moet voldoen.

Als bijvoorbeeld blijkt dat er geen ontwerp mogelijk is dat aan alle gestelde voorwaarden kan voldoen, zal men moeten overwegen in hoeverre de eisen moeten worden herzien zonder dat de functie van het kunstwerk daardoor te nadelig wordt beïnvloed.

Sommige voorwaarden moeten min of meer als een onwrikbare eis aan de constructie worden beschouwd; met deze voorwaarden moet bij het ontwerp van het kunstwerk in ieder geval onverkort rekening worden gehouden. Zo zullen de hoogwaterkeringen en dus ook de Deltadammen in het algemeen bestand moeten zijn tegen de zogenaamde

Deltastorm, waarbij waterhoogten voorkomen die gemiddeld eens in de tienduizend jaar worden bereikt of overschreden. Indertijd moesten de Haringvlietsluizen eveneens op een dergelijke storm worden berekend, doch tevens zo worden gedimensioneerd, dat zij veilig een extreme rivierafvoer kunnen verwerken, waarvan de kans op voorkomen eveneens bepaald is op grond van statistische beschouwingen.

Ook voor het ontwerp van de stormvloedkering in de Oosterschelde gelden dergelijke voorwaarden. In de eerste plaats moeten deze werken in gesloten toestand een stormvloed kunnen keren met een overeenkomstige frequentie als voor de Deltadammen is aangehouden; tevens moet de stormvloedkering in geopende toestand zoveel getij kunnen binnenlaten, dat bij Yerseke een gemiddeld tijverschil van 2,3 m optreedt, hetgeen overeenkomt met een dagelijks enkele malen voorkomend maximaal eb- en vloeddebiet in de stormvloedkering van rond 50 000 m³/sec, tweeëneenhalf keer zoveel als van de Haringvlietsluizen onder de meest extreme omstandigheden ooit gevraagd wordt.

We zullen in dit Bericht nagaan wat deze eisen en doelstellingen voor het kunstwerk en zijn omgeving betekenen. Daarvoor zullen wij in belangrijke mate kunnen teruggrijpen op hetgeen over de studie terzake reeds in de – geheel aan de stormvloedkering gewijde – Berichten 72 t/m 74 (mei, augustus en november 1975) is medegedeeld ten aanzien van het kunstwerk zelf. Ook op andere voorgaande Berichten zal, wanneer het gaat om de consequenties van het kunstwerk voor zijn omgeving, zo nu en dan teruggegrepen worden; met name op Bericht 75.

De belastingen op de stormvloedkering

Wanneer we de belastingen willen beschouwen die optreden op een stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde, dan dienen we ons te realiseren dat deze kering gebouwd moet worden in een omgeving die voornamelijk bestaat uit zand. Dit zand is door zijn *losse pakking soms niet alleen een onbetrouwbaar funderingsmateriaal*, maar het kan onder invloed van stroom en golfwerking bovendien gemakkelijk worden verplaatst. Na bepaling van de belastingen op het kunstwerk zullen we ook moeten nagaan of het mogelijk is, *die belastingen naar de ondergrond over te brengen zonder dat er grote vervormingen of verplaatsingen van het kunstwerk ontstaan, dus zonder dat het zijn stabiliteit verliest*. Bovendien zal er voor moeten worden gezorgd dat de bodem niet op een onaanvaardbare manier wordt uitgeschuurd. We zullen dit steeds in gedachten moeten houden wanneer we in het nu volgende de golf-, stroom- en waterstandcondities beschouwen waaronder het kunstwerk zal worden gebouwd, en waaronder het moet functioneren. We behandelen eerst de golfbeweging.

In vorige Berichten is het belang van het golfonderzoek voor het ontwerpen van de stormvloedkering al enkele malen naar voren gebracht. Reeds sinds geruime tijd wordt ten behoeve van de afsluitingswerken getracht meer inzicht te verkrijgen in de golfbeweging, zowel ter plaatse van de damtracés van de Deltawerken als zeewaarts ervan. In eerste instantie werd vooral gebruik gemaakt van de *golfamplitude-schrijver als meetinstrument*. Dit instrument levert een registratie van de golfbeweging, waaruit de kenmerkende golfhoogte kan worden afgeleid. In een later

stadium werd de elektrische stappenbaak ingevoerd, die zijn metingen per radio overseint naar een ontvangststation op de wal. Daar wordt het signaal geregistreerd op een ponsband, waardoor het geschikt wordt voor mechanische verwerking. Met de stappenbaak kan zeer actuele en zeer gedetailleerde kennis van de golfbeweging worden verkregen. Deze golfgegevens werden aanvankelijk vooral verzameld ten behoeve van het vaststellen van de werkbaarheid van varend en drijvend materieel, zowel tijdens de *voorbereiding als tijdens uitvoering van de oorspronkelijk voorgenomen volledige afsluiting van de Oosterschelde*.

Bovendien kon met behulp van statistische verwerking uit de verkregen golfgegevens enigszins worden afgeleid welke golfomstandigheden zich zouden voordoen tijdens de maatgevende storm. Op deze wijze zou het dus mogelijk zijn om de ontwerpcondities met betrekking tot de golfbeweging te bepalen. Als gevolg van de nieuwe studioopdracht naar de mogelijkheid om een stormvloedkering te bouwen in de Oosterschelde was het echter noodzakelijk om aanvullend golfonderzoek te verrichten. Dit onderzoek richtte zich vooral op een aantal facetten van de caissonplaatsingen en op de ontwerpisen van de stormvloedkering.

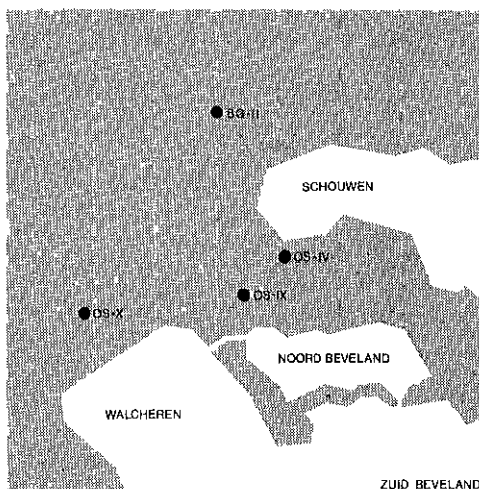
Al bij het begin van de studie naar de stormvloedkering bleek het noodzakelijk, meer gedetailleerde kennis ten aanzien van de golfbeweging te verkrijgen. Zeer waarschijnlijk zou bij de bouw van de kering gebruik worden gemaakt van betrekkelijk grote werkschepen en van caissons. Het was daarbij noodzakelijk, van te voren te kunnen bepalen gedurende welk deel van de tijd het in een

jaar mogelijk is om met zulke werkschepen in het operatiegebied te liggen en caissons te plaatsen zonder dat er al te veel last wordt ondervonden van de golfbeweging. Nu is het bekend dat zulk groot materieel voornamelijk reageert op de wat langere, de zogenaamde laagfrequente golven. Het werkbaarheids-onderzoek heeft zich dan ook voornamelijk gericht op het voorkomen van deze laag-frequente golven.

Behalve voor de werkbaarheid moest ook nader golfonderzoek worden verricht met betrekking tot de ontwerpcondities. Zo was het bijvoorbeeld gewenst, meer diepgaand onderzoek te doen naar de variatie die voorkomt in de golfbeweging in een geul. Dit was onder meer van belang omdat de huidige geulen bij de bouw van een stormvloedkering deels in stand zullen blijven, terwijl ze bij volledige afsluiting op den duur tenminste in de nabijheid van de afsluitdam zouden gaan verzanden. Bovendien stelt een constructie als een stormvloedkering hogere eisen aan de nauwkeurigheid waarmee de golfbeweging wordt bepaald dan bijvoorbeeld een asfaltdam. Het werd nu bovendien noodzakelijk om over betrouwbare informatie te beschikken met betrekking tot de golf-richtingen.

Uit onderzoekingen is gebleken dat de golfhoogte bij een beperkte waterdiepte niet boven een bepaalde waarde kan stijgen. Omdat het stelsel van geulen en platen in de mond van de Oosterschelde zo'n gecompliceerd patroon vertoont, was het noodzakelijk om langs empirische weg te bepalen hoe de relatie tussen de maximaal voorkomende golfhoogten en de waterstand ter plaatse van het damtracé ligt. Voor dit onderzoek werd vooral gebruik gemaakt van een aantal meetpalen, genummerd BG II, OS IV, OS IX en OS X (figuur 1).

Op grond van het verrichte onderzoek is gebleken dat de hoogste golven uit westelijke richting komen. Voor deze categorie is het bovendien mogelijk gebleken om een verband te bepalen tussen de maximale golfhoogte en de heersende waterstand. In een tweede onderzoek wordt getracht een verband te leggen tussen de golfhoogte en de waterdiepte enerzijds en de windsnelheid en de windrichting anderzijds. Omdat voor een dergelijk onderzoek een zeer groot aantal waarnemingen noodzakelijk is, dus een zeer lange meetperiode van zeg enkele jaren, zijn hier nu nog geen resultaten van beschikbaar. Intussen is wel een groot aantal resultaten beschikbaar gekomen van het onderzoek naar de statistische eigenschappen van de golven



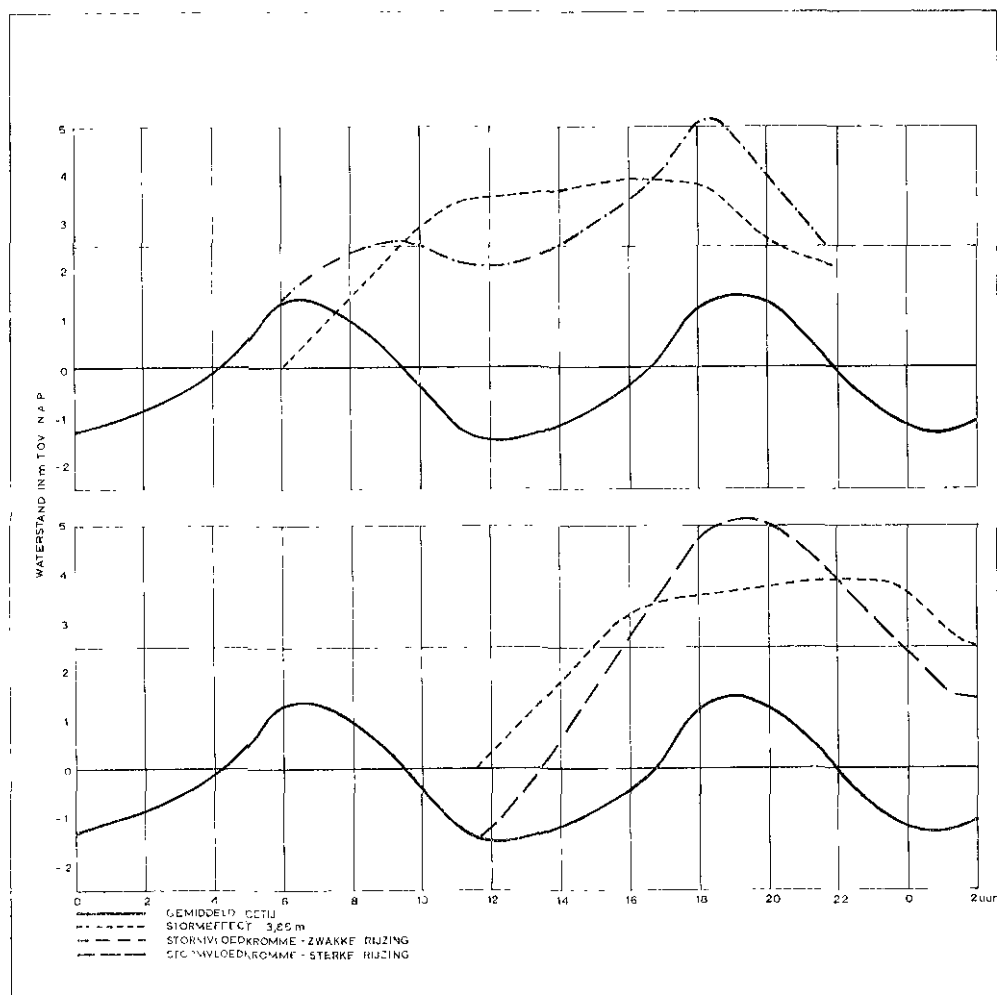
in de omgeving van het damtracé. Ze betreffen onder andere de verdeling van de golfhoogten en -perioden en het golfspectrum, dat is de verdeling van de energie over de verschillende frequentiegebieden. Gebleken is dat het golfspectrum niet alleen sterk afhankelijk is van de meteorologische omstandigheden, dus van de windrichting en de windsnelheid, maar ook van de waterstand. Voorts is komen vast te staan dat de waargenomen spectra ter plaatse van het damtracé sterk afwijken van die voor volgroeide zeegang, zoals die voorkomt op de oceanen en de Noordzee. Ter plaatse van het damtracé doen zich brede, meertoppige spectrumvormen voor. Aan de hand van de tot nu toe verwerkte registraties is het nog niet mogelijk bijvoorbeeld per waterstandsinterval, per windrichtingssector en per windsnelheidsklasse één uniform golfspectrum af te leiden. Wel is geconstateerd dat de spreiding in de spectra bij hoge waterstanden en hoge windsnelheden kleiner wordt en dat de spectrumvorm dan tendeert naar een ééntoppig spectrum, zoals bij volgroeide zeegang.

Tenslotte werden er relaties bepaald tussen de verschillende golfgrootheden zoals de golfhoogte enerzijds en de totale energie anderzijds, tussen de golfhoogte en de gemiddelde golfperiode en tussen de gemiddelde golfperiode en de topperiode van het golfspectrum. In deze laatste relatie bleek een zeer grote spreiding voor te komen, die voornamelijk veroorzaakt wordt door de invloed van de onderwaterdelta op het in de Noordzee opgewekte golfveld. Informatie over de golfrichtingen trachtte men aanvankelijk te verzamelen aan de hand van

Fig. 1. Situatie van een aantal meetopstellingen in de mond van de Oosterschelde

luchtfoto's. Over enige tijd zullen er analyse-resultaten beschikbaar komen. Uit een voorlopig onderzoek is al gebleken, dat in de geulen in het algemeen zeer verschillende golfrichtingen waargenomen kunnen worden. Vermoedelijk lopen golven die vanuit de Noordzee het mondingsgebied zijn binnen gedrongen en golven die plaatselijk zijn opgewekt door elkaar. De golven die vanuit zee binnenlopen zullen deels richtingsveranderingen ondergaan als gevolg van refractie en diffractie, dus onder invloed van de ondiepten en de platen, deels de hoofdgeulen blijven volgen onder invloed van de stroom. De lokaal opgewekte golven zullen in het algemeen dezelfde richting hebben als de wind. Aangenomen wordt thans, dat de hoogste golven ter plaatse van het damtracé ongeveer in de richting van de geulassen zullen lopen, met

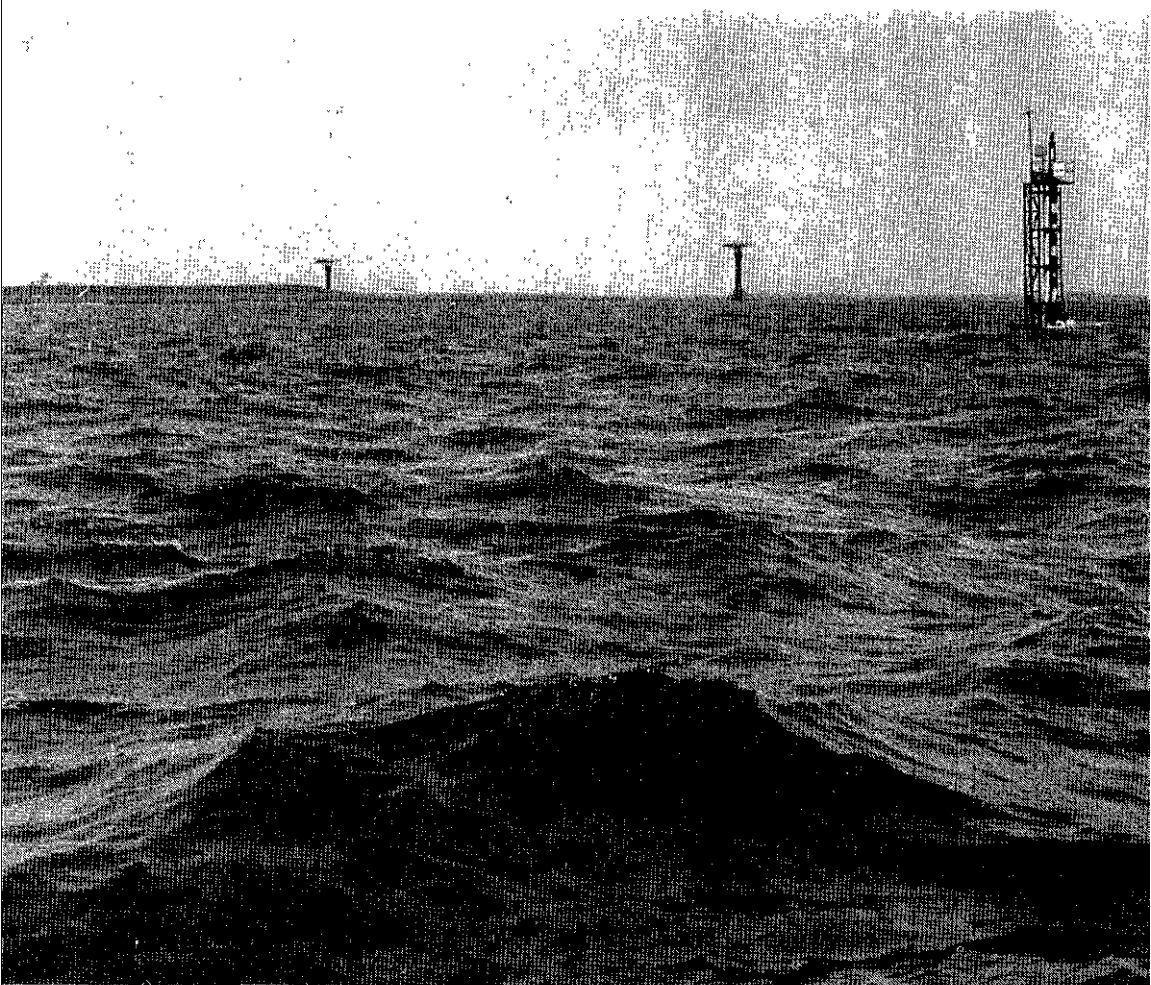
Fig. 2. Twee combinaties van gemiddeld getij en stormeffect

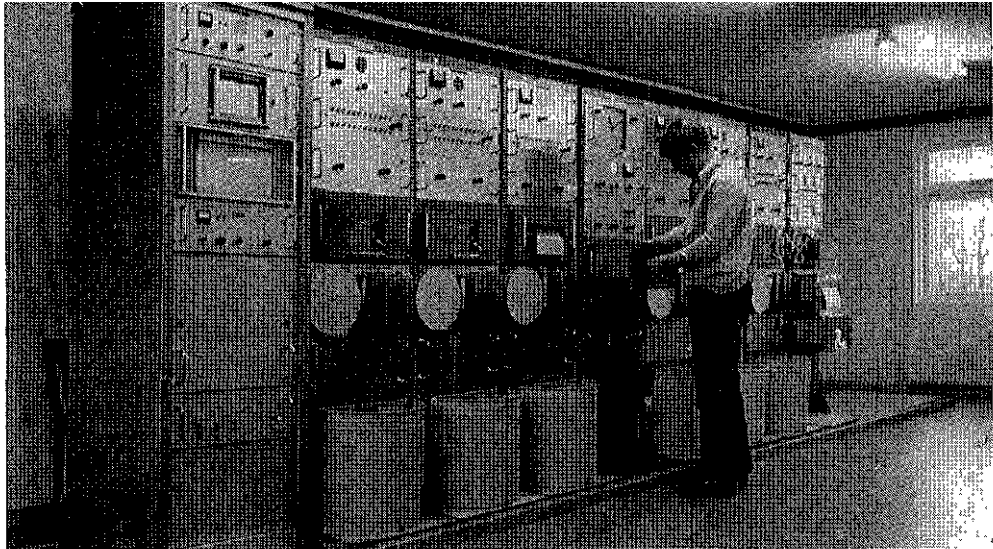


een spreiding van ongeveer 30 graden naar beide kanten.

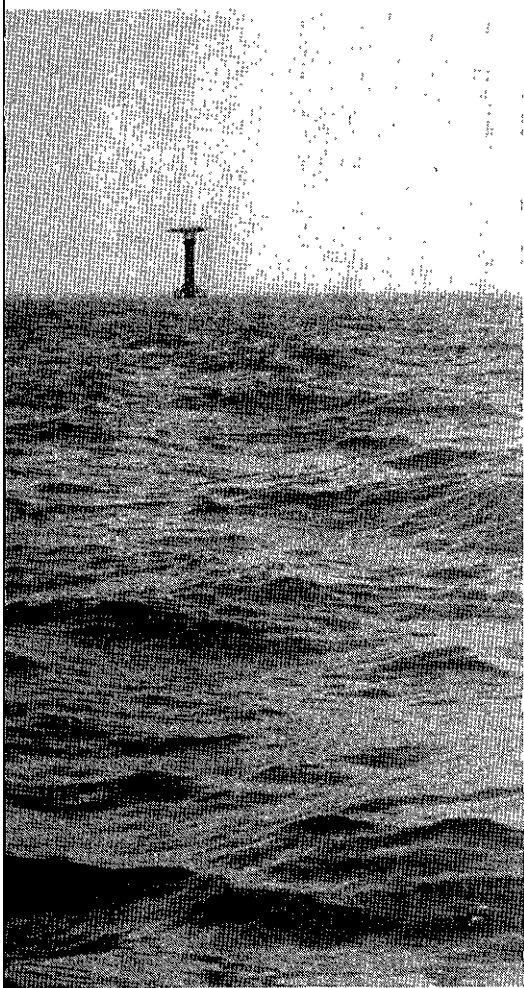
In hoeverre kunnen de gegevens van de meetopstellingen OS IV en OS IX representatief worden geacht voor de golfbeweging in respectievelijk de Hammen, De Schaar van Roggenplaat en De Roompot? Onderzoek naar deze vraag is nog gaande, en een antwoord zal pas over enige tijd gegeven kunnen worden. Uit enkele zeer globale aanwijzingen wordt voorshands geconcludeerd, dat de gegevens van de OS IV representatief zijn voor de golfbeweging in de Hammen en De Schaar van Roggenplaat, terwijl de gegevens van de OS IX onder extreme omstandigheden tot wat lagere waarden leiden dan wanneer er gemeten zou zijn in het midden van De Roompot. Om de ontwerpcondities van de stormvloedkering te kunnen bepalen voorzover ze

samenhangen met de golfbeweging is het noodzakelijk om analyses te maken van het gedrag van de golven tijdens stormen. Uit bestudering van de stormgegevens kon worden geconcludeerd dat de meeste relaties die bij lagere golven gelden ook dan hun geldigheid behouden. Voor wat betreft de golfrichtingen bij zeer zware stormen waren echter geen voldoende betrouwbare gegevens bekend. Om een schatting te maken van de golfhoogte die tijdens een zeer zware storm kan voorkomen, was men aangewezen op meetgegevens die gedurende een periode van nog geen jaar waren verkregen. Een extrapolatie vanuit zulke gegevens naar gebeurtenissen die gemiddeld eens per 1000 of 10 000 jaar kunnen voorvallen, levert natuurlijk slechts een vrij grove schatting op



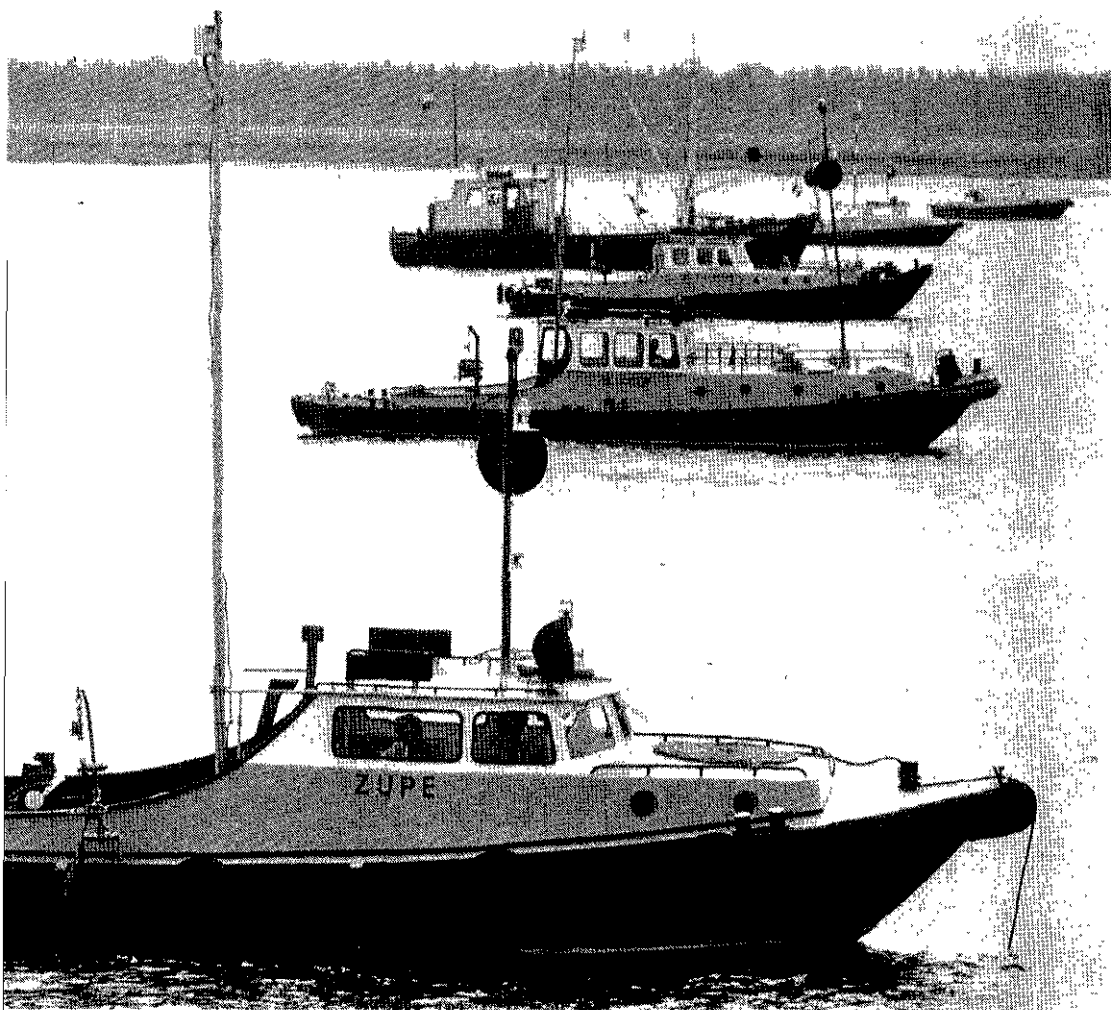


Registratie-apparatuur bij de meetdienst te Zierikzee



Meetopstelling in de Oosterscheldemon

Op grond van het onderzoek wordt er mee gerekend, dat de kenmerkende golfhoogten uit westelijke richtingen bij de maatgevende storm in de Hammen en De Schaar van Roggenplaat 4,5 à 4,8 m zullen bedragen en in De Roompot 4,8 à 5,3 m. De bijbehorende gemiddelde golfperiodes zullen respectievelijk ongeveer 7,5 sec. en 7,7 sec. bedragen. Omtrent de werkbaarheidscondities kan op grond van recente meetresultaten al wel een betrouwbare uitspraak worden gedaan. Hier zijn immers vooral de regelmatig voorkomende omstandigheden van belang. Ter plaatse van het damtracé wordt de kenmerkende golfhoogte van 0,8 m gedurende 15 tot 20% van de tijd overschreden. Gedurende een relatief groot deel van de tijd moet hier dus rekening worden gehouden met hoge golven. Nu is voor het transporteren en



Stroommeting in het Zijpe

plaatsen van caissons niet alleen de kenmerkende golfhoogte van belang, maar ook de hoeveelheid energie bij lage frequenties. Daarover zijn ook reeds voldoende betrouwbare gegevens beschikbaar gekomen.

Een groot aantal onderdelen van het golfonderzoek dat in het voorgaande is beschreven, is thans nog in volle gang. Een aantal van deze onderzoeken, die vooral van belang zijn voor de dimensionering van de stormvloedkering, zullen mogelijk zelfs nog enkele jaren in beslag nemen. Voor die tijd moet dan ook met minder nauwkeurige, geschatte gegevens worden gewerkt.

De stromingscondities

Het ontwerp van de stormvloedkering gaat er in eerste instantie van uit dat het Oosterscheldebekken zal worden gecompartmenten-

teerd volgens model C3 van het rapport van de Oosterschelde-commissie. Er komen dan dammen tussen St.-Philipsland en Overflakkee en tussen Zuid-Beveland en Tholen onmiddellijk ten westen van de Schelde-Rijnverbinding. Indien bij compartimentering volgens model

C3 een gemiddeld getijverschil van 2,3 m bij Yerseke moet worden gerealiseerd, dan is in de stormvloedkering een doorstroomopening nodig die slechts 15% van het oorspronkelijke profiel bedraagt. De verticale getijbeweging wordt daarmee gereduceerd tot ongeveer 65% van de oorspronkelijke. Dit betekent dat een grote hoeveelheid water door een kleine opening moet stromen. Dat gaat gepaard met hoge snelheden, in de orde van grootte van 5 m per seconde.

De profielen van de geulen aan weerszijden van de stormvloedkering blijven aanvankelijk ongewijzigd, maar het totale stroomvolume wordt gereduceerd tot ongeveer 65%. De snelheden aan weerszijden van de kering nemen bijgevolg af, en de overgang van de hoge snelheden in de constructie naar de lage snelheden er vlak achter is niet gering. De vertraging die de stroom moet ondergaan bij het uitstromen, gaat gepaard met zeer veel energieverlies, dat wil zeggen bewegings-energie wordt omgezet in warmte, potentiële energie en turbulentie. Een turbulente stroom zal meer zand kunnen loswoelen en meevoeren dan een rustige. In het turbulente gebied moet men er dan ook op rekenen dat de bodem sterk aan stroomaanval onderhevig zal zijn. Daarom werd er bij de tot nu toe uitgevoerde afsluitingen van getijgeulen dan ook steeds voor gezorgd dat deze kritieke fase, waarin de stroomsnelheden hoog oplopen, zo kort mogelijk duurde en in een zo gunstig mogelijk seizoen onder zo gunstig mogelijke getijomstandigheden plaatsvond. Het feit dat deze kritieke toestand nu bij iedere vloed en eb opnieuw voorkomt gedurende lengte van jaren, vormt een van de hydraulische hoofdproblemen van het ontwerp. Een tweede belangrijk probleem vormt de afdichting. Bij storm is de kering als het ware een muur die op of in het zand staat. Onder invloed van het waterstandsverschil en de golven wil het water zich door het zand heen gaan bewegen onder de muur door. Hierbij bestaat het gevaar dat het zand waar de stormvloedkering op rust meegenomen wordt door het water. Ook in dit opzicht is de situatie bij een stormvloedkering volkomen anders dan bij de Deltadammen. De beteuglingsdammen door de sluitgaten hadden immers maar een zeer tijdelijk karakter, en de definitieve dammen zijn honderden meters breed.

Een gevaarlijke combinatie van beide problemen ontstaat wanneer bij storm om wat voor reden dan ook een schuif of een stel schuiven niet dicht zou willen. De bodem wordt dan plaatselijk zeer zwaar aangevallen

door de stroom die zijn energie kwijt moet, terwijl de stroming door het zand onder de kering onverminderd aanwezig is.

De getijbeweging

Welke stromingscondities er heersen ter plaatse van de stormvloedkering moet worden bepaald aan de hand van gegevens met betrekking tot de getijbeweging. De getijden op de Nederlandse Noordzeekust kenmerken zich door een gemiddeld tijdsinterval tussen twee opeenvolgende hoogwaters van ongeveer 12 uren en 25 minuten.

De hoogten van twee opeenvolgende hoogwaters kunnen op een en dezelfde dag verschillend zijn. Zowel uit lange reeksen continue waarnemingen als uit de getijtheorie volgt, dat de hoogwaters en laagwaters aan periodieke schommelingen onderhevig zijn: eenmaal per 15 dagen treedt een hoog hoogwater op en evenzo een laag laagwater.

Dit extra sterke getij wordt aangeduid als springtij. Ongeveer een week na springtij treedt het tegengestelde verschijnsel op, dat doodtij wordt genoemd.

Uit de getijregistraties blijkt, dat de getijbeweging storingen vertoont die een gevolg zijn van de wind. Vooral noordwesterstormen kunnen aanleiding geven tot zeer hoge hoogwaterstanden. Stormachtige oostelijke winden daarentegen kunnen oorzaak zijn van zeer lage hoogwater- en laagwaterstanden. Langs statistische weg heeft men in de loop van de laatste 40 jaar getracht inzicht te verkrijgen in het voorkomen van deze extreme waterstanden langs onze kust. Een stormvloed wordt gekarakteriseerd door overschrijding van het grenspeil, dat is de hoogwaterstand ter plaatse die gemiddeld ten minste eens per twee jaar wordt overschreden.

Nabij de mond van de Oosterschelde wordt het getij in hoofdtrekken gekenmerkt door de in tabel 1 vermelde hoogwaters en laagwaters, die zijn gemeten te Vlietepolder (Noord-Beveland) en te Burghsluis (Schouwen). Dit zijn de meest zeewaartse peilschrijvers van Rijkswaterstaat in het Oosterscheldebekken waar we voldoende informatie van hebben met betrekking tot de getijstanden. Voor het berekenen van de getijbeweging in het Oosterscheldebekken zijn op dit ogenblik twee modellen operationeel beschikbaar: het hydraulische model M 1000 en het mathematische model *Implic*. Binnenkort komt ook het elektrisch analogon 'Deltar' weer voor dit werk beschikbaar. Het getijverschil in de Oosterschelde bij Yerseke moet in de nieuwe toestand een gemiddelde waarde bereiken van ongeveer 2,3 m. Om te kunnen

berekenen onder welke omstandigheden dat getijverschil optreedt, moet niet alleen het gemiddelde getij in zee beschouwd worden, maar ook de statistische verdeling van de getijverschillen.

Bepalend voor het gedrag van de getijbeweging in het Oosterscheldebekken is het gedrag van het getij op zee. Om dit gedrag te achterhalen werd het geregistreerde getij te Vlietepolder, voor zover het de laagwaters, hoogwaters en getijverschillen betreft, aan een statistisch onderzoek onderworpen.

Daarnaast werd een onderzoek ingesteld naar stormvloed, die getijden dus waarvan het hoogwater boven het grenspeil uitkomt.

Stormvloed staat sterk onder invloed van de meteorologische omstandigheden, zoals windkracht en windrichting. Vooral de windstuwing op de Noordzee en het verloop daarvan in de tijd speelt voor de vorm van de stormvloedkromme een belangrijke rol. Bij het ontwerp van de stormvloedkering in de Oosterschelde is men vooral geïnteresseerd in de maximaal mogelijke stijging per uur van de waterstand; zulks in verband met de noodzaak om het kunstwerk te kunnen sluiten in snel stromend water. Daarnaast zijn de maximale stormvloedstand en het verloop van de waterstanden in de tijd van veel belang.

De getijbeweging onder normale omstandigheden

Het onderzoek naar de wijziging die de getijbeweging onder normale omstandigheden op het Oosterscheldebekken ondergaat als gevolg van de bouw van de stormvloedkering kan even goed worden gedaan met het hydraulische model M 1000 als met het mathematische model Implic. De overeenstemming tussen de uitkomsten van beide modellen is goed. Om programmatische redenen is het onderzoek echter voornamelijk met Implic uitgevoerd. Op grond van de gegevens van de peilschaalstations Vlietepolder en Burghsluis werden voor beide modellen getijrandvoorwaarden bepaald. Dit zijn de getijomstandigheden aan de rand van het model, ongeveer 15 km zeewaarts van het damtracé.

In tabel 2 zijn de hoogwaterstanden, de laagwaterstanden en de tijverschillen vermeld die bij open Oosterschelde gelden voor de peilschaalstations Vlietepolder, Burghsluis, Wemeldinge en Yerseke volgens het Tienjarig Overzicht van 1951 tot 1960 en volgens de Implicberekening. Uit de tabel blijkt, dat de hoogwaterstanden gaande vanaf de mond van de Oosterschelde landinwaarts aanvankelijk een daling vertonen. De daling wordt sterker

naarmate de amplitude van het getij toeneemt. De laagwaters vertonen landinwaarts gaande een stijging, die eveneens groter wordt met de getij-amplitude. Uit beide verschijnselen volgt dat het tijverschil in de lengterichting van de open Oosterschelde van west naar oost kleiner wordt. Dit gaat op tot ongeveer ter hoogte van Colijnsplaat. Daarna worden de tijverschillen weer groter. Uit de gegevens van de tabel blijkt eveneens, dat er goede overeenstemming bestaat tussen de uitkomsten van het mathematisch model Implic en de meetgegevens volgens het Tienjarig Overzicht.

Vervolgens zijn op de rand van het mathematisch model de getijrandvoorwaarden voor gemiddeld doottij, gemiddeld getij en gemiddeld springtij ingesteld. Met ieder van deze getijden is vervolgens de getijbeweging berekend die optreden zal in de nieuwe toestand, dus met een compartimentering volgens model C3 en met een stormvloedkering. De berekeningen zijn uitgevoerd voor verschillende effectieve doorstroombopeningen in de stormvloedkering. Op grond van de resultaten van deze berekeningen zou geconcludeerd kunnen worden dat een effectief profiel van ongeveer 10 000 m² voldoende zou zijn om het gewenste getijverschil bij Yerseke te realiseren.

Hierbij dienen twee opmerkingen te worden gemaakt. In het voorgaande is sprake van de *effectieve* doorstroombopening, die in de formules aangeduid wordt als μ maal A. Hierin stelt A het werkelijke profielloppervlak van de stormvloedkering voor, terwijl μ een zogenaamde afvoercoëfficiënt is. De afvoercoëfficiënt μ is afhankelijk van de constructie van de stormvloedkering. Door middel van modelonderzoek is het mogelijk om de grootte ervan bij elke veronderstelde constructie van de kering vast te stellen.

Een tweede opmerking betreft de wijze van bepaling van het gemiddelde getijverschil bij Yerseke. Het is namelijk niet zeker of het gemiddelde getij op de Noordzee wel representatief is voor het gemiddelde getij op het bekken na het aanbrengen van de weerstand die de stormvloedkering vormt. De geconcentreerde weerstand van de stormvloedkering blijkt te werken als een soort filter, waar de verschillende getijcomponenten verschillend op reageren. Het onderzoek hiernaar is thans nog in volle gang. Voorshands wordt echter verwacht dat de repercussies voor het gemiddelde getij gering zullen zijn. Mede in verband met andere factoren is echter voorlopig nog uitgegaan van een effectief profiel van 11 500 m².

Tabel 1

Aard van het getij	Vlietepolder		Burghsluis	
	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.
Gem. doottij	+ 114	— 124	+ 110	— 121
Gem. tij	+ 144	— 140	+ 139	— 137
Gem. springtij	+ 166	— 150	+ 163	— 147
Hoogst waargenomen H.W.	+ 435 (1953)		+ 420 (1953)	
Laagst waargenomen H.W.	— 50 (1910)		— 43 (1910)	
Hoogst waargenomen L.W.	+ 130 (1895)		+ 120 (1953)	
Laagst waargenomen L.W.	— 310 (1895)		— 298 (1953)	

extreme H.W.-standen met gem. jaar-
overschrijdingswaarden m

m = 0,5	+ 285
m = 0,1	+ 345
m = 0,01	+ 405
m = 0,001	+ 465
m = 0,0001	+ 535

Tabel 2

Toestand	gem. doottij			gem. getij			gem. springtij		
	H.W.	L.W.	T.V.	H.W.	L.W.	T.V.	H.W.	L.W.	T.V.
Plaats gemeten en berekend getij									
Vlietepolder (gemeten)	114	-124	238	144	-140	284	166	-150	316
Vlietepolder (berekend)	113	-125	238	142	-139	281	165	-149	314
Burghsluis (gemeten)	110	-121	231	139	-137	276	163	-147	310
Burghsluis (berekend)	110	-123	233	140	-138	278	166	-148	314
Wemeldinge (gemeten)	135	-147	282	169	-168	337	193	-181	374
Wemeldinge (berekend)	138	-153	291	168	-170	338	192	-181	373
Yerseke (berekend)	144	-158	302	176	-177	353	201	-187	388

De getijbeweging onder extreme omstandigheden

De Deltacommissie heeft in haar eindadvies van 1960 als uitgangspunt voor de stormvloed-randvoorwaarden het basispeil genomen. Het basispeil is per definitie het peil dat overeenkomt met een waterstand te Hoek van Holland van N.A.P. + 5 m. Dit peil heeft een gemiddelde jaaroverschrijdingsfrequentie van 10^{-4} , anders gezegd een kans van 1‰ per eeuw om overschreden te worden; de kans daarop gedurende een mensenleven – zeg 80 jaar – is: $80:1000 = 0,8\%$, dus 1 op 125.

De gekozen overschrijdingsfrequentie is gebaseerd op econometrische beschouwingen, waarin de verwachting omtrent mogelijke rampschade wordt afgewogen tegen de kosten van verbetering van de hoogwaterkeringen. In deze econometrische beschouwingen is het mogelijke verlies van mensenlevens tijdens een stormvloed om allerlei redenen niet verdisconteerd.

Niet alle delen van Nederland kunnen economisch even hoog gewaardeerd worden.

Ook kunnen de gevolgen van een doorbraak van plaats tot plaats verschillen.

Daarom heeft de Deltacommissie het begrip ontwerppeil geïntroduceerd. Het ontwerppeil wordt uit het basispeil, dat per lokatie nog verschillend kan zijn, afgeleid door er een zogenaamde economische reductie op toe te passen. Vervolgens dient dan nog een correctie te worden aangebracht die afhankelijk is van de invloed van eventuele waterstaatkundige werken op de waterstanden ter plaatse. De verhogende invloed die bijvoorbeeld afdammingen hebben op de waterstanden, dient dus in het ontwerppeil te worden opgenomen.

Om ontwerppeilen te kunnen afleiden dient men derhalve te beschikken over een statistiek van hoogwaterstanden, over inzicht in de invloed van de aanleg van kustwerken op de waterstanden en over econometrische normen. De Deltacommissie heeft haar statistiek van hoogwaterstanden gebaseerd op gegevens over een periode van negentig jaar. Daarnaast heeft ze berekeningen laten uitvoeren om te bepalen welke invloed de afdamming van de zeegaten heeft op de stormvloedstanden. Een aanzienlijk deel van de verhogende invloed die afdammingen hebben, wordt daardoor veroorzaakt dat de meteorologische invloeden, voornamelijk de op- en afwaaiing, veel geprononceerder tot uitdrukking komen in de waterstanden. Er dienen dus gegevens aangaande windsnelheden en windrichtingen voorhanden te zijn, gerelateerd aan de be-

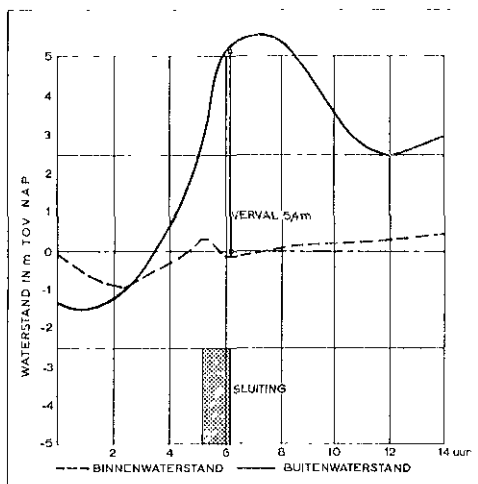


Fig. 3. Verloop van de waterstand tijdens de sluitingsmanoeuvre, aan de binnen- en aan de buitenzijde van de stormvloedkering

schouwe al dan niet extreme stormvloedstanden. Een statistiek van windsnelheden, gekoppeld aan windduur en windrichtingen, was destijds echter niet voorhanden, zodat men het met benaderingen moest doen.

De hoogste stand van de maatgevende stormvloed ter plaatse van de gesloten kering kan worden afgeleid uit de statistieken die in opdracht van de Deltacommissie zijn samengesteld. Via extrapolatie van de waarnemingen en na het toepassen van een economische reductie van 30 cm en het in rekening brengen van een stormvloedverhogende invloed van 40 cm, resulteert voor het ontwerppeil ter plaatse van de damaanzet op Schouwen een waarde van N.A.P. + 5,3 m en voor de damaanzet op Noord-Beveland van N.A.P. + 5,5 m.

Het verval tijdens sluiten

De waterstandsgegevens uit het Deltarapport zijn echter niet toereikend voor het ontwerp van de stormvloedkering. De kering moet gesloten kunnen worden in stromend water. Daardoor wordt het verval dat optreedt over de schuiven in de loop van de sluitingsprocedure een van de belangrijkste ontwerpgegevens. Om dit te kunnen vaststellen is het nodig dat men de beschikking heeft over het getijverloop voorafgaand aan, tijdens en na de sluitingsmanoeuvre. De berekeningen die hieromtrent informatie kunnen verschaffen hebben enerzijds een mathematisch-fysisch en anderzijds een statistisch karakter. Er moeten

situaties worden berekend die nog nooit zijn voorgekomen en die dus ook niet aan natuurmetingen getoetst kunnen worden. Bovendien worden de gegevens met behulp van statistische technieken geëxtrapoleerd naar omstandigheden die een zo kleine kans van voorkomen hebben, dat het niet mogelijk is een zeer grote mate van nauwkeurigheid te bereiken.

Voor het bepalen van het maximale verval dat tijdens een sluitingsmanoeuvre kan optreden, zouden in principe statistieken beschikbaar moeten zijn van in het verleden opgetreden rijzingen boven het grenspeer. Dergelijke statistieken zijn voornamelijk niet beschikbaar en het is hoogst onzeker of het, gezien het geringe aantal waargenomen stormvloed en de onbetrouwbaarheid van de waarnemingen, binnen afzienbare tijd wel mogelijk zal zijn om zo'n statistiek samen te stellen.

Als eerste benadering is dan ook een andere methodiek gevolgd, waarbij het normaal voorkomende getij verhoogd wordt met het effect van een berekende storm. Door de getijkromme en de stormeffectkromme bij elkaar op te tellen krijgt men dan een stormvloedkromme, die het verloop van de waterstand weergeeft tijdens een stormvloed.

Een voorbeeld ziet men in figuur 2, waar twee combinaties zijn getekend van hetzelfde gemiddeld getij met hetzelfde stormeffect. Beide bereiken het ontwerppeer ter plaatse van de rand van het mathematische getijvoortplantingsmodel Implic, maar vóór dit hoogwater vertonen ze een geheel verschillend verloop.

De benodigde stormeffecten zijn berekend met behulp van het mathematische Noordzeemodel van het K.N.M.I. Dat model berekent uitsluitend de waterstandsverhogingen tengevolge van wind; de getijbeweging wordt er buiten beschouwing gelaten.

Als resultaat van het onderzoek waarvan in het voorgaande beknopt de hoofdlijnen zijn aangegeven, is nu een combinatie samengesteld van een gemiddeld springtij en het stormeffect, zodanig dat het ontwerppeer wordt bereikt en dat op N.A.P. $+ 2,75$ m – het grenspeer – sprake is van een zeer snelle rijzing. Gedurende het sluiten van de stormvloedkering, dat plaatsvindt in de 60 minuten nadat het grenspeer bereikt is, rijst het water aan de zeezijde van de dam nog tot N.A.P. $+ 5,25$ m. Aan het einde van de sluitingsprocedure van de stormvloedkering is het ontwerppeer dan op 25 cm na bereikt. Het verloop van de waterstand is weergegeven in figuur 3; daar is ook de berekende binnenwaterstand uitgezet. Over een kering

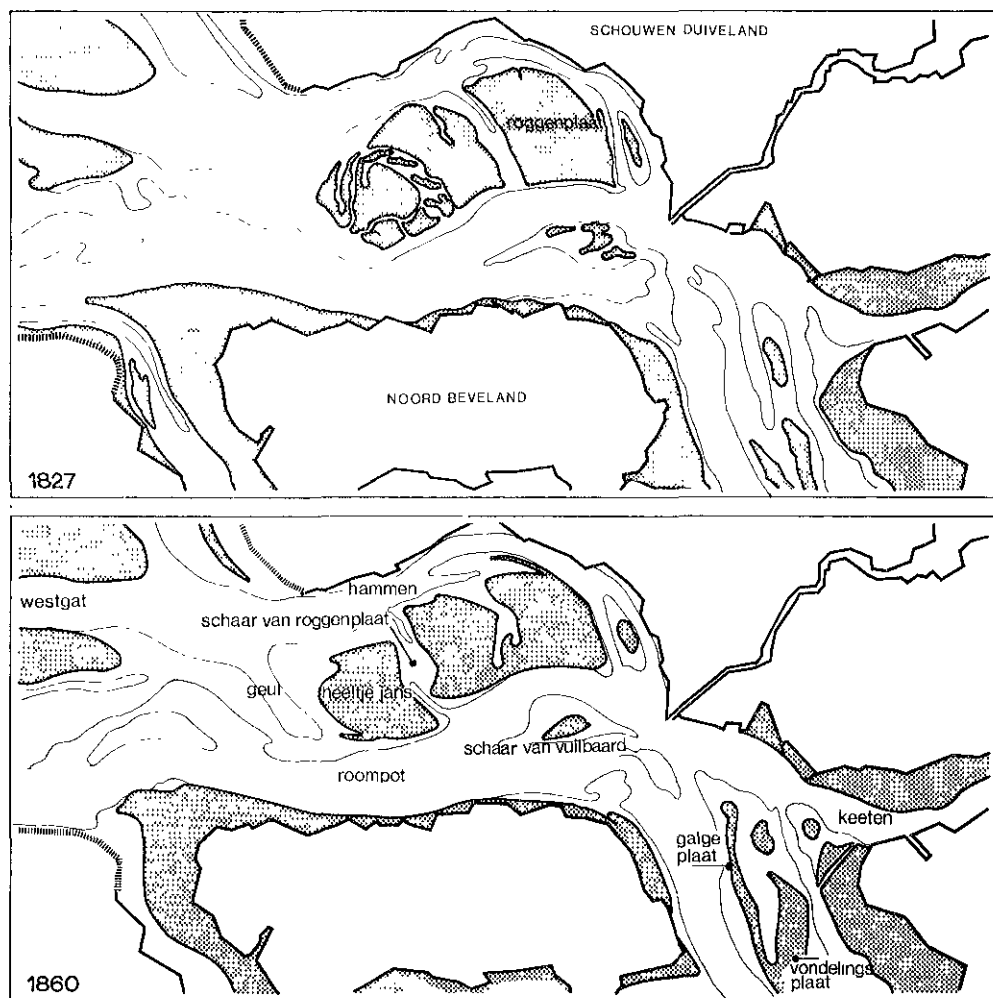
met een effectief doorstroomprofiel van $10\,000\text{ m}^2$ beneden N.A.P. staat dan een maximaal verval van $5,4$ m, zoals in de figuur ook is aangegeven. Deze waarde is aanzienlijk groter dan in het begin van de studie werd aangenomen op grond van de stormvloed van 6 en 7 april 1943, die ook een zeer snelle getijrijzing had te zien gegeven.

In samenwerking met het K.N.M.I. is ook nader onderzoek verricht naar het verloop van de windsnelheid onder extreme omstandigheden. Hoewel dit onderzoek nog slechts heeft geleid tot voorlopige aanbevelingen, kan wel gesteld worden dat men thans rekent met aanzienlijk hogere windsnelheden dan de Deltacommissie destijds aannam. Het is bovendien noodzakelijk gebleken onderzoek te verrichten naar afwaaiingsverschijnselen in het Deltagebied tengevolge van oostelijke winden. Ook de waterstandsverlagingen die tengevolge van oostelijke winden op de Noordzee ontstaan, kunnen immers van invloed zijn op de ontwerpcriteria van het kunstwerk. De meteorologische condities voor het ontstaan van oosterstormen zijn anders dan die voor stormen uit westelijke richtingen. De relaties tussen windduur en windsnelheid zullen dan ook zeker anders zijn dan bij de westelijke stormen.

Samenvattend kan gesteld worden dat de inzichten met betrekking tot het ontwerppeer voor de stormvloedkering en ook ten aanzien van het statische ontwerppeer over de kering in wezen ongewijzigd zijn gebleven sedert het beginstadium van de studie. Dit houdt zoals gezegd in, dat bij de maatgevende overschrijdingsfrequentie rekening gehouden moet worden met een stormvloedstand van N.A.P. $+ 5,3$ m nabij Schouwen en N.A.P. $+ 5,5$ m nabij de Noord-Bevelandse oever aan de zeezijde van de kering. Daarbij behoort een verval van 7 à $7,2$ m indien de kering op het laagwater voorafgaand aan de stormvloed gesloten wordt. Indien de kering wordt gesloten als de buitenwaterstand het grenspeer overschrijdt, kunnen de vervallen bij een doorstroomopening van $10\,000\text{ m}^2$ waarden aannemen van 5 à $5,5$ m. Er zijn nog geen berekeningen uitgevoerd voor het sluiten op stroom met andere doorstroomopeningen. Wel staat vast dat de maximale vervallen bij grotere openingen wat kleiner zullen zijn. Op grond van de verrichte onderzoeken kan worden gesteld dat de richtlijnen van de Deltacommissie aangaande de windsnelheden bij extreme condities in het betrokken gebied gewijzigd dienen te worden. Er moet met hogere windsnelheden rekening worden gehouden dan tot dusver werd gedaan.

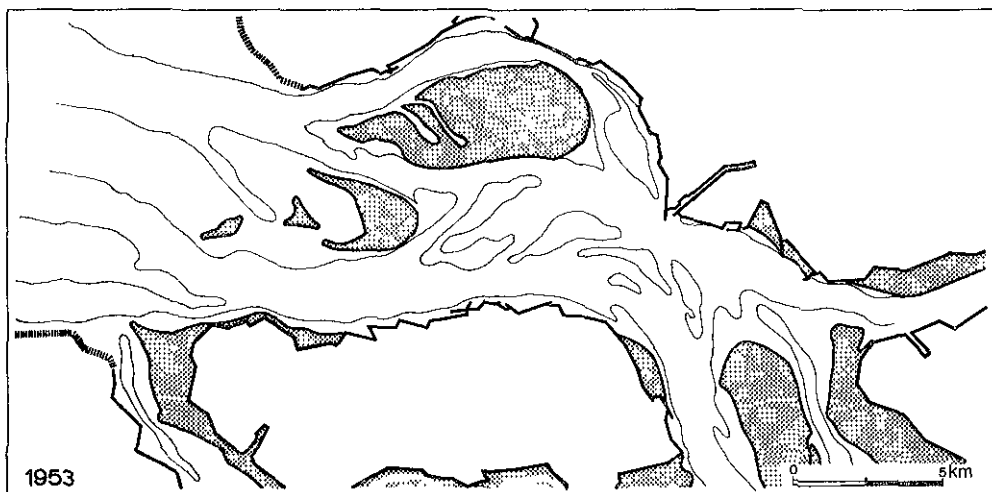
Waterloopkundige en hydrografische gevolgen voor het Oosterscheldebekken

Fig. 1. Ontwikkeling van de
platen in de Oosterschelde,
1827-1953



Wanneer de Oosterschelde met een stormvloedkering zal zijn afgesloten, gaat de waterloopkundige en hydrografische situatie in het Oosterscheldebekken en het aangrenzende kustgebied veranderen. Het getijregiem verandert, en hoge stormvloed en de daarmee gepaard gaande golfbeweging zullen tot de verleden tijd behoren. Deze wijzigingen zullen als gevolg hebben dat er veranderingen optreden in het erosie- en sedimentatieproces. Uit de metingen van de afgelopen 100 jaar kan worden afgeleid dat in het Oosterscheldebekken de erosie steeds groter is geweest dan de sedimentatie. Tegelijkertijd werd de onderwaterdelta verder zeewaarts uitgebouwd. Bij de studie van de gevolgen van de bouw van de stormvloedkering voor de morfologie in het Oosterscheldebekken wordt gebruik gemaakt van het hydraulisch model M 1000,

het ééndimensionale getijmodel Implic en het tweedimensionale getijmodel RD II. De in Bericht 74 (november 1975) beschreven tweedimensionale getijmodellen RD II en Scheldes zijn thans echter nog niet gereed om situaties met een stormvloedkering door te rekenen. Er zijn al wel berekeningen mee mogelijk voor de huidige situatie en voor een toestand waarbij de Oosterschelde wordt afgesloten volgens het oorspronkelijke Deltaplan. Als gevolg van de bouw van de stormvloedkering en van de compartimenteringsdammen zijn niet alleen wijzigingen mogelijk in het erosie- en sedimentatieproces, maar men kan bovendien veranderingen verwachten in het geulenpatroon, die gepaard kunnen gaan met oevererosie. Omdat zulke processen zich ook in de afgelopen eeuw hebben voorgedaan, lijkt het van belang om met name op deze

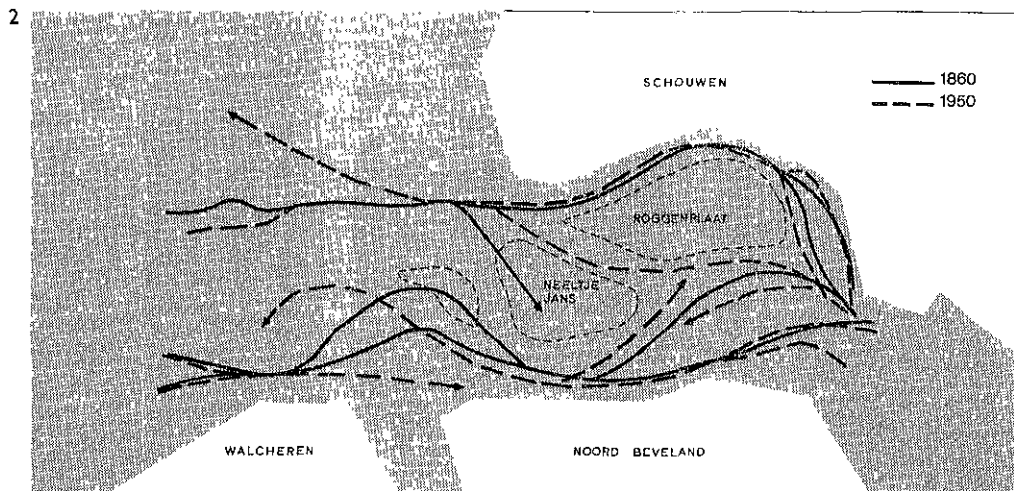


ontwikkelingen in het Oosterscheldebekken wat nader in te gaan. (Zie ook Bericht 72, mei 1975).

De geschiedkundige ontwikkeling van het Oosterscheldebekken

De oudste gegevens omtrent het Oosterscheldebekken kunnen we ontleen aan hydrografische kaarten. De oudste bruikbare kaart voor het Nederlands kustgebied dateert uit de Franse tijd. Het is de Carte Réduite des Côtes des Pays-Bas, die door de Franse hydrograaf Beautemps Beupréz is gemaakt en die gepubliceerd is in 1817. De opnemingen voor deze kaart werden verricht in het tijdvak 1799-1811. Bij het beschouwen van deze hydrografische kaarten dient men wel te bedenken dat ze voornamelijk bestemd waren als gids voor de scheepvaart en dat ze dus

in verband met de ontoereikendheid van de peilmethode en de onzuiverheid van plaats- en waterstandsbepaling. Hoewel de peilmethode, de plaatsbepaling en de waterstandsaflezing in de loop van de tijd geleidelijk zijn verbeterd en de oudere gegevens dus minder nauwkeurig zijn dan de nieuwere, kan toch worden aangenomen dat een vergelijking van de berekende inhoud van de steeds veranderende geulen en zee-armen waarde heeft, ook al moet men voorzichtig zijn met het trekken van conclusies. De gevonden resultaten betreffende verdieping of verondieping van geulen of zeearmen tonen inderdaad vaak een duidelijke tendens. We kunnen dit illustreren aan de hand van figuur 1 waar de hydrografische situatie van de Oosterschelde ten westen van Tholen is weergegeven omstreeks 1827, 1860, 1912 en



vooral informatie verstrekken over de ondiepste plaatsen. De bruikbaarheid van het oude materiaal wordt verder beperkt, doordat niet precies bekend is ten opzichte van welk vlak er gemeten is. Hierdoor kunnen interpretatiefouten ontstaan in de orde van enkele decimeters.

Omstreeks 1933 is de Rijkswaterstaat begonnen met het verrichten van uitgebreide lodingen. Ze werden zoveel mogelijk volgens een vast raaienstelsel uitgevoerd; de gebieden tussen hoogwater en laagwater werden eveneens in de opnemingen betrokken. De frequentie van de opnemingen werd aangepast aan de bewegelijkheid van de gebieden. Gebieden met zeer sterke wisselingen in de bodemfiguratie werden soms zelfs enige malen per jaar gepeild. Uiteraard komen ook in dit materiaal nog onnauwkeurigheden voor

1953. Al bij een oppervlakkige beschouwing van deze kaarten valt op dat zich in de ligging van platen en geulen in de loop der jaren enorme veranderingen voordoen. In het gebied tussen Het Keeten en Zuid-Beveland bijvoorbeeld zien we hoe een zeer grillig platengebied, doorsneden met geulen, geleidelijk verandert in één grote plaat in het midden, ontstaan uit een samenvoeging van de Vondelingsplaat en de Galgenplaat. Ook in de omgeving van de Schaar van Vuilbaard, iets meer naar het westen, zien we grote veranderingen optreden in de ligging van de geulen en platen. Nog verder westelijk, in het gebied van Roggenplaat en Neeltje Jans, doen zich in de loop van de tijd ook opmerkelijke veranderingen voor. Aanvankelijk worden de geulen Hammen en Roompot slechts door betrekkelijk ondergeschikte secundaire

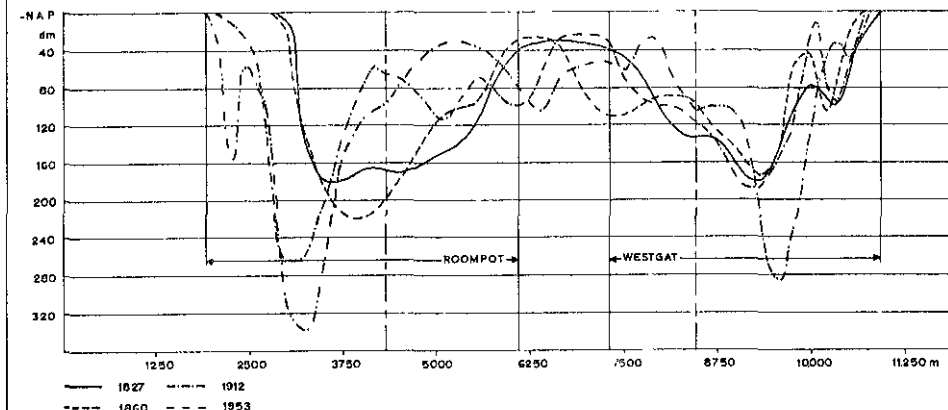
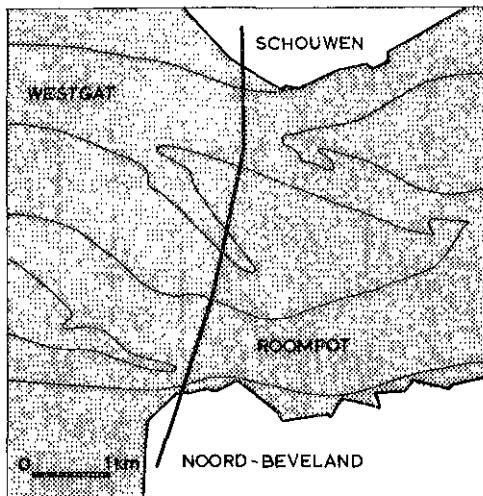
geulen met elkaar verbonden; de Schaar van Roggenplaat is er daar één van. Later, vooral in deze eeuw, draait de Schaar van Roggenplaat meer in een richting oost-west en neemt aanzienlijk in omvang en belangrijkheid toe. Het platengebied van Neeltje Jans en Middelpaas verandert daarbij volledig van vorm. De Geul, die zeewaarts van dit gebied de Roompot met het Westgat verbindt, neemt in dezelfde tijd in belangrijkheid af. De veranderingen die zich tezelfder tijd in de ligging van de hoofdgeulen voltrokken, worden nog eens nader geïllustreerd in figuur 2, waarin de ligging is aangegeven van de diepste punten van de geulen in 1860 en in 1950. Ook op deze figuur zien we weer het ontstaan van de Schaar van Roggenplaat. Deze figuur geeft mede een beeld van de enorme verplaatsingen die de geulassen

Fig. 2. Verplaatsing van de geulassen tussen 1860 en 1950

hebben ondergaan in deze tijd, vooral indien men zich goed realiseert wat de schaal van de figuur is.

De geulen hebben zich niet alleen verplaatst, ze zijn tegelijkertijd ook dieper geworden. We kunnen dit illustreren aan de hand van de ontwikkelingen in een raai tussen Schouwen en Noord-Beveland, in de omgeving van het damtracé. In figuur 3 zien we hoe dit profiel verliep in de jaren 1827, 1860, 1912 en 1953. We zien dat in de loop van de tijd een belangrijke verdieping van de geulen optreedt, gepaard gaande met een verplaatsing van de geulas, terwijl het bankengebied tegelijkertijd aanmerkelijk in breedte toeneemt. Tijdens deze ontwikkelingen is het totale profielloopp vlak toegenomen met het getijvolume. Uit deze terugblik in het verleden van de Oosterschelde kunnen we afleiden dat het

Fig. 3. Ontwikkeling van het bodemprofiel in een raai in de Oosterscheldemond, 1827-1953



patroon van geulen en banken in het gebied zeer beweeglijk is. Ook in de tijd toen van belangrijke menselijke ingrepen nog geen sprake was, traden hier grote geulverplaatsingen en andere hydrografische veranderingen op. Naarmate het getijvolume toenam pasten ook de profieloppervlakken zich aan, zodat in de loop van de tijd van een belangrijke verdieping kan worden gesproken. De totale uitschuring van de Oosterschelde liep geleidelijk op van aanvankelijk nog geen 4 miljoen m³ per jaar tot ongeveer 5 miljoen m³ per jaar gedurende de laatste decennia. In het meest oostelijke deel van de Oosterschelde viel toen echter juist een lichte sedimentatie te bespeuren.

Gelijktijdig met de afsluiting van het Volkerak begon de aanleg van het eerste werkeiland, Roggenplaat, in de mond van de Oosterschel-

belang is wanneer besloten zou worden tot de aanleg van een stormvloedkering.

Een andere recente ontwikkeling, die in dit verband van belang is, is de kortsluiting tussen de vloedschaar van de Roompot en de Schaar van Vuilbaard ten zuiden van het gebied van de Roggenplaat. Gelijktijdig hiermee is zeewaarts van het damtracé een doorbraak ontstaan van de ebschaar van de Roompot naar het Westgat. (Zie figuur 4).

De ontwikkelingen kunnen voor een gedeelte worden toegeschreven aan het feit dat het ebvolume na de afsluiting van het Volkerak in 1969 met bijna 10% is toegenomen, maar ook voor een deel aan de afsluiting van de Geul in 1972. Waarschijnlijk zullen deze oorzaken de doorbraken slechts hebben versneld, omdat de tendens van de ebschaar van de Roompot om naar het noorden af te buigen

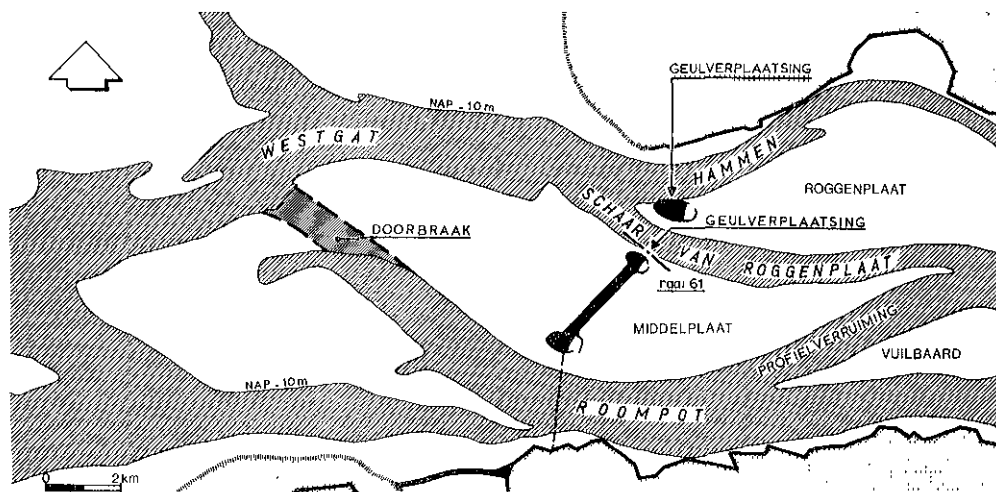


Fig. 4. Ontwikkelingen in de mond van de Oosterschelde, tussen 1969 en 1975

de. In de daarop volgende jaren werden de werkeilanden Neeltje Jans en Noordland gebouwd, terwijl tevens begonnen werd met de aanleg van de damaanzet bij Noord-Beveland en de Geul werd afgesloten door verbinding van de werkeilanden Noordland en Neeltje Jans. Als gevolg van deze werken was een vernauwing van het profiel ontstaan, die door verdere uitschuring van de drie hoofdgeulen Hammen, Schaar van Roggenplaat en Roompot gecompenseerd zou worden. Een complicatie hierbij wordt gevormd doordat de Hammen en de Schaar van Roggenplaat ter plaatse van het damtracé zijn gaan uitbochten. Als gevolg van deze geulverplaatsingen vinden er voornamelijk aan de zuidzijde van deze geulen verdiepingen plaats. Het is thans nog niet duidelijk hoever deze geulverplaatsingen door zullen gaan, een vraag die vooral van

Fig. 5. Uitschuring van de hoofdgeulen ter plaatse van het damtracé sinds 1960

in de richting van de laatstgenoemde doorbraak al eerder is waar te nemen. Uit het voorgaande blijkt dat het voorspellen van morfologische veranderingen in een zeearm als de Oosterschelde een moeilijke zaak is vanwege de grote dynamiek die er heerst. Ook wanneer een bekken als dit in evenwicht is, zullen er geulverleggingen kunnen plaatsvinden, die mogelijk gepaard gaan met oevererosie. In het verleden hebben zich in dit gebied al vele oevervallen voorgedaan (figuur 6). Het onderzoek naar de morfologische veranderingen in de Oosterschelde wordt dan ook met kracht voortgezet.

De gevolgen van de aanleg van een stormvloedkering voor het Oosterscheldebekken

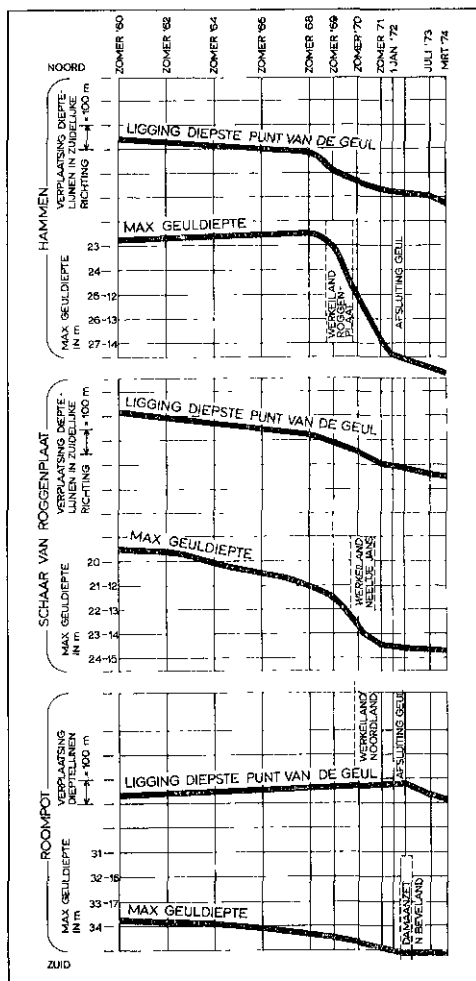
De bouw van een stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde zal het bestaande

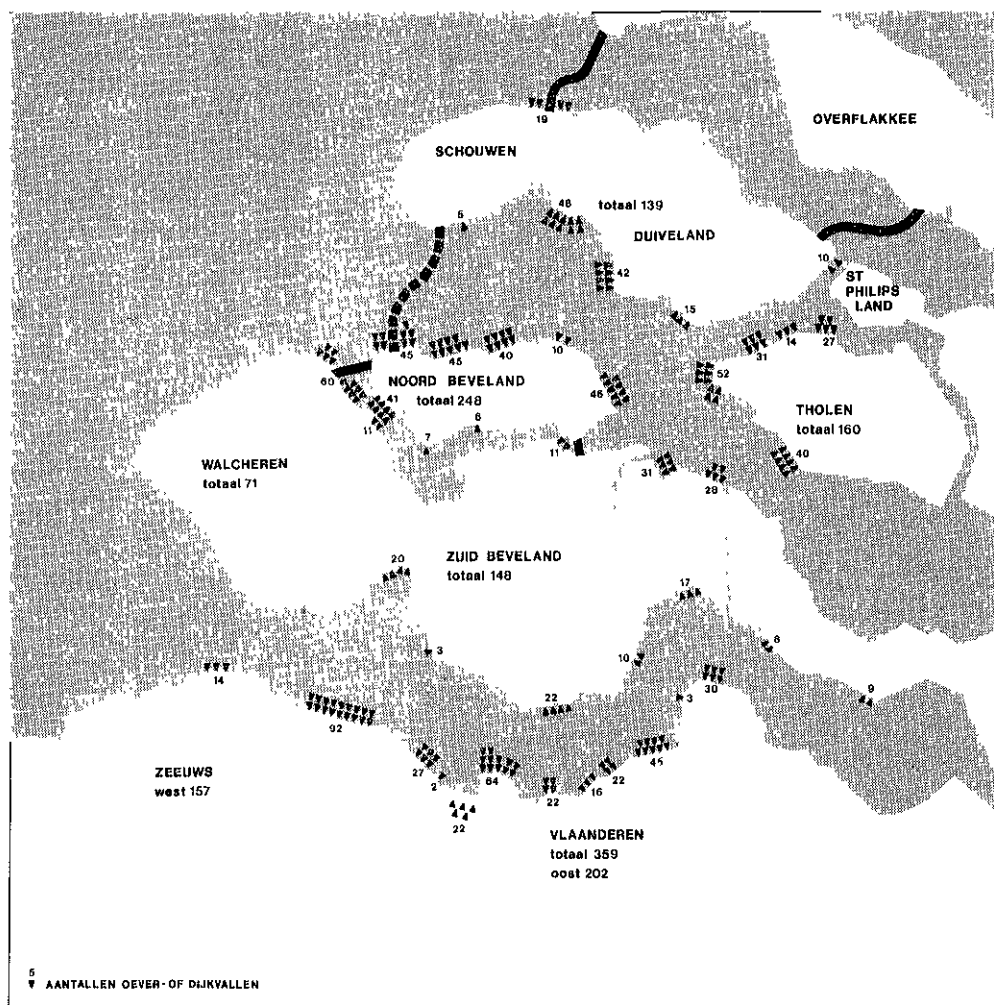
regiem minder beïnvloeden naarmate men een grotere doorstroombopening in de stormvloedkering aanbrengt. Bij een zo groot mogelijke doorstroombopening blijven de bestaande stromingstoestand en de getijverschillen grotendeels gehandhaafd, terwijl in de stormvloedkering zelf geen extra grote snelheden ontstaan. Maar tijdens hoge stormvloed moet dan een zeer grote opening worden afgesloten, en dat maakt de constructie naar verhouding wel erg duur. Bij kleinere doorstroombopeningen zijn de afsluitmiddelen naar verhouding goedkoper, maar de hydraulische problemen nemen toe. Niet alleen wordt in belangrijke mate ingegrepen in de stromingstoestand, ook de getijverschillen in het bekken worden gewijzigd en als gevolg daarvan zullen ook de morfologische processen gaan veranderen. Bovendien treden er in de stormvloedkering zeer grote snelheden op. Het keuzeprobleem dat zich hier voordoet, hebben we geïllustreerd in figuur 7, 8 en 9.

Figuur 7 geeft aan hoe het getijverschil op het bekken toeneemt naarmate we een grotere doorstroombprofiel kiezen, totdat, bij een zeer groot doorstroombprofiel, uiteindelijk de oorspronkelijke toestand vrijwel wordt gehandhaafd. Figuur 8 geeft aan hoe de snelheden ter plaatse van de stormvloedkering afnemen bij toeneming van het doorstroombprofiel. Wanneer we ons realiseren wat de maximale stroomsnelheden waren die vroeger toelaatbaar werden geacht in sluitgaten, en dan nog tijdelijk, zal het duidelijk zijn dat er vanuit waterlooppkundig oogpunt voorkeur bestaat voor een grote doorstroombopening.

Figuur 9 geeft aan hoe de kosten oplopen met een grotere doorstroombopening. Tenslotte is in figuur 10 een aan Bericht 73 (augustus 1975) ontleende afbeelding gegeven van de sedimentatie en erosie die verwacht mag worden bij verschillende doorstroombopeningen van de stormvloedkering. In dat Bericht werd toen ook de vraag gesteld welk punt van de kromme uit ecologisch oogpunt het gunstigst is. De ecologische problematiek van de stormvloedkering komt in het volgende artikel in dit Bericht nader aan de orde.

Welke waterlooppkundige veranderingen er optreden als gevolg van de bouw van een stormvloedkering, kan worden nagegaan in hydraulische zowel als mathematische modellen. Het hangt dikwijls van de aard van de gestelde vraag af, welk model het meest geschikt is om een antwoord te leveren. We zullen nu een beschrijving geven van de getijbeweging, die is ontleend aan het in Bericht 72 (mei 1975) al genoemde één-





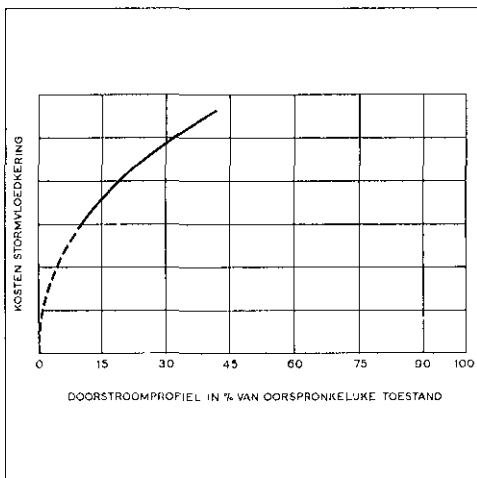
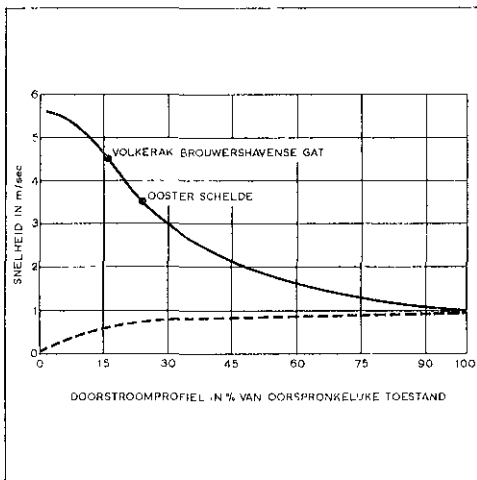
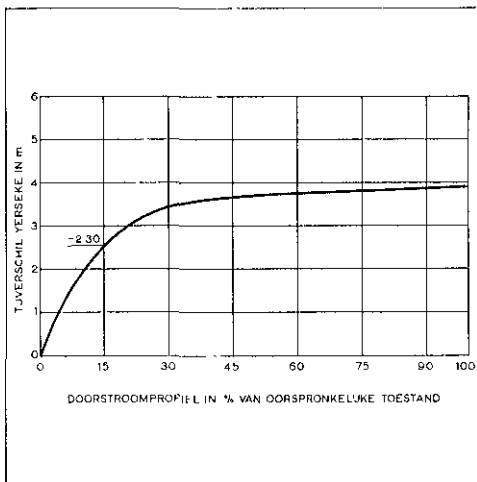
dimensionale mathematische model van het Oosterscheldebekken, Implic. Inmiddels is dit model in zeewaartse richting uitgebreid, zodat het nu hetzelfde gebied bestrijkt als het hydraulische model M 1000. In figuur 11 is het nieuwe netwerk afgebeeld. We zullen in vijf punten van dit model nagaan hoe de getijbeweging wordt wanneer compartimenteringsmodel C3 wordt uitgevoerd en er een stormvloedkering met een effectieve doorstroomopening van 11 500 m² in de mond van de Oosterschelde wordt gebouwd. In figuur 12 zien we dat het verticale getij in de Roompot slechts in geringe mate wordt beïnvloed door de aanleg van de stormvloedkering. Het betreft hier vooral een faseverschuiving. De snelheidskromme toont echter een zeer sterke toeneming van de snelheden in de

Fig. 6. Dijk- en oevervallen in het Deltagebiet

Fig. 7. Relatie tussen door-
stroomprofiel en getijverschil

Fig. 8. Relatie tussen door-
stroomprofiel en stroomsnelheid

Fig. 9. Hoe de kosten oplopen bij
vergroting van het doorstroom-
profiel



stormvloedkering. Ook nu treedt een fase-
verschuiving op ten opzichte van de
oorspronkelijke toestand.

De resultaten van de berekeningen voor
De Hammen ter plaatse van het damtracé
vertonen dezelfde tendens.

Meer naar binnen, in een punt van het Keeten
nabij Stavenisse wordt het verticaal getij met
ongeveer 35% gereduceerd. De snelheden
in dit punt nemen echter veel sterker af,
waarbij we dienen te bedenken dat ook de
aanleg van de compartimenteringsdammen
volgens model C3 hier een rol speelt.
In een punt nabij het Goesche Sas zien we
weer een reductie van het verticaal getij van
rond 35%; hier zijn de snelheden met een
niet veel groter percentage verminderd.

Ongeveer halverwege Gorishoek en Yerseke
treedt een ongeveer even grote reductie op
in het verticaal getij, en een wat grotere
vermindering van de snelheden. In alle
punten van het binnenwaarts gelegen gebied
zien we ongeveer dezelfde faseverschuivingen
in het verticaal getij en in de snelheden.

De opgegeven waarden zijn representatief
voor de geulen; op de plaatgebieden komen
lagere snelheden voor. Een meting in het
hydraulisch model M 1000, die betrekking heeft
op een ondiep platengebied dat voor de schelp-
diercultuur van belang is, geeft aan dat daar
behalve een faseverschuiving vooral tijdens de
eb een belangrijke vermindering van de snel-
heden plaatsvindt. De snelheidsreductie is
echter sterk afhankelijk van de plaats waar
gemeten wordt. Er zijn op betrekkelijk geringe
afstand van dit meetpunt plaatsen waar de
snelheid in de huidige toestand niet boven de
20 à 30 cm/sec komt. Overigens betreft het
hier een oriënterend onderzoek, dat over-

wegend kwalitatieve betekenis heeft. Wat zijn nu de gevolgen van de beschreven waterloopkundige veranderingen voor de erosie en de sedimentatie in het Oosterscheldebekken? We zagen al dat het profieloppervlak in de afgelopen eeuw de neiging heeft gehad zich voortdurend aan te passen aan het getijvolume. Het streven van het bekken naar een bepaald evenwicht kan uitgedrukt worden in een relatie tussen getijvolume en profieloppervlak. In de zeearmen van het Deltagebied geldt dat het quotiënt van het getijvolume en het profieloppervlak ongeveer constant is. Dit zou betekenen dat het getijvolume bij een stormvloedkering die een getij van 2,30 m te Yerseke veroorzaakt, met ongeveer 45% wordt gereduceerd. Het bekken zal dan ook streven naar verondieping, met andere woorden het profielopper-

gebied, maar naarmate de evenwichtstoestand bereikt wordt, zal de zandsedimentatie zich ook in meer oostelijke richting gaan uitbreiden. In tegenstelling tot vroeger, toen de naar buiten trekkende ebstromen veel zand weer naar buiten voerden, zal het gesedimenteerde zand in de nieuwe toestand grotendeels in de Oosterschelde achterblijven. Voor het slib zal het proces in grote lijnen analoog verlopen. Slib sedimenteert echter minder snel; het zal dus naar verwachting ook verder in het gebied van de Oosterschelde doordringen. Bovendien zal in het water van de Oosterschelde altijd wel een zeker minimaal slibgehalte aanwezig blijven. Voor deze fijne deeltjes geldt dus niet dat al het materiaal dat met de vloedstroom naar binnen komt, ook in het bekken zal sedimenteren. Wel geldt ook hier dat de naar buiten gaande

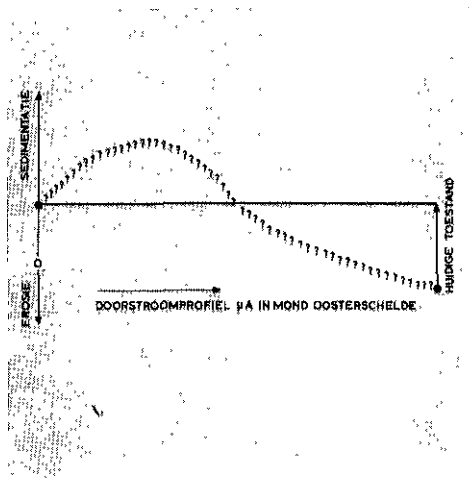


Fig. 10. Sedimentatie en erosie als functie van de doorstroomopening in de stormvloedkering

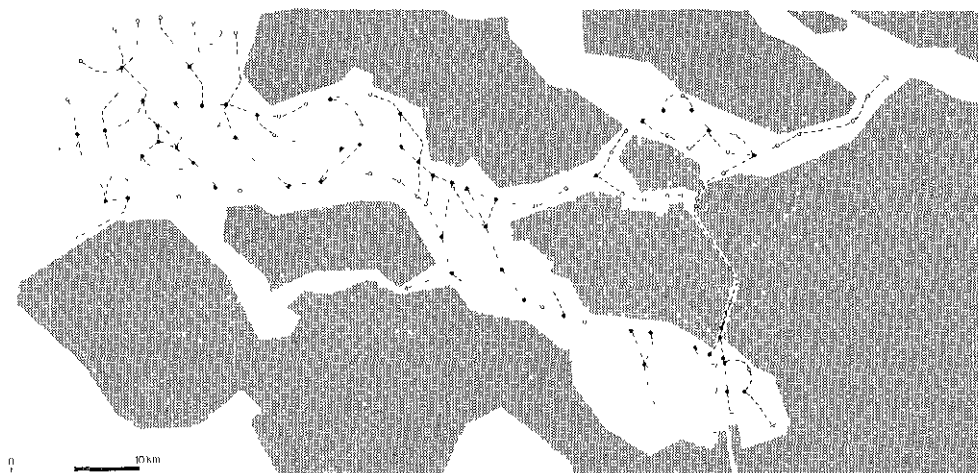
vlak zal ongeveer met hetzelfde percentage willen afnemen. De te verwachten verondieping van de bodem komt op rekening van twee processen, namelijk zandsedimentatie en slibsedimentatie. Het zand- en slibgehalte van het water dat met vloed de Oosterschelde binnenkomt is dus in hoge mate bepalend voor de snelheid van het proces van verondieping. Daarnaast kan verondieping ontstaan door erosie van de bestaande oevergebieden en platen. Zand en slib die door de vloedstroom mee naar binnen worden gevoerd, komen terecht in een gebied met naar verhouding tot vroeger veel lagere snelheden. Vooral het zand zal dan vrij snel gaan bezinken; zandsedimentatie wordt dan ook vooral verwacht in het gebied tussen de stormvloedkering en Tholen; aanvankelijk vooral in het westelijke deel van dit

ebstroom veel minder materiaal meeneemt dan vroeger ten gevolge van de hogere snelheden het geval was.

Uitgaande van een aantal veronderstellingen omtrent de bezinksnelheid en de erosiebestendigheid van het slib zijn op basis van de resultaten van het Implicmodel berekeningen gemaakt met betrekking tot de sedimentatie van het slib. De resultaten van deze berekeningen kunnen thans alleen nog maar aanwijzingen geven waar zich gebieden bevinden met een verhoogde kans op slibsedimentatie. Of en in welke mate de slibsedimentatie zich daar zal voordoen, is nog niet volkomen zeker vast te stellen. Verder moet er rekening mee worden gehouden dat de berekeningen niets zeggen over de erosie- en sedimentatieprocessen als gevolg van golfwerking in het bekken zelf. Op plaatsen

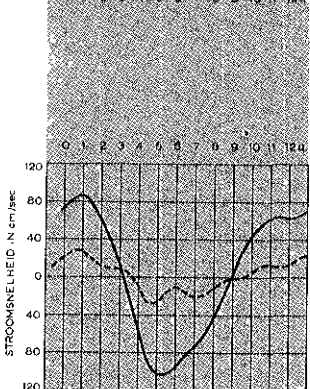
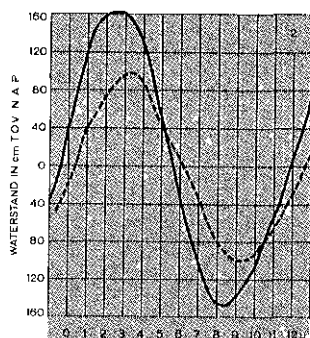
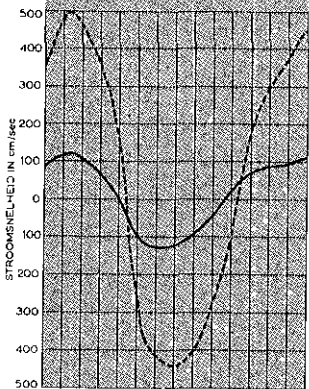
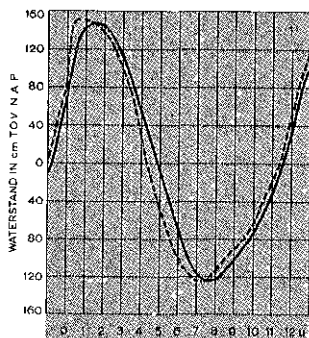
in het bekken waar de golfwerking nog doordringt tot de bodem, zal waarschijnlijk veel minder slib tot sedimentatie komen. Figuur 13 geeft een beeld van de resultaten van het onderzoek; duidelijk moet gesteld worden dat het hier voorlopige resultaten betreft, gebaseerd op rekenmethoden die nog niet in de natuur zijn getoetst. Bovendien moet bedacht worden dat het zand- en slibgehalte van het zeewater dat met vloed de Oosterschelde binnentrekt, sterk afhankelijk is van de meteorologische omstandigheden in het kustgebied. Bij stormen wordt zeer veel materiaal opgewoeld, terwijl het sedimentgehalte van het water bij rustig weer belangrijk geringer is. Als gevolg van de aanleg van de compartimenteringsdammen zullen er faseverschillen gaan optreden in de getijvoortplanting in de

hoofdgeulen. Mogelijk zullen, als gevolg van de nieuwe verhoudingen, nieuwe geulen ontstaan of zullen er geulverleggingen gaan optreden. Zulke processen kunnen bezwaarlijk worden bestudeerd in het eendimensionale model *Implic*, waarin alle geulen als 't ware zijn vastgelegd. Hetzelfde bezwaar geldt in feite voor het hydraulisch model *M 1000*, waarvan de bodem ook vastligt. Wellicht is het mogelijk om in de toekomst met behulp van het tweedimensionale getijmodel bepaalde voorspellingen te doen in dit opzicht. De resultaten van dat onderzoek zijn echter zeker niet op zeer korte termijn te verwachten. Welke gevolgen zullen de optredende veranderingen nu hebben voor de oevers van de Oosterschelde? Als gevolg van de reductie van het getij zal de golfwerking zich op een kleinere zone van de oever gaan concen-

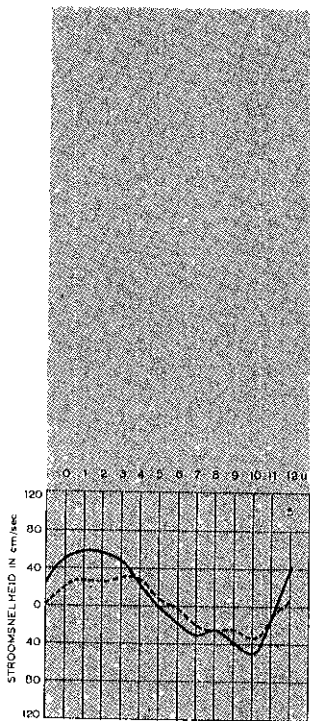
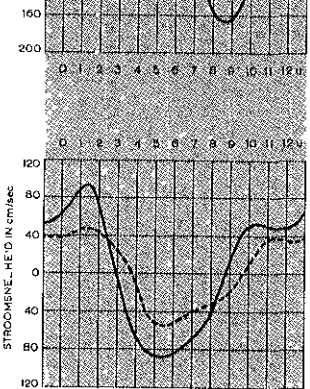
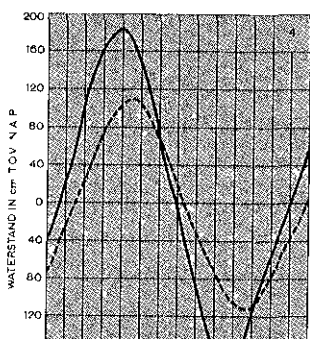
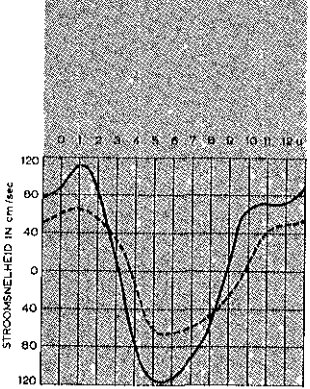
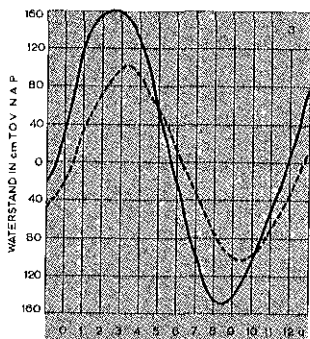


treren. Zandige en slibrijke oevers zullen in het algemeen hun profiel moeten aanpassen aan de nieuwe omstandigheden. Dit kan erosie van bepaalde gedeelten inhouden. In gebieden waar oeververdedigingen zijn aangebracht, moet worden verwacht dat als gevolg van de meer geconcentreerde golfaanval extra voorzieningen noodzakelijk zijn. Wat de gevolgen zullen zijn van eventuele geulverplaatsingen, is thans moeilijk aan te geven. Het is mogelijk dat bepaalde oevergedeelten sterker zullen worden aangevallen dan thans, terwijl andere gedeelten wellicht bedekt zullen worden onder een laag zand of slib. In het algemeen moet daarbij gedacht worden aan een aanzanding of aanslibbing in de orde van één of enkele centimeters per jaar, maar plaatselijk zullen zich in de diepste geulen ongetwijfeld veel grotere aanzan-

Fig. 11. Het nieuwe *Implic*-netwerk



— HUIDIGE TOESTAND
 - - - - - STORMVLOEDKERING +
 COMPARTIMENTERING (C 3)



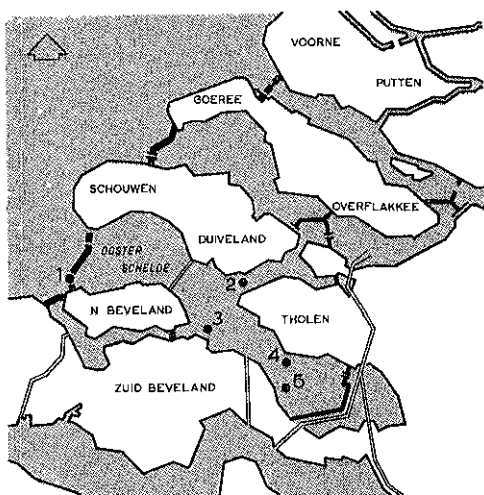
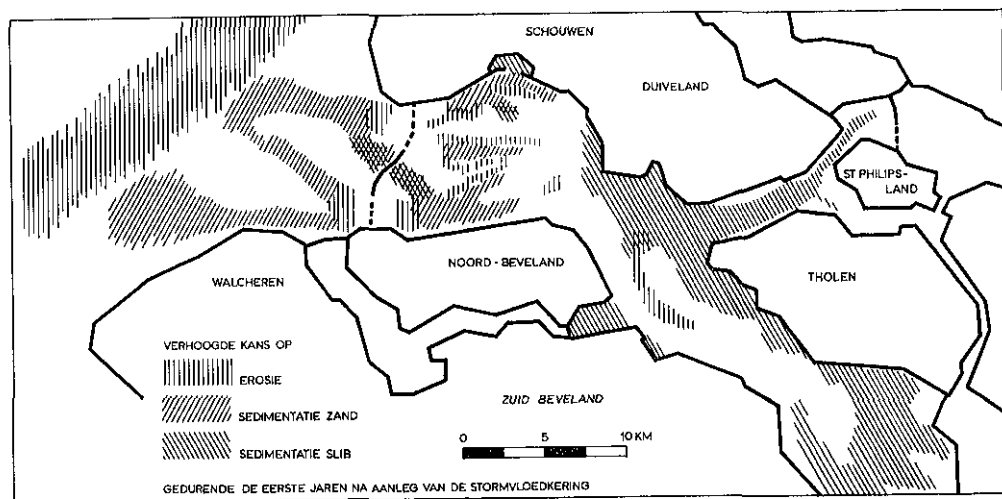


Fig. 12. Veranderingen in het getij op 5 plaatsen, ten gevolge van stormvloedkering en compartimentering C 3 (Implic-berekening)

dingen en aanslibbingen voordoen, in de orde van enkele decimeters.

In het voorgaande zijn de waterloopkundige en hydrografische effecten van de stormvloedkering op het Oosterscheldebekken in het kort beschreven. Daarbij is nadrukkelijk het gebied buiten beschouwing gelaten dat onder de onmiddellijke invloed van de stormvloedkering zelf staat. Daar zijn diepe ontgrondingskuilen te verwachten en een geconcentreerde stroming, die zich mogelijk tot ver in de Oosterschelde zal kunnen doen gevoelen. Hoeveer deze invloed zal reiken hangt in sterke mate af van de detaillering van de constructie. De verdere uitwerking van de constructie dient dan ook zodanig te zijn dat noch de stabiliteit van de oevers, noch de morfologische ontwikkeling in de omgeving van de stormvloedkering in nadelige zin wordt beïnvloed. Met name dient ervoor gezorgd te worden dat zich geen stroomconcentraties op de oevers richten.

Fig. 13. Plaatsen met kans op verhoogde sedimentatie en erosie gedurende de eerste jaren na aanleg van de stormvloedkering



De ecologische gevolgen van de stormvloedkering op het Oosterscheldebekken

De doelstelling die de regering nastreeft met betrekking tot het milieu in de Oosterschelde kan worden ontleend aan de brieven van de Minister van Verkeer en Waterstaat aan de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 9 november 1974 en aan een op dezelfde datum verzonden brief aan het College van Gedeputeerde Staten van de provincie Zeeland.

De Minister schrijft: 'Uit overwegingen van milieuzorg bestaat dan ook een sterke voorkeur voor het behoud van een zekere getijdewerking in het Oosterscheldebekken, opdat aldus de mogelijkheid bestaat een ecosysteem te handhaven, dat het huidige zoveel mogelijk benadert.' En: 'De oplossing met een z.g. stormstuwcaissondam (in deze Berichten aangeduid als stormvloedkering, red.) voorziet er in een groot deel van het Oosterschelde-areal op te nemen in een ecosysteem waarvan een aantal randvoorwaarden – getij, stroming, zoutgehalte en temperatuur – de huidige zoveel mogelijk benaderen'.

De nadruk ligt op het benaderen, want een volledig behoud zal niet mogelijk zijn. Door de aanleg van de stormvloedkering en door de compartimentering zullen de omstandigheden op het Oosterscheldebekken veranderen. De gevolgen van deze veranderingen voor het ecosysteem kunnen zowel van kwalitatieve als van kwantitatieve aard zijn: enerzijds kunnen de kwaliteit van het milieu en de soortenrijkdom worden beïnvloed, anderzijds kan het aantal organismen per soort een verandering ondergaan, of kunnen waardevolle gebieden in oppervlakte af- of toenemen.

Wanneer we nu de invloed nagaan die de

stormvloedkering zal hebben op het ecosysteem van de Oosterschelde, dan dienen we te bedenken dat de compartimeringsdammen de grootte van het bekken beperken, maar dat de getijbeweging in overwegende mate wordt beïnvloed door de stormvloedkering. Daarbij is, zoals we reeds eerder zagen, uitgegaan van een doorstroomprofiel dat te Yerseke een verticaal getij van 2,3 m veroorzaakt. Bovendien wordt uitgegaan van compartimenteringsmodel C3. Voor een vergelijking tussen het huidige milieu van de Oosterschelde en het milieu dat zal ontstaan wanneer de hiervoor beschreven toestand wordt gerealiseerd, staan vrij nauwkeurige gegevens ter beschikking omtrent de horizontale en verticale getijbeweging in het bekken. Moeilijker wordt het al om aan te geven waar zich sedimentatiegebieden en erosiegebieden bevinden en hoeveel materiaal zich daarbij precies zal gaan verplaatsen. Nog moeilijker wordt het wanneer we een relatie willen gaan leggen tussen de milieuwaarden en de verschillende hydraulische en morfologische grootheden die op grond van berekeningen zijn voorspeld. De huidige stand van zaken met betrekking tot het milieu-onderzoek laat nog niet toe een kwantitatieve relatie te leggen tussen de milieuwaarden en de omstandigheden. Een bijkomende voorwaarde zou dan tevens zijn, dat het bestaande ecosysteem geïnventariseerd zou zijn. Ook dat is niet het geval. We zullen ons in verband met het voorgaande daarom beperken tot een aantal duidelijk herkenbare en gedeeltelijk ook kwantificeerbare facetten van het ecosysteem. Te denken valt aan gebieden waarop in het verleden bestortingen zijn aangebracht en waarop zich

een interessante onderwaterflora en -fauna heeft ontwikkeld, of aan de schorren en de oeverzones in het algemeen. In dit verband is uiteraard ook van belang het gebied waar zich oesterpercelen en mosselpercelen bevinden. De gebieden die fig. 1 aangeeft, zijn niet alle geheel in gebruik. In totaal is ongeveer 15 km² als mosselproductieperceel in gebruik en 10 km² voor de oestercultuur. De meest productieve percelen liggen ten westen van de Zeelandbrug. Ten westen van de lijn Yerseke-Gorishoek vinden we bovendien kokkelvisserij. Ten oosten van deze lijn vindt geen mosselproductie plaats; daar vindt men de gehele oesterteelt. In het voorgaande zagen we dat de reductie van het verticale getij gepaard gaat met een belangrijke vermindering van de stroomsnelheden op de Oosterschelde. Welke gevolgen

heeft dat nu voor het milieu? Eerstbetrokkenen zijn wel de snelheidsgebonden organismen, dat zijn die organismen die door de stromingen in zwevende toestand worden gehouden, zoals plankton. Daarnaast is verandering in de stroomsnelheid ook een grote ingreep in het leven van die bodemdieren die voor hun voedselaanvoer en voor de afvoer van hun uitscheidingsproducten stromend water nodig hebben. Het is nog niet geheel duidelijk welke effecten de bezinking van plankton heeft op het ecosysteem. Ook zou in dit verband de vraag gesteld moeten worden of de stroomsnelheden in het bekken wel overal voldoende groot blijven om de noodzakelijke afvoer van uitscheidingsproducten van de schelpdieren te garanderen. Overigens zal vermindering van de snelheidsgebonden planktonsoorten

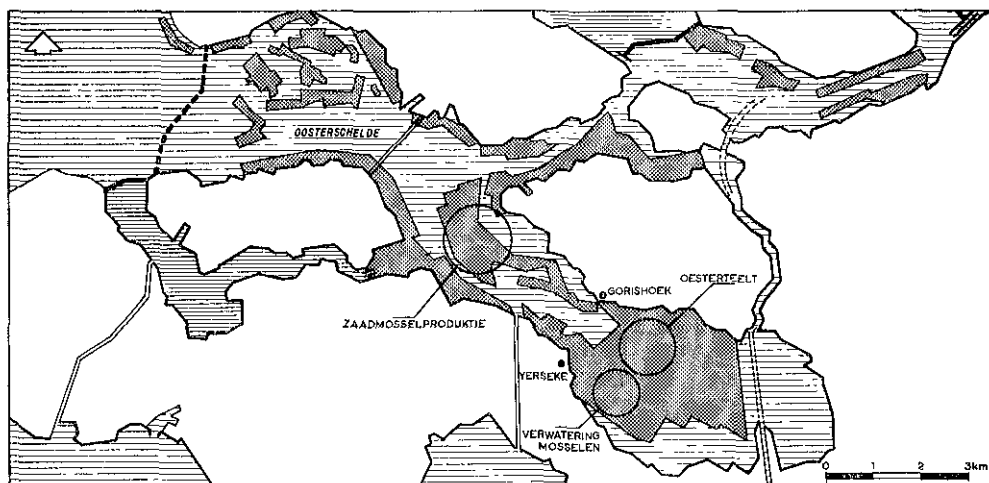
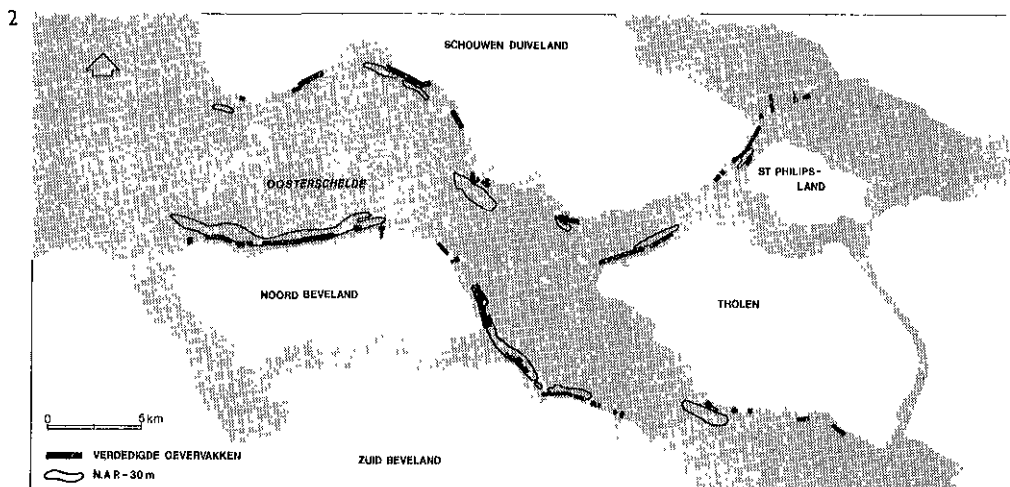


Fig. 1. Oester- en mossel- gebieden in de Oosterschelde

ook een verandering in de planktonsamenstelling betekenen. Dit kan zijn weerslag hebben op de oestercultuur, omdat oesters uitsluitend plankton als voedsel gebruiken. Behalve plankton zullen door de reductie van het getij ook zand en slib vanuit zee in het bekken kunnen bezinken. Bij een niet al te grote sedimentatiesnelheid lijken hieraan voor het milieu weinig bezwaren verbonden. Integendeel, met het slib zullen ook de daaraan gehechte organische stoffen – de zogenaamde detritus – naar de bodem gevoerd worden. Vooral de bodemdieren zullen daarvan profiteren. Hoe groot het effect van de detritus-bezinking zal zijn, is nu nog niet te zeggen. Bezinkend slib moet dan echter wel aan een aantal voorwaarden voldoen. Het is gebleken dat het Noordzeeslib, dat thans naar de Oosterschelde wordt gevoerd, weinig ver-

ontreinigingen bevat. Dit in tegenstelling tot het Rijnslib. De toevoer van deze laatste slibsoort zou dan ook zo klein mogelijk moeten blijven. Bij de geringe sedimentatie in de orde van enige centimeters per jaar, die in grote gebieden van de Oosterschelde is te verwachten, kan de bodemflora kwantitatief en kwalitatief, dus in soorten-aantal, toenemen. In die gebieden waar een decimeter of meer fijn slib per jaar op de bodem bezinkt, zullen de bodemflora en -fauna daarentegen onder een laag modder verdwijnen. Het is echter mogelijk dat de schelpdierenteelt al eerder nadelige gevolgen gaat ondervinden, indien slib tot afzetting komt op plaatsen waarvan het nu juist met de stroom wordt verwijderd. De reductie van de stroomsnelheden beïnvloedt ook de wateruitwisseling tussen de Noordzee en het Oosterscheldebekken. Dit

standigheden zouden gedurende korte tijd lagere waarden mogen voorkomen. Met de huidige kennis van zaken is het echter nog niet mogelijk om voldoende betrouwbare voorspellingen te doen omtrent de chloridegehalten van de Oosterschelde bij een gegeven zoetwaterbelasting. Vermindering van de stroomsnelheden en van de menging tussen Noordzee- en Oosterscheldewater is ook van invloed op de watertemperatuur. De temperatuurvariatie in het bekken wordt groter. Zomers zal het water naar verwachting warmer en 's winters kouder zijn dan bij de huidige toestand. Het is nog niet bekend hoe groot de temperatuurverschillen met de huidige toestand zullen zijn. In figuur 2 zijn de gebieden met vroegere bestortingen aangegeven. Vergelijken we deze figuur met die op blz. 323, waarop de



is van belang, omdat met het Noordzeewater ook larven, kiemen en andere organismen naar de Oosterschelde worden gevoerd en vice versa. Het is thans nog onbekend bij welke reductie van de wateruitwisseling kwalitatieve of belangrijke kwantitatieve effecten op de milieuwaarden van de Oosterschelde zullen worden uitgeoefend.

Met de afname van de wateruitwisseling zal het zoete water dat op het bekken wordt geloosd, zich minder intensief met zeewater mengen. Dit is van invloed op de zoutgehaltes die in het Oosterscheldegebied zullen voorkomen. Om de huidige soorten-samenstelling van het Oosterscheldegebied zoveel mogelijk in stand te houden, zou een zoutgehalte van tenminste 15,5 gr chloride per liter in de Oosterschelde noodzakelijk zijn, en 13,5 gr chloride per liter in de Krabbenkreek. Alleen in extreme om-

gebieden met te verwachten sedimentatie zijn ingetekend, dan lijkt het niet onmogelijk dat bepaalde oevers waar nu steenbestortingen aan de oppervlakte liggen, in de loop van de tijd door een in dikte toenemende laag sediment zullen worden bedekt. Op die plaatsen zullen de voor deze steenachtige oevers kenmerkende flora en fauna geleidelijk door andere types worden vervangen. Het is aan de hand van de thans beschikbare gegevens, die nog een enigszins voorlopig karakter dragen, moeilijk om hieromtrent duidelijke uitspraken te doen. In het algemeen zal er naar gestreefd worden de oevers beter dan thans te vrijwaren van sterke stroomerosie. Het is natuurlijk mogelijk dat de vermindering dan zo sterk zal zijn dat de erosie omslaat in sedimentatie.

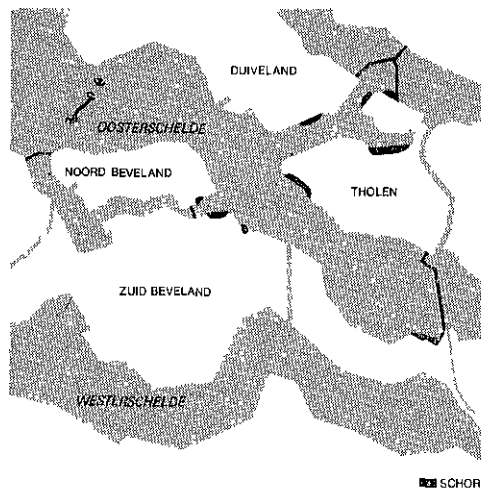


Fig. 2 Steenachtige oevers in het Oosterscheldebekken

Fig. 3. Situatie van de schorgebieden

Foto. eroderend schor

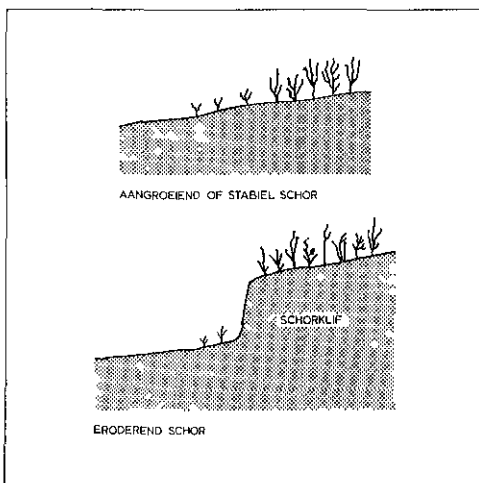


Fig. 4. Schor en schorklif

Reductie van het verticale getij

Door de reductie van de getijbeweging op het Oosterscheldebekken zal het hoogwater lager worden en het laagwater hoger. Als gevolg daarvan zal het zogenaamde intergetijdegebied, dat is de zone tussen hoogwater en laagwater, in omvang afnemen. Landwaarts van het nieuwe intergetijdegebied zal de oever, die nu nog regelmatig door zout water overspoeld wordt, nog slechts af en toe bij extreme hoogwaterstanden onder water komen. Aan de andere kant van het nieuwe intergetijdegebied ligt een zone die nu bij laag water regelmatig boven water komt maar die in de toekomst altijd onder water zal blijven. Het is duidelijk dat deze verandering van het a-biotische milieu gevolgen zal hebben voor het ecosysteem.

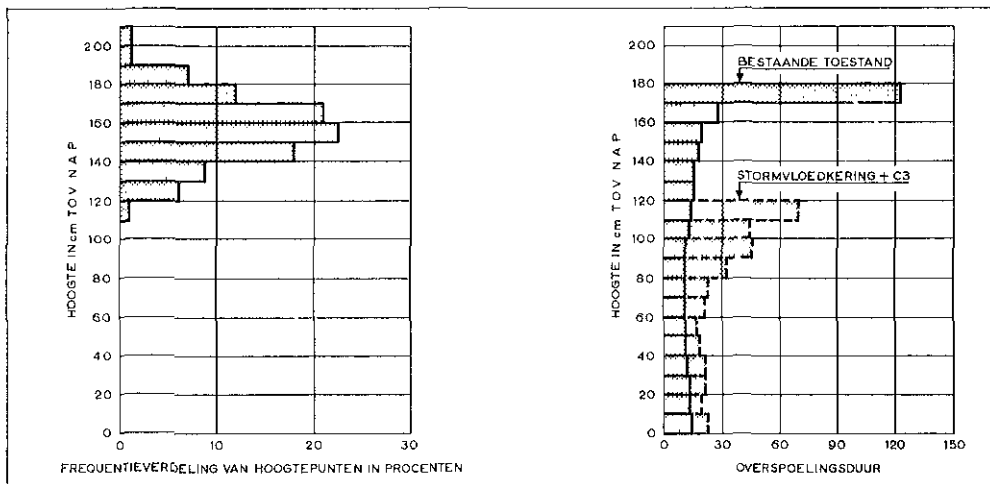
We denken in dit verband allereerst aan de schorren. Schorren zijn de hooggelegen begroeide randgebieden van een getijzone, die slechts af en toe geheel of gedeeltelijk met zout water overspoeld worden. Op de schorren kan men krekens of prielen onderscheiden, waarlangs ruggen of oeverwallen liggen. Tussen de oeverwallen liggen lager gelegen kommen. Bij het huidige gemiddelde getijverschil van 3,5 m bij Yerseke is het schorrenareaal ongeveer 420 ha groot. Hier van ligt 250 ha in het Keeten en de Krabbenkreek, ongeveer 50 ha in het middendeel van de Oosterschelde en ongeveer 120 ha in de kom van de Oosterschelde. (Zie figuur 3). Het grootste areaal bevindt zich dus in het Keeten en de Krabbenkreek. Reductie van het getij houdt in dat de overspoelingsfrequentie op verschillende niveaus

van het schor gaat afnemen. Daardoor kunnen zich mogelijk verschuivingen voordoen in de zoutminnende vegetatiegordels, die immers aan een bepaalde frequentie van overspoeling met zout water gebonden zijn. De vegetatie met de hoogste zouttoleranties, die dus frequent overspoeld wordt, zal worden vervangen door vegetaties met een lagere zouttolerantie en een geringere overspoelingsfrequentie. Het is dan ook de vraag of er wel vegetatiegordels met de hoogste zouttolerantie zullen overblijven. Op de hoogste gedeelten van de schorren zal op den duur zelfs ontzilting van de bodem kunnen optreden, zeker als deze gebieden buiten de invloed van zout stuifwater liggen. Het behoud van de tegenwoordige schorrenvegetatie is vermoedelijk slechts mogelijk als de lagere delen van het schor, de kommen,

ten hoogwaterstanden bij springtij, gemiddeld tij en doodtij.

De conclusie dringt zich op dat de schorgebieden zeer waarschijnlijk zullen verzoeten en dat de vegetatie er van karakter zal veranderen. Deze veranderingen behoeven op zichzelf niet negatief te worden beoordeeld. Nu zou men zich kunnen afvragen of de vegetatiegordels met de hoogste zouttolerantie, die op het huidige schorrenareaal moeten verdwijnen door de reductie van het getij, zich niet opnieuw zouden kunnen ontwikkelen op nieuw te vormen schorren vóór de tegenwoordige. Over de mogelijke uitbreiding van schorren in de nieuwe situatie moet men echter niet te optimistisch zijn. Uitbreiding van een schor kan slechts optreden als de sedimentatie in het gebied vóór het tegenwoordige schor groter is dan

5



frequent en voldoende lang worden overspoeld. Hoe groot de frequentie en de overspoelingsduur moeten zijn is thans nog niet geheel duidelijk aan te geven, maar om de gedachten te bepalen, het schor zal toch wel enkele malen per week minimaal gedurende een uur overspoeld moeten worden. Met de overspoeling hangt een bepaalde graad van rijping van de bodem in de laagste delen samen en een zekere mate van aanvoer van fijn sediment naar de kommen van het schor. Het middengedeelte van het schor kan met een lagere frequentie overspoeld worden, bijvoorbeeld eens of tweemaal per maand. Voor de hoogste delen is een overspoeling van eens per jaar met zout water wel voldoende. Figuur 5 geeft aan hoe de hoogteligging van een aantal schorgebieden in de Krabbenkreek zich verhoudt tot de in de toekomst te verwach-

de erosie. Bij reductie van het getij zal zich dat niet zo gemakkelijk voordoen, omdat de golfaanval en het transport in de zone voor het huidige schor waarschijnlijk zullen toenemen.

Het karakter van een aangroeiend of stabiel schor verschilt aanzienlijk van dat van een eroderend schor. Bij een aangroeiend of stabiel schor is er meestal een geleidelijke overgang van de doorgaans zandige voor-oever via het slik, met zijn pioniervegetatie van zeekralen en dergelijke, naar het hogere schor. Een eroderend schor heeft aan de zeezijde veelal een schorkliff: de overgang van het schor naar het slik is zeer abrupt en vormt een steile rand. De grens van het schor is zeer duidelijk aan te geven, terwijl dat bij een aangroeiend schor veelal moeilijk is. Het niveau van de onderkant van schorgebie-

den kan dan ook slechts zeer globaal worden aangegeven. Bij de belangrijkste en grootste schorgebieden ligt de onderkant tussen N.A.P. + 1 m en 1,30 m.

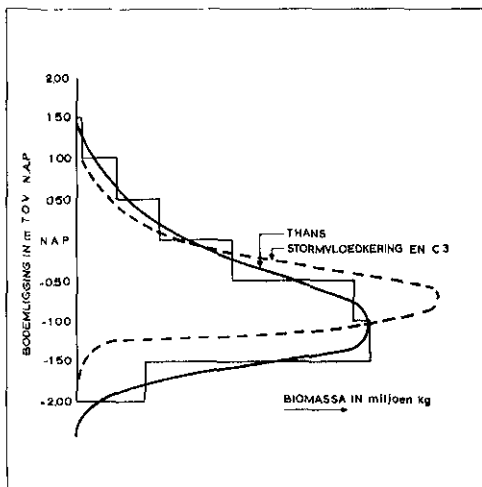
Figuur 5 geeft voor het schor in de Krabbenkreek nog eens aan gedurende welke tijd het water een bepaald peil bereikt, en hoe het is gesteld met de hoogteligging van het schor aldaar. De verdeling van de waterstanden na de compartimentering en het bouwen van de stormvloedkering zal voor deze schorren een belangrijke verandering in de situatie meebrengen. Aangezien de onderkant van het schorklif meestal zandiger is dan de hoger gelegen delen, is het mogelijk dat het klif in vele gevallen door golfwerking wordt ondergraven en afkalft. Bij reductie van het getij is het daarom weinig waarschijnlijk dat uitbreiding van het schor te verwachten is op

Fig. 5. Enige statistische gegevens omtrent de schorren, betreffende hun hoogte en de overspoelingsduur nu en na aanleg van de stormvloedkering

Fig. 6. Verdeling van de biomassa over de hoogte, nu en bij gedempt getij

plaatsen waar zich thans een schorklif bevindt. Op die plaatsen waar men momenteel een aangroeiend schor vindt, is de kans op nieuwvorming uiteraard groter. Ook dan bestaat echter nog kans op oevererosie. Wat het intergetijdegebied en de vooroever betreft, dit is een uitermate belangrijke zone in het ecosysteem van het getijdegebied. De hier aanwezige biomassa in de vorm van bodemdieren en onderwater-flora bepaalt het voedselaanbod voor vogels en vissen. Bij reductie van het verticale getij tot 2,3 m bij Yerseke neemt het oppervlak van het intergetijdegebied af met ongeveer 30%. De jaarlijkse produktie van biomassa zou globaal geschat dan, met hetzelfde percentage moeten afnemen. Dit is echter niet het geval. Met het al dan niet tijdelijk bezinkende slib wordt ook veel organische stof – detritus – naar de

bodem gevoerd. Dit betekent extra voedsel voor de bodemdieren, waardoor die in kwantiteit kunnen toenemen. Op grond van een globaal ecologisch model lijkt het zelfs mogelijk dat er als gevolg van de detritusaanvoer geen belangrijke veranderingen in de biomassa van het intergetijdegebied zullen optreden ten opzichte van de huidige toestand. Ter toelichting diene het volgende. De meeste organismen in het getijdegebied planten zich in het voorjaar en de zomer voort. Bodemdieren verplaatsen zich in hun jongste levensstadia zwevend door het water. De zwevende larven vestigen zich op een bepaald moment op een vaste plaats en blijven hun verdere leven aan die omgeving gebonden. De meeste bodemdiersoorten blijven minstens enkele jaren leven, en de populatie wordt dus in de loop van enkele jaren vernieuwd. De jonge



larven dragen betrekkelijk weinig bij tot de totale produktie. Een deel van de zomerproduktie van bodemdieren wordt veroorzaakt door de groei van de grotere maar nog niet geheel volgroeide bodemdieren en het resterende deel door de vestiging en de groei van larven en jonge organismen. Tussen de herfst en het voorjaar neemt de biomassa af, grotendeels ten gevolge van de vermindering van het individuele gewicht, doordat de in de zomer aangelegde reserves worden aangesproken.

Het intergetijdegebied levert voedsel voor zeer veel organismen. Vogels consumeren vooral in de herfst en winter en in het vroege voorjaar veel bodemdieren. Platvissen, krabben, zeesterren en grondels eten vooral in de zomer veel bodemdieren. Aalkruiken en wadslakjes leven van bodemalgen. Rotganzen en

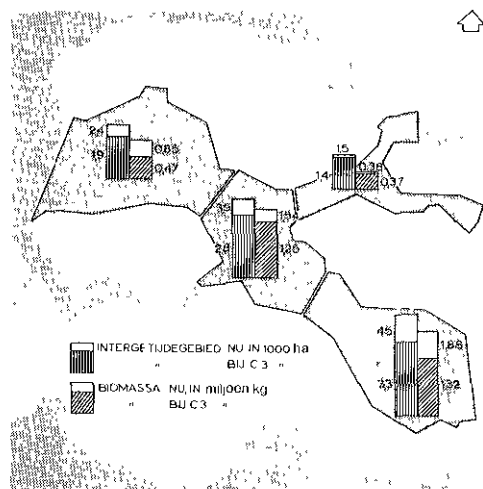


Fig 7 Omvang van het intergetijdegebied en van de biomassa in een viertal gebieden, nu en bij gedempt getij

smienten leven van zeegras en zeevieren. Kortom, het intergetijdegebied is een zeer belangrijk onderdeel van het getijde-ecosysteem.

Nu wordt in het hoogste deel van het intergetijdegebied veel biomassa door vogels gegeten, en nabij de laagwaterzone vindt men vooral vraat door vissen. Ter hoogte van de middenstand van het getij zijn de mogelijkheden zowel voor vogels als vissen beperkter, omdat beide soorten organismen deze zone slechts korte tijd kunnen benutten. Dit zou een verklaring kunnen vormen voor figuur 6, waarin de verdeling van de biomassa over de hoogte in het intergetijdegebied is aangegeven bij het huidige gemiddelde getijverschil.

In figuur 7 wordt nog eens geïllustreerd hoe het intergetijdegebied, dat in de huidige toestand ongeveer 18 000 ha beslaat met een totale biomassa van ongeveer 7 miljoen kg, verdeeld is over een aantal gebieden van de Oosterschelde. In die figuur is ook de huidige produktie van biomassa aangegeven in vergelijking met de toestand met stormvloedkering en compartimentering C3. Het effect van de detritusaanvoer is echter in deze figuur nog niet verdisconteerd. Wel blijkt uit deze figuur de naar verhouding grote betekenis van de kom van de Oosterschelde.

Met nadruk moet erop gewezen worden dat in het voorgaande uitsluitend over de hoeveelheid biomassa is gesproken. Het is nog onduidelijk of verandering in de hoeveelheid biomassa belangrijke gevolgen heeft voor de soortenrijkdom van het ecosysteem. Ook in het algemeen geldt, dat het wel duidelijk is dat onder invloed van de reductie van het getij veranderingen in het milieu zullen optreden,

maar dat er onzekerheid bestaat over de grootte van de veranderingen.

Ten slotte moet erop worden gewezen dat de grootte van de veranderingen op zich geen uitsluitel kan geven over de waarde die toegekend moet worden aan het toekomstige milieu van de Oosterschelde.

Ook moeten we hier nog enkele opmerkingen maken over het zoutgehalte in het Oosterscheldegebied. In het advies van de Rijksplanologische Commissie, uitgebracht ten behoeve van de regeringsbeslissing van 9 november 1974, waarover in Bericht 71 (februari 1975) mededelingen zijn gedaan, wordt gesteld dat ten behoeve van de visserij een gemiddeld zoutgehalte van 13,8 gr chloride per liter noodzakelijk is met een minimum van 12,4 gr. Voor de schelpdierencultuur zou het zoutgehalte hoger moeten zijn dan 12,7 gr chloride per liter en bovendien is het dan wenselijk dat het zoutgehalte gedurende een lange periode stabiel blijft.

De kromme van Remane (zie het vorige Bericht, blz. 242) zegt dat het zoutgehalte in de Oosterschelde bij voorkeur tenminste 15,5 gr chloride per liter zou moeten zijn om de huidige soortensamenstelling zoveel mogelijk in stand te houden. Bij voorkeur zouden slechts in extreme gevallen lagere zoutgehalten mogen voorkomen. Voor het gebied van de Krabbenkreek zou een wat lager gehalte kunnen worden toegestaan, bijvoorbeeld 13 gr chloride per liter, omdat verwacht wordt dat het water dat periodiek de schorren overspoelt dan nog voldoende zout is om het zoutminnende karakter van het schor te bewaren. Bij bepaalde combinaties van getijomstandigheden en hoge zoetwaterafvoer van de rivieren kwamen overigens

ook vroeger, voor de aanvang van de Delta-werken, in deze gebieden belangrijk lagere zoutgehalten voor.

Bij het verdere onderzoek naar de invloed van zoetwaterlozingen op een zout getijdebekken zijn voorshands nog weinig resultaten geboekt. Wel is gebleken dat de tot nu toe gehanteerde globale berekeningsmethoden waarschijnlijk weinig nauwkeurig zijn, zodat aan de tot dusver verkregen resultaten slechts indicatieve waarde mag worden toegekend.

Stagnantie

Tijdens een periode van zware storm zal de stormvloedkering gesloten zijn. In het bekken treedt dan een toestand in van stagnantie, dus stilstand van het wateroppervlak en wegvallen van de getijbeweging. Hoewel dergelijke perioden naar verwachting in het algemeen slechts enige getijden achtereen zullen duren, moet toch rekening worden gehouden met allerlei effecten die zich bij zo'n toestand voordoen. We moeten dan denken aan de mogelijke overspoeling van de schorren en de randzones, de sedimentatie- en erosieprocessen, maar ook aan de beschikbaarheid van een voedselrijke zone voor vogels en vissen. *Langdurige overspoeling kan een negatief effect hebben op de flora en de fauna van de hoger gelegen gebieden en het voedselareaal voor vogels beperken.* Eventueel beïnvloedt dat de omvang van de populatie die in het gebied kan verkeren. Door het wegvallen van de getijstromen treedt sedimentatie op in de diepere delen van het bekken. In het groeiseizoen, tussen maart en oktober, kan dit een negatief effect hebben op de bodemdieren en daarmee op het voedselaanbod voor de vissen. Nu zal de stormvloedkering slechts zelden in deze periode behoeven te worden gesloten, omdat de meeste stormen voorkomen buiten het groeiseizoen. Tijdens een stagnante periode als gevolg van een zomerstorm zou een al te grote sedimentatie van organisch materiaal met de daarmee samengaande mineralisatie direct boven de bodem incidenteel kunnen leiden tot zuurstofloosheid. Vooral in warme perioden kan dit een probleem vormen, want de mineralisatiesnelheid is afhankelijk van de watertemperatuur. De kans op zo'n ongunstige ontwikkeling is in het groeiseizoen het grootst, omdat er dan in het water een grote hoeveelheid organisch materiaal aanwezig is. De ondiepe delen van het bekken zullen naar verwachting minder last hebben van de stagnantie, omdat de golfbeweging die tijdens een storm optreedt, wel voor menging zorgt. Overigens veroorzaken deze golven mogelijk tevens erosie van de schorranden.

Uit figuur 6 blijkt verder dat de biomassa in de hogere niveaus van het intergetijdegebied betrekkelijk klein is. Bij stagnantie is de totale wadvogelpopulatie voor voedsel aangewezen op de biomassa in de hogere niveaus. De biomassa-consumptie is daar dan dus hoog. Nu wordt de biomassa van bodemdieren alleen gedurende het voorjaar en de zomer aangevuld. Als er een aantal malen gedurende de eenzelfde winter stagnantie optreedt, kan de biomassa aan bodemdieren in de hogere niveaus uitgeput raken. Als voedselgebrek van vogels tijdens de stagnantie zoveel mogelijk vermeden moet worden vanwege het karakter van natuurgebied dat aan het gedempte getijdebekken wordt toegekend, dan kan men overwegen om bij elke volgende stagnantieperiode een lager peil in te stellen. Echter de bodemdieren die beneden N.A.P. leven en die langer dan één getijperiode droog komen te liggen, kunnen daar schade van ondervinden en zelfs afsterven. Boven N.A.P. neemt de gevoeligheid van de daar levende soorten bodemdieren voor uitdroging af met de hoogte. Dit houdt dus in dat het effect van uitdroging rond N.A.P. zeer spoedig blijkt, terwijl het in de hogere niveaus pas na een aantal getijden merkbaar wordt. Getracht is om uitgaande van de hiervoor gegeven beschouwingen over stagnantie, en bovendien rekening houdend met de verschijnselen van windopzet en golfoploop die zich op het Oosterscheldebekken tijdens zware stormen zullen voordoen, te komen tot voorlopige richtlijnen voor de beheerder van de stormvloedkering. Het is thans nog niet mogelijk om vast te stellen of het voor de beheerder mogelijk zal zijn milieuschokken onder alle omstandigheden die zich in de toekomst kunnen voordoen, geheel te vermijden. Waarschijnlijk zal een zekere kans op overschrijding van de gestelde milieu-criteria moeten worden aanvaard, zoals dat ook bij de veiligheids-criteria het geval is.

De waterloopkundige, hydrografische en ecologische gevolgen van de stormvloedkering voor de buitendelta en het aangrenzende kustgebied

Zoals in het inleidende artikel van dit Bericht werd gesteld, wordt een kunstwerk in het algemeen ontworpen met een bepaald doel voor ogen. Bij de overwegingen die ten grondslag liggen aan de plannen voor een stormvloedkering in de Oosterschelde neemt het binnengebied, het Oosterscheldebekken, een overheersende plaats in. Het gaat om het milieu van het Oosterscheldebekken en de veiligheid van de eraan grenzende gebieden. Het buitengebied en de aangrenzende kust komen pas op de tweede plaats. Mogelijk is dat ook wel terecht, maar toch lijkt het zinvol om hier nog eens de waterloopkundige en hydrografische gevolgen van de stormvloedkering nader te beschouwen. Omdat daarbij vooral de sedimentatie- en erosieprocessen van belang zijn die zich afspelen in de voor-delta maar ook in het kustgebied, wordt eerst een algemene beschouwing gegeven over de erosie van zandige kusten, waarbij speciale aandacht zal worden besteed aan het effect van stormen.

Hoewel veruit het grootste deel van de Nederlandse waterkeringen uit dijken bestaat, vormen de duinkusten met de daarbij behorende zandige vooroevers en stranden toch een zeer belangrijk onderdeel van de waterkering langs de Noordzee. In totaal hebben wij ruim 250 km waterkering in de vorm van een zandige kust met duinen.

Waterbouwkundig gezien is het belangrijkste verschil tussen duinen en dijken wellicht dat duinen een flexibele verdediging vormen, terwijl dijken als starre constructies moeten worden beschouwd.

Het flexibele karakter van een duinwaterkering komt op verschillende wijzen tot uiting. Zo'n kust neemt een vorm aan die

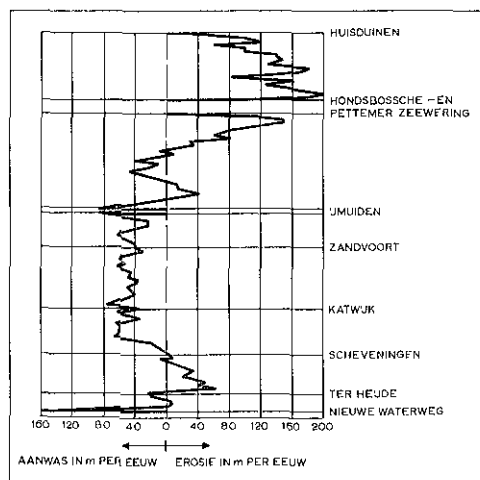
bepaald wordt door golfbeweging, stroming en wind. Dit is een dynamisch proces met als gevolg voortdurende profielveranderingen van het strand en de vooroever. Bij storm is duinafslag een normaal verschijnsel. Het duin zal zich echter in de loop van de tijd weer herstellen als gevolg van opwaaiing van zand door wind. Het bij storm van een duin afgeslagen zand komt namelijk gewoonlijk op de vooroever en op het strand terecht. Het is uiteraard wel nodig dat ook na een zeer zware storm, waarbij de duinafslag een grote omvang zou kunnen aannemen, nog een voldoende zwaar zeewerend duin over blijft om een waterkerende functie te kunnen vervullen.

Als de eroderende en sedimenterende krachten in verloop van tijd in evenwicht zijn, dan is de kust in evenwicht. Er zijn echter veel kustgedeelten die systematisch aangroeien door sedimentatie of aangetast worden door erosie. Van vrijwel alle kustgedeelten zijn sinds het eind van de vorige eeuw opmetingen bekend, zodat vrij nauwkeurig kan worden nagegaan welke kustgedeelten in evenwicht zijn of aangroeien en bij welke kustgebieden erosie optreedt. Voortgaande erosie zou het waterkerende vermogen van een duinkust op den duur sterk kunnen aantasten. Tot voor kort werd meestal getracht om plaatselijk optredende kusterosie tot staan te brengen door het vastleggen van de vooroever bijvoorbeeld met behulp van strandhoofden, al dan niet voorzien van paalrijen loodrecht op de kust. Het nuttige effect van dergelijke constructies wordt echter niet overal even sterk ondervonden. Tegenwoordig gaan de gedachten dan ook dikwijls uit naar andere, meer flexibele metho-

den van verdediging, zoals het kunstmatig aanvoeren van zand op het strand en op de vooroever – dat noemen we zandsuppletie – of het bevorderen van sedimentatie van zand met behulp van paalrijen. De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen heeft een voorlopige richtlijn opgesteld voor duinkusten in gebieden zonder zeegaten of andere verstoringen; de voorlopige richtlijn kan ook nog niet toegepast worden in gebieden waar een sterk gekromde kustlijn voorkomt. Zulke gebieden, die we aantreffen in de Wadden en ook in het Deltagebied, kunnen aan zwaardere duinafslag blootstaan, zodat vooral aan de koppen van de eilanden aan de duinen gewoonlijk wat zwaardere eisen worden gesteld. Figuur 1 geeft een voorbeeld van een kustprofiel; tevens zien we daar hoe de duinen zullen afslaan bij een storm en

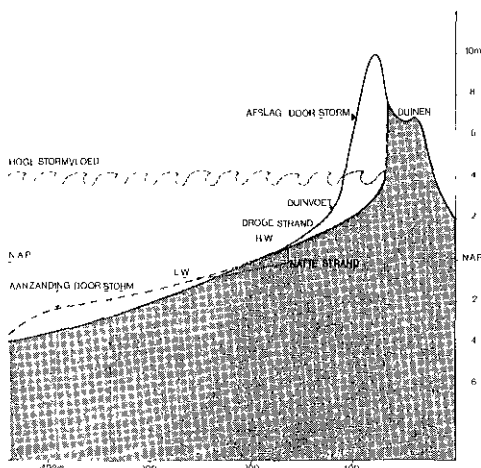
Fig. 1. Schematische voorstelling van duinafslag

Fig. 2. Kustontwikkeling tussen Den Helder en Hoek van Holland (naar Edelman)



waar het zand dat van de duinen afslaat tijdens de storm terecht komt. Onder invloed van de golven wordt dit zand later weer naar boven verplaatst en door de wind tegen het duin geblazen, zodat het duin zich na verloop van tijd geheel herstelt. Dit geldt uiteraard alleen voor kusten die in evenwicht zijn of vooruitgaan. We kunnen uit deze figuur afleiden dat de enigszins gehavende indruk welke onze duinen maken na een hoge stormvloed op zichzelf niet zo verontrustend is. De duinen aan de zeezijde vertonen na een storm een zeer steil profiel dat op zichzelf niet in evenwicht is. Gewoonlijk zakt hier na de storm nog wat zand naar beneden, of het duin wordt door de beheerder verder bijgewerkt.

Rekening houdend met het proces van duinafslag tijdens stormen en bovendien met de



voortdurende variaties in het profiel als gevolg van de wisselingen in golf- en waterstandscondities op zee, is het toch mogelijk om vast te stellen, welke kustgedeelten op langere termijn aanzanden, in evenwicht zijn of onderhevig zijn aan erosie. Vooral bij deze laatste kustgedeelten kunnen bijzondere voorzorgsmaatregelen noodzakelijk zijn. Het is mede hierom dat al sinds het eind van de vorige eeuw regelmatig kusthoogtemetingen en ladingen worden uitgevoerd langs de Nederlandse Noordzeekust.

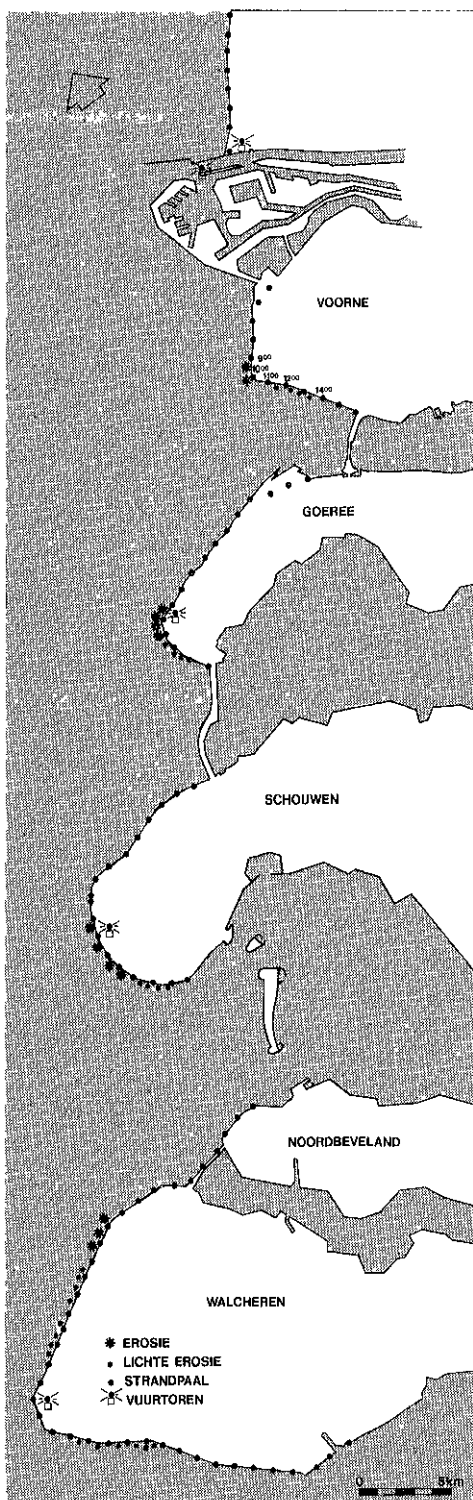
Een van de resultaten van de kustmetingen is weergegeven in figuur 2, ontleend aan een publikatie van Edelman. Voor het samenstellen van de figuur is gebruik gemaakt van metingen die betrekking hadden op de ligging van de duinvoet, dat is het punt waar het strand overgaat in het duin. Zeewaartse ver-

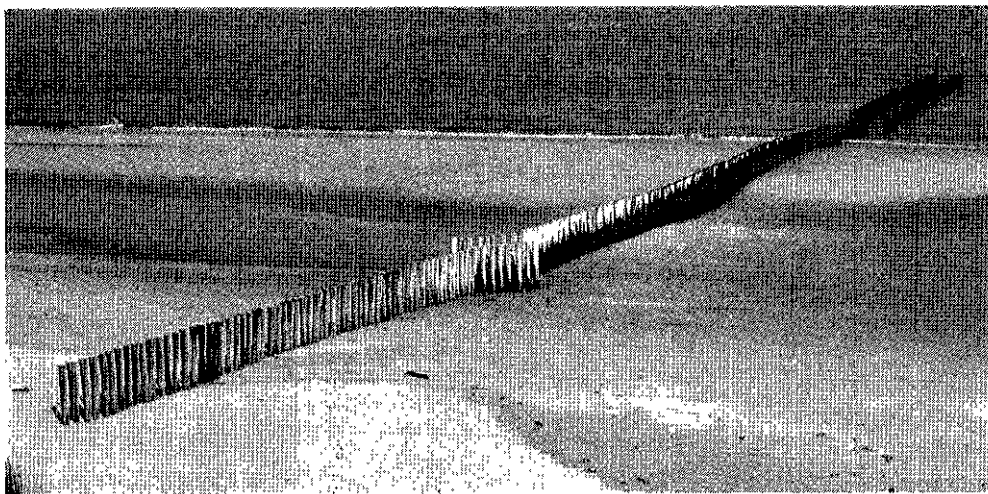


Fig. 3. Erosie-gevoelige gebieden aan de koppen van de eilanden

plaatsing van de duinvoet betekent aangroeiing van de duinen maar in het algemeen ook dat het strand zich zeewaarts verplaatst. Evenzo betekent landwaartse verplaatsing van de duinvoet achteruitgang van de duinen en ook van het ervoor liggende strand. Figuur 2, die betrekking heeft op het kustgebied tussen Den Helder en Hoek van Holland, laat zien dat vooral het noordelijk gebied van deze kust aan enige achteruitgang onderhevig is, evenals een gedeelte van de kust van Delfland. Globaal beschouwd gaat de kust tussen Scheveningen en Egmond aan Zee echter in geringe mate vooruit.

Nu zijn de hiergenoemde kustverplaatsingen, die voor het grootste deel liggen in de orde van een halve meter per jaar en alleen in Noord-Holland oplopen tot 1 à 2 meter per jaar, klein vergeleken met de kustverplaatsingen in het Deltagebied. Hoewel grote delen van de kust in het Deltagebied in evenwicht zijn of aangroeien, vertonen de meest zee- waarts gelegen koppen van de eilanden al sinds tientallen jaren een geleidelijke achteruitgang. De snelheid van de achteruitgang is aan de Groene Punt van Voorne het grootst, namelijk 10 tot 15 m per jaar; aan weerszijden van de Groene Punt neemt ze weer spoedig af tot veel lagere waarden. Tussen de strandpalen 9 en 11 (zie figuur 3) gaat de kust ongeveer 10 meter per jaar achteruit; deze achteruitgang neemt snel af in de richting van de Haringvlietsluizen. Bij strandpaal 12 moet nog op ongeveer 2 meter achteruitgang per jaar worden gerekend, verder afnemend tot ongeveer een halve meter per jaar bij strandpaal 14. Over de maatregelen die hier moesten worden getroffen in verband met de kustachteruitgang, zijn reeds mededelingen





gedaan in Bericht 71 (februari 1975).

Op het eiland Goeree ligt een erosiegebied in de omgeving van de vuurtoren aan de Kop van Goeree. De snelheid van achteruitgang van de kust bedraagt hier sinds het eind van de vorige eeuw gemiddeld ongeveer 7 meter per jaar. Enkele jaren voor de afsluiting van het Haringvliet werd een grotere achteruitgang geconstateerd, gemiddeld ongeveer 20 meter per jaar. De oorzaak daarvan is nog niet geheel duidelijk. De totale hoeveelheid zand die als gevolg van deze kusterosie verplaatst wordt, moet geraamd worden op 200 000 à 400 000 m³ per jaar. Het grootste deel van de kust van Goeree, vanaf de Haringvlietstuinen tot aan de vuurtoren en het gebied van de Springertuinen nabij de Brouwersdam, is echter in evenwicht of vertoont een geringe aangroei.

In bericht 65 (augustus 1973) zijn meer gedetailleerde mededelingen gedaan over de bewegingen van de kust van Goeree sinds het eind van de 17e eeuw, en over de recente zandsuppleties die daar zijn uitgevoerd om de veiligheid van de kust te verzekeren.

In Bericht 67 (februari 1974) volgden nadere mededelingen over de versterking van de zeereep ter plaatse, die gecombineerd werd met een nieuwe zandsuppletie. In dat Bericht werd vermeld dat van deze zandsuppletie, die uitgevoerd werd in de periode van oktober 1973 tot april 1974, verwacht werd dat ze voldoende zou zijn om de kusterosie tot minstens medio 1975 op te vangen. Het is gebleken dat aan deze verwachtingen inderdaad is voldaan; thans wordt nagegaan wanneer een nieuwe suppletie noodzakelijk zal zijn. Verschillende plannen, voor wat betreft de omvang van de suppletie, worden

onderling vergeleken.

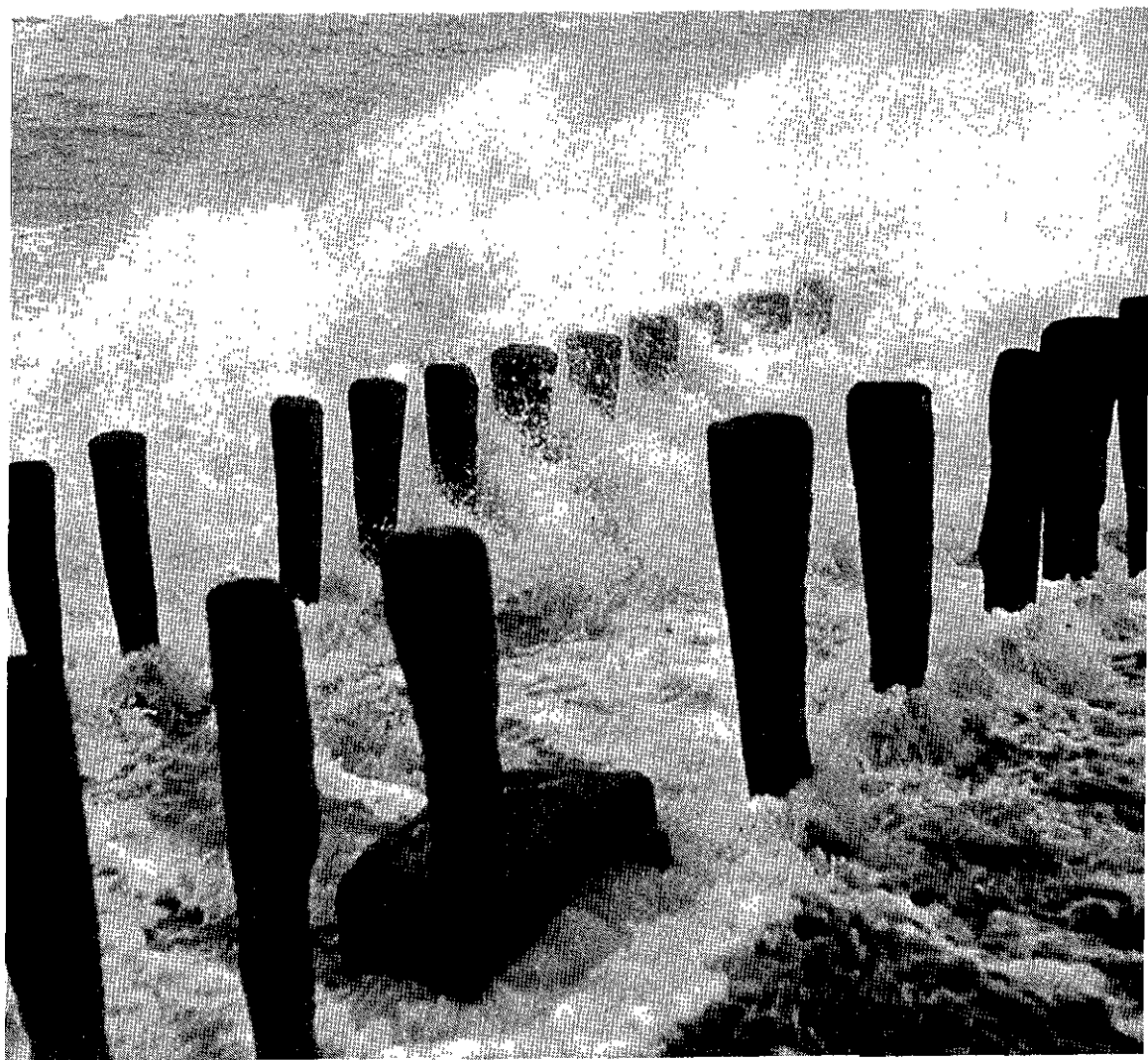
Van het eiland Schouwen is de noordkust evenals op Goeree ongeveer in evenwicht, hier en daar vertoont hij enige aanzanding. Aan de westkant van het eiland bevindt zich echter een erosiegebied. De maximale achteruitgang bedraagt daar ongeveer 5 meter per jaar. In de richting van de noordelijke damaanzet voor de Oosterscheldewerken neemt hij geleidelijk af. Omdat de erosie op Schouwen plaatsgrijpt in een zeer breed duingebied is het tot nu toe niet noodzakelijk geweest om speciale voorzieningen te treffen ten behoeve van de hoogwaterkering. Wel zijn de laatste jaren op het strand paalschermen aangebracht om de zandbewegingen enigszins te beperken.

Het eiland Walcheren neemt in de erosieproblematiek een speciale plaats in. De kust-achteruitgang is hier betrekkelijk gering: één tot hooguit enkele meters per jaar.

Omdat de duingebieden op dit eiland echter veel minder omvangrijk zijn dan bijvoorbeeld op Schouwen en Goeree, was het al geruime tijd geleden noodzakelijk om verdedigingsmaatregelen te treffen. De Westkappelse zeewering kan in dit verband beschouwd worden als een klassiek waterbouwkundig bolwerk tegen de zee, waarbij met steenachtige materialen een verdediging tot op enige diepte onder water is aangebracht, met boven water een bescherming waarbij asfalt is toegepast.

Uit dit globale overzicht van de kusterosie in het Deltagebied kunnen we afleiden dat de kustprocessen zich over een zo lange reeks van jaren afspelen en zo geleidelijk verlopen, dat er in het algemeen ruimschoots tijd is om voorzieningen te treffen wanneer dat nodig

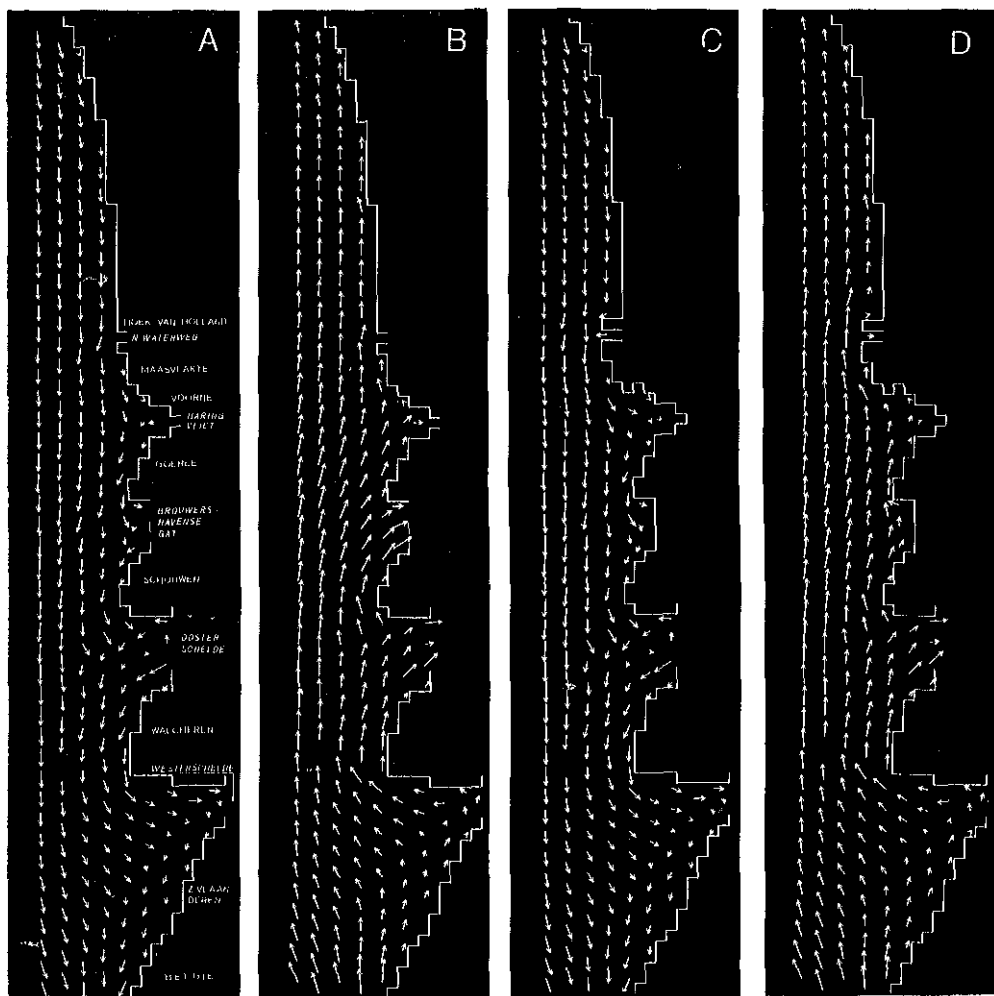
zou zijn. De totale omvang van de zandverplaatsingen blijft daarbij betrekkelijk gering. Wanneer we alle kustgebieden in het Delta-gebied die aan erosie onderhevig zijn door suppletie zouden willen stabiliseren, dan zou met de compensatie van het kustverlies vóór de aanvang van de Deltawerken naar schatting een hoeveelheid zand van 1 à 2 miljoen m^3 per jaar, zeg rondweg 1,5 miljoen m^3 per jaar gemoeld zijn. Met een ongeveer even grote hoeveelheid zand zou de kusterosie van het kustvak van Hoek van Holland naar Den Helder tot staan kunnen worden gebracht. Eenzelfde, het moet nog eens benadrukt worden uiterst globale, schatting voor de Waddeneilanden komt neer op een totaal bedrag van ongeveer 2 à 3 miljoen m^3 per jaar. Nu is het uiteraard niet nodig om alle gebieden waar erosie optreedt volledig te stabili-



seren. Voor een deel betreft het immers brede duingebieden waar enige erosie weinig kwaad kan, terwijl we bovendien moeten bedenken dat de erosie van het ene kustgedeelte aanzanding op een aangrenzend kustgebied kan veroorzaken. De hier gegeven globale schatting kan echter wel dienen om als het ware een bovengrens aan te geven van het probleem van de Nederlandse kusterosie.

Wanneer we na willen gaan welke invloed de aanleg van een stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde heeft op de buitendelta en op het aangrenzende kustgebied, dan kunnen we daarbij gebruik maken van de ervaringen die inmiddels zijn opgedaan met de reeds uitgevoerde afsluitingen. De ingreep die plaats zal vinden wanneer in de Oosterschelde een stormvloedkering wordt gebouwd is weliswaar een andere dan wanneer er een

Fig. 4. Maximale eb- en vloedstroom in het kustgebied voor de monden der estuaria
A-B eb en vloed open
C-D eb en vloed gesloten;
berekening volgens model RD I



volledige afsluiting zou plaatsvinden, maar toch bestaan er grote overeenkomsten in de processen, waarvan gebruik gemaakt kan worden voor het opstellen van prognoses. Nu hebben de veranderingen die de buitendelta ten gevolge van het Deltaplan zou ondergaan, reeds van de aanvang van de Deltawerken af de aandacht gehad. Om de ontwikkelingen in het kustgebied en op de onderwaterdelta te kunnen volgen werd reeds in 1957 voorgesteld om speciaal daarvoor een Decca-plaatsbepalingssysteem aan te schaffen.

We kunnen dit illustreren met een inmiddels bijna 20 jaar oude tekst uit Bericht 5, van augustus 1958. We lezen daar:

'De bodem van de zeegaten en van het aangrenzende kustgebied bestaat grotendeels uit tamelijk fijn zand, dat gemakkelijk door de getijstroom in beweging wordt gebracht en verplaatst. Bovendien ondervindt de bodem hier de invloed van de golfbeweging die in deze open wateren vaak zeer krachtig is.

De vorm van de stroomgeulen en van de daartussen gelegen banken is dan ook geheel bepaald door het samenspel van getijstroom en golfkrachten. De invloed van de stroom is daarbij duidelijk overheersend, hetgeen blijkt uit het lijnenspel van geulen en banken, waarin zich het stromingspatroon duidelijk verraaft.

Het door de zeegaten in- en uittrekkend getij heeft nl. waaiers van naar zee uitlopende geulenstelsels gevormd. Zou de golfslag in dit gebied als vormende kracht hebben overheerst, dan zou een meer evenwijdig met de algemene kustlijn gerichte figuratie zijn geschapen.

In grote lijnen is de structuur van de zeegaten en het aangrenzende kustgebied tamelijk stabiel; veranderingen voltrekken zich in verhouding tot de grote uitgestrektheid van deze gebieden tamelijk langzaam.

Toch zijn verschuivingen van de getijgeulen met een gemiddelde voortplantingssnelheid van 50 à 100 m per jaar niet zeldzaam.

Hierbij worden tientallen miljoenen kubieke meters zand verplaatst. Door de bouw van de afsluitdammen wordt de waterbeweging in het beschouwde gebied drastisch gewijzigd. Het ver in zee uitwaaiend stroombeeld zal plaats gaan maken voor een in hoofdzaak evenwijdig met de kust gerichte stroom, aansluitend bij het stroombeeld dat verder in zee en ook langs onze vlakke kust tussen Hoek van Holland en Den Helder heerst. Als gevolg hiervan zijn dan ook buiten de dammen grote veranderingen te verwachten in de bodemfiguratie. Een belangrijk deel van het thans

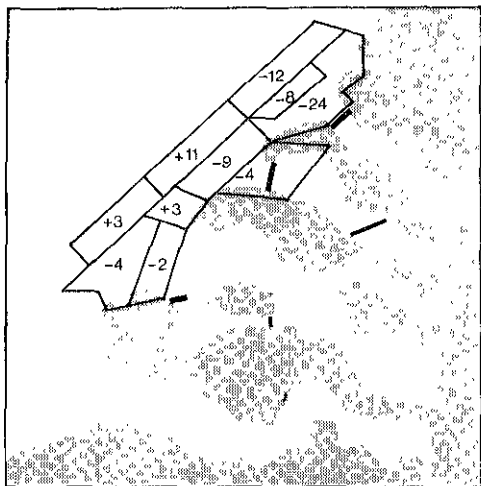
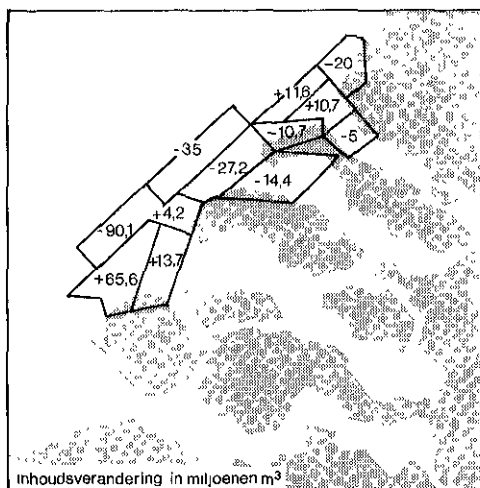
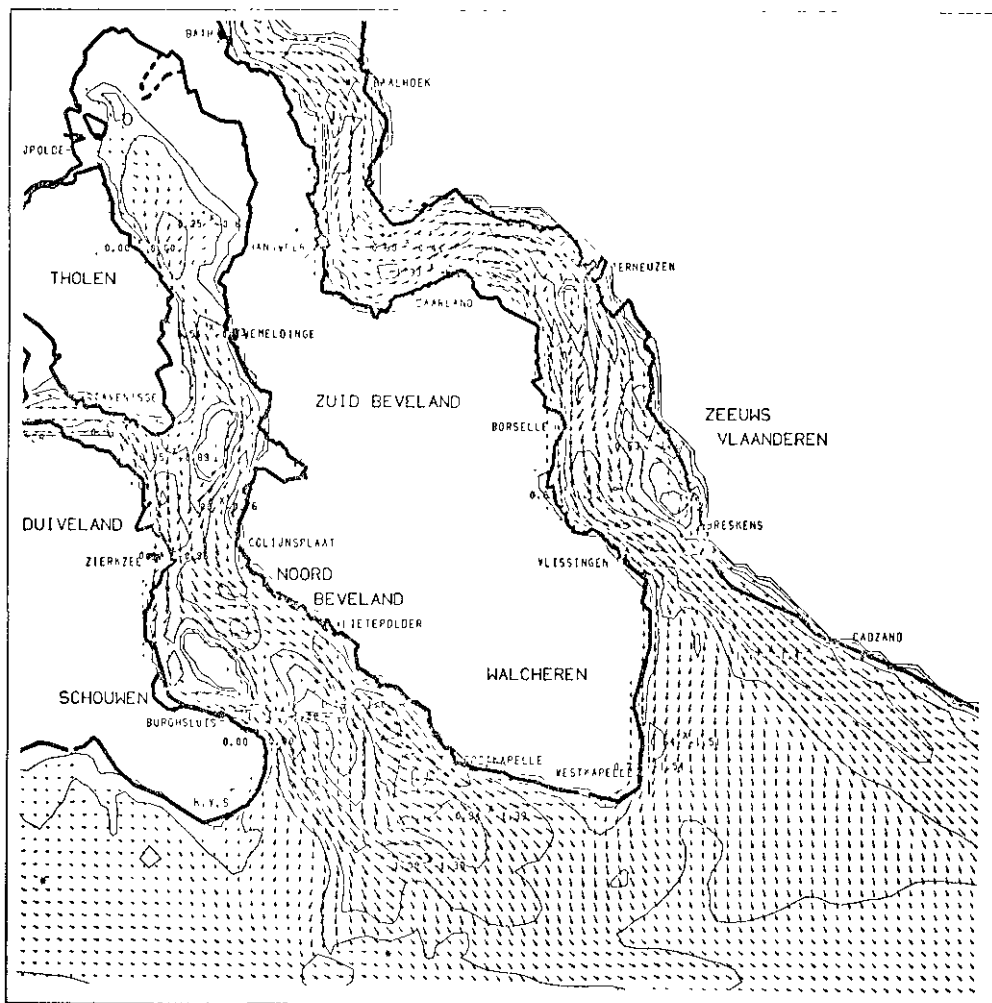


Fig. 5. Inhoudsveranderingen in een aantal kustvakken tussen 1872 en 1933 (boven) en 1970-1974

voor de mondingen opgehoopte zand zal ongetwijfeld met de golfslag naar de kust worden gedreven, waarbij vermoedelijk parallel met de kust enkele langgestrekte zandbanken zullen worden opgeworpen. De diepe getijgeulen zullen verzanden. Echter zal ook een groot gedeelte van het zand met de overheersende vloedstroom in noordoostelijke richting worden verplaatst en uit het Deltagebied verdwijnen, zodat dit gebied op den duur zandarmen zal worden. De bovengeschetste veranderingen zullen zeker geruime tijd in beslag nemen en men zal hier eer in eeuwen dan in jaren moeten denken. Toch is het gewenst dit langdurige proces reeds van den beginne af nauwlettend te volgen, daar bij een beweeglijke, weinig weerstand biedende kust gevaarlijke verrassingen nimmer geheel zijn uitgesloten. Een zo

Fig. 6. Stroombeeld bij eb volgens het RD II-model. Links open, rechts afgesloten Oosterschelde



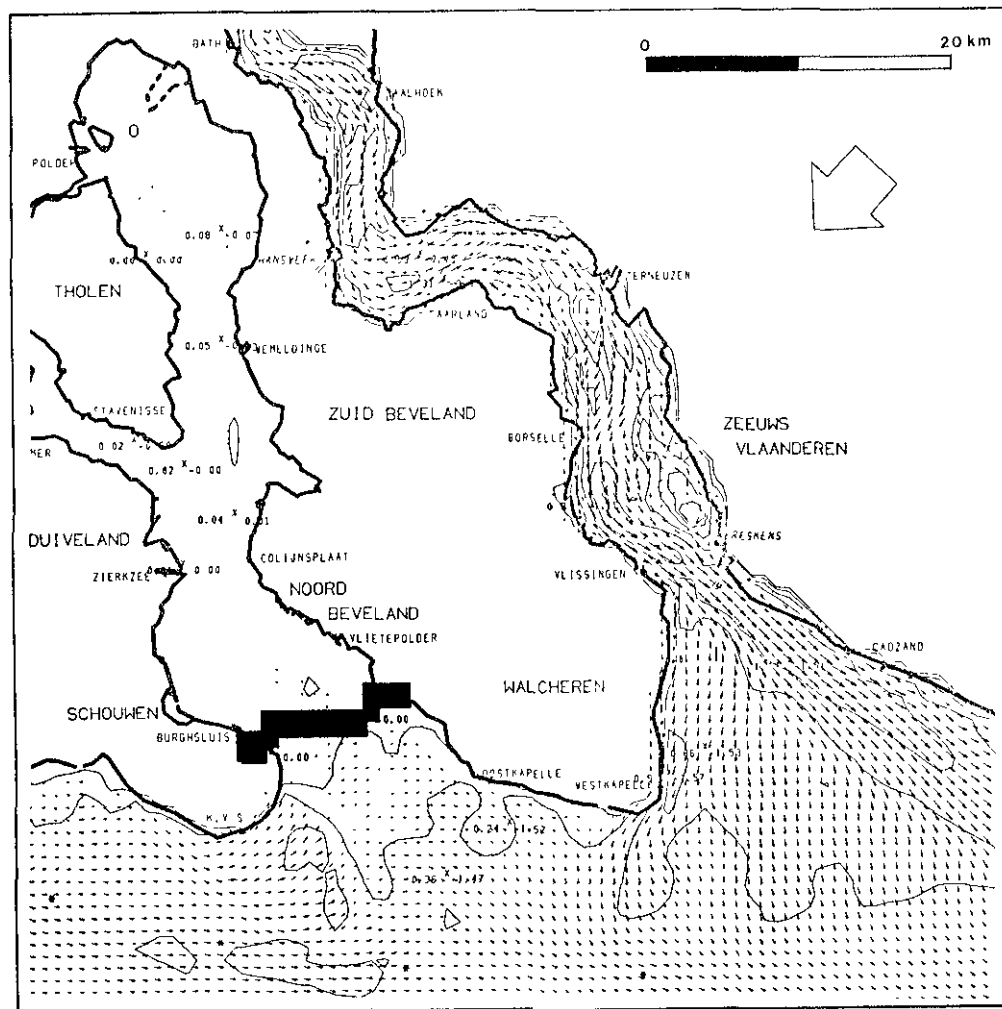
goed mogelijk inzicht in de hier werkzame factoren is geboden, ten einde waar nodig tijdig en doeltreffend te kunnen ingrijpen. Het is daarom noodzakelijk de studie van de zandbeweging in het kustgebied van de Delta te intensiveren.

In de eerste plaats moet de topografie van het betrokken gebied bij herhaling nauwkeurig worden vastgelegd, zodat de veranderingen, die daarin door geulverleggingen, bankvorming, etc. plaats vinden, duidelijk kunnen worden gevolgd en bestudeerd. Het is gebruikelijk lodingen te verrichten om de ligging van een rivier- of zeebodem in kaart te brengen. Vroeger werden deze uitgevoerd met behulp van een lood of een peilstok, doch reeds tientallen jaren wordt hiervoor gebruik gemaakt van het echolood, dat de diepte registreert door meting van de tijds-

duur, die een vanuit het meetvaartuig naar de bodem gezonden trilling nodig heeft om de bodem te bereiken en als echo weer naar het vaartuig terug te keren. In de mondingen der af te sluiten zeegaten werden tot nu toe de hydrografische opnemingen in hoofdzaak verricht door de afdeling Hydrografie van het Ministerie van Marine.

Deze opnemingen werden echter slechts betrekkelijk zelden uitgevoerd, daar de betrokken zeegaten van weinig belang zijn voor de scheepvaart en in hoofdzaak door vissers worden bevangen.

De opnemingen zullen thans veel frequenter moeten geschieden en de nauwkeurigheid zal zo mogelijk moeten worden vergroot. Het uitvoeren van lodingen in dit uitgestrekte gebied is niet eenvoudig, vooral niet wegens de moeilijke plaatsbepaling.



Door de grote breedte van deze wateren is oriëntering op bekende punten op de wal, zoals kerktorens, alleen mogelijk bij zeer helder weer. De omstandigheid echter dat een heldere atmosfeer vaak met een krachtige wind samentreft en de zee dan veelal te woelig is voor lodingswerk, terwijl daarentegen een kalme zee vaak met heilig weer gepaard gaat, maakt dat er slechts weinig dagen zijn, dat met succes gebruik kan worden gemaakt van visuele plaatsbepaling. Aangezien de lodingen zo frequent mogelijk moeten worden uitgevoerd en het gehele kustgebied van de Delta tenminste eenmaal per jaar in zijn geheel moet worden opgenomen, moest naar een andere methode van plaatsbepaling worden gezocht, waarbij men minder afhankelijk zou zijn van de weersomstandigheden, d.w.z. van het zicht.

Uitkomst bracht hier de recente ontwikkeling – vooral tijdens de laatste wereldoorlog – van radiografische plaatsbepalingssystemen. Een dergelijk systeem is speciaal voor hydrografisch werk ontwikkeld door de fa. Decca te Londen. Het biedt de mogelijkheid om zich door middel van een radio-ontvanger aan boord van het opnemingsvaartuig te oriënteren op drie op het land opgestelde zenders. Ten behoeve van de Deltawerken is een dergelijke Decca-installatie aangeschaft. Wat hebben we nu sinds deze tekst geschreven is geleerd van de zandbeweging in de voordelta? We kunnen hiervoor in de eerste plaats wijzen naar een aantal artikelen die sindsdien in de Driemaandelijksche Berichten aan dit onderwerp zijn gewijd.

In Bericht 20 van mei 1962 vinden we een artikel over 'De morfologische veranderingen in de mond van de Brielse Maas sedert de afsluiting daarvan', waarin de aard van de sedimentatie- en erosieprocessen wordt behandeld in relatie met de getijstroom en de golfbeweging. Hier werd onder andere belangrijke kusterosie geconstateerd als gevolg van de verplaatsing van een aanznijdende geul. Vooral over de sedimentatie van slib werden belangrijke gegevens verkregen. In Bericht 30 volgt dan een artikel over 'De invloed van de afsluiting van het Veerse Gat'. In dat artikel worden de veranderingen beschreven die zich voordeden in de bodemfiguratie van het overgebleven mondingsgebied van het Veerse Gat en in het aansluitende gebied van de Roompot. Aan de hand van het beschreven onderzoek werd het inzicht in de sedimentatieprocessen die zich voordoen als gevolg van stroomverlamming, in belangrijke mate uitgebreid. In Bericht 40 komt een artikel voor over

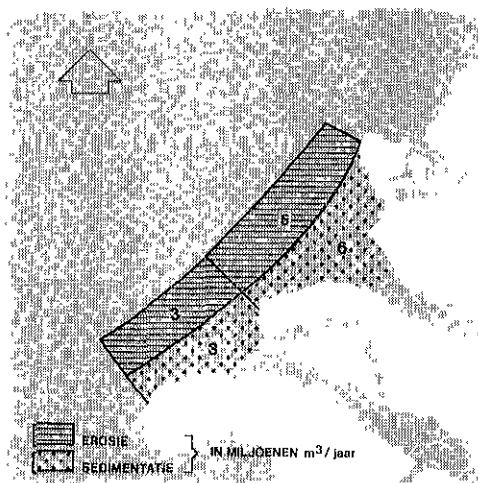


Fig 7. Erosie en sedimentatie in de mondingsgebieden van de afgesloten getijgeulen

Fig 8. Verdiepingen en verondiepingen in de mond van het Haringvliet 1970-1975

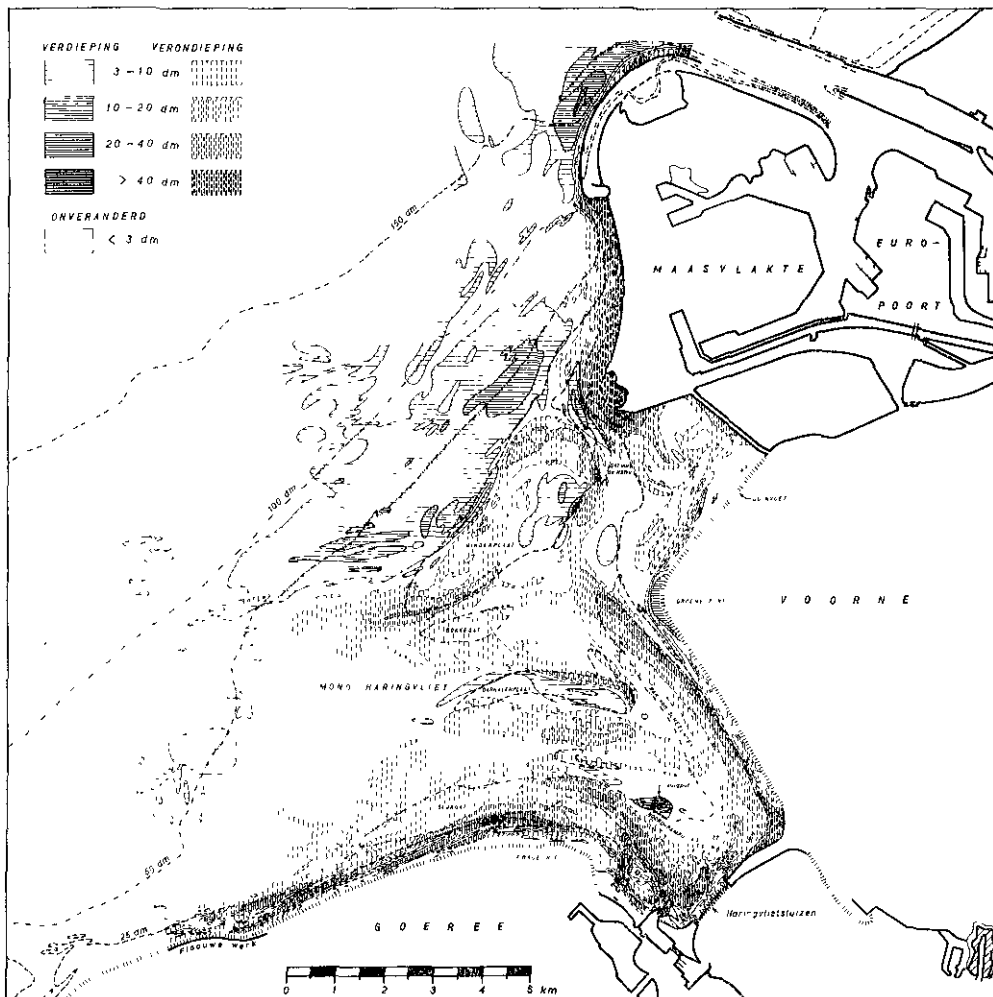
'De verhouding van getijvolume en doorstromingsprofiel in de zeegaten', waarin wordt aangegeven hoe voor de verschillende zeegaten een over de getijcyclus gemiddelde stroomsnelheid kan worden bepaald, die behoort bij een evenwichtssituatie. Wordt die snelheid door omstandigheden groter, dan zal uitschuring plaatsvinden. Wordt ze kleiner, dan zal het profiel door sedimentatie afnemen. In Bericht 43 van februari 1968 volgt dan een artikel over 'De invloed van de waterbouwkundige werken op de kust van Zuid-West Nederland'. In dat artikel wordt een overzicht gegeven van de inzichten die ongeveer 10 jaar geleden bestonden. Inmiddels is gebleken dat de ontwikkelingen in de mond van het Haringvliet minder snel verlopen dan toen op grond van de ervaringen met het Brielse Gat verwacht werd. De tendens van de

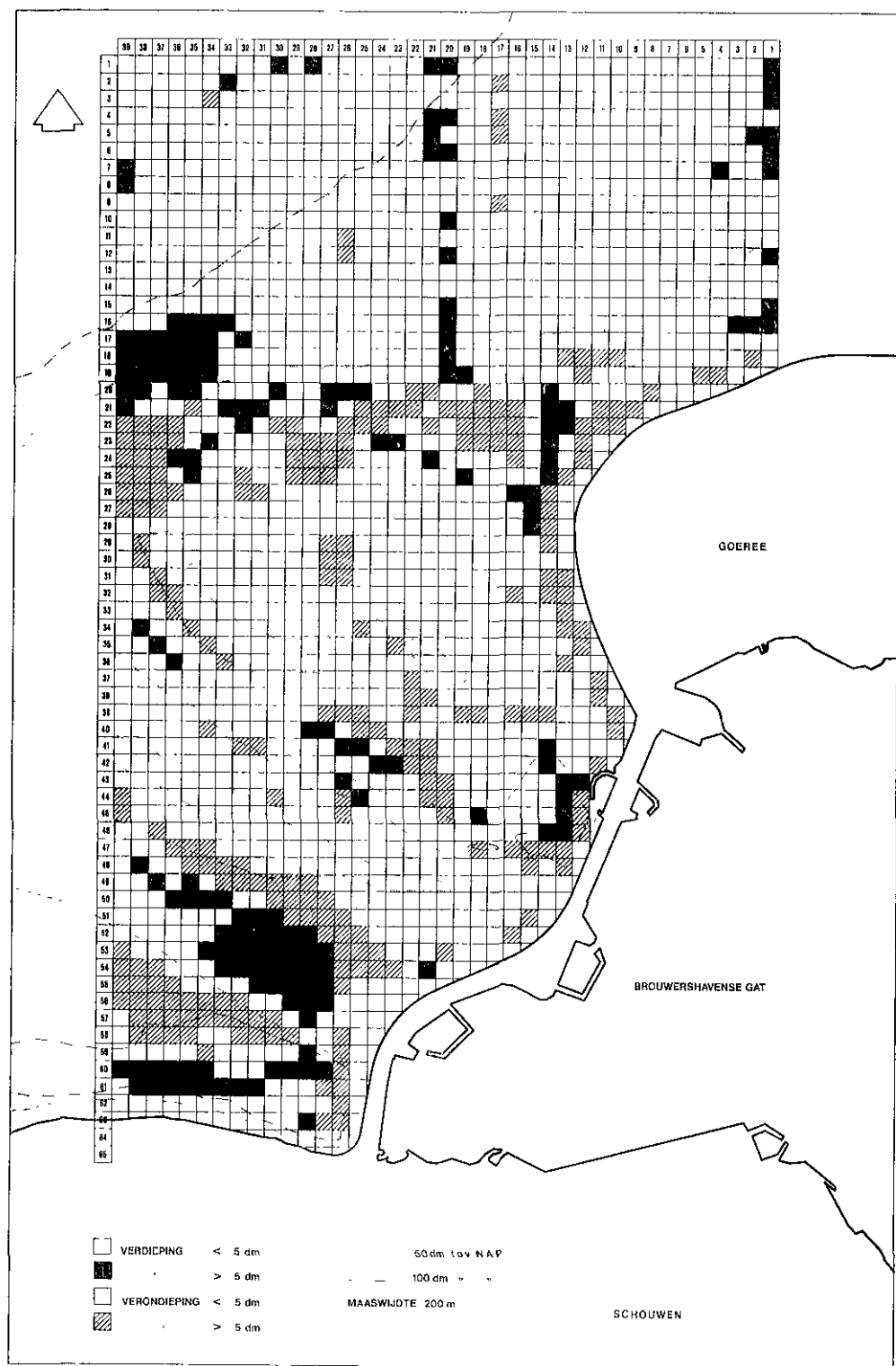
verwachting is in grote lijnen wel juist, maar met name de snelheid en de omvang van de processen zijn belangrijk geringer dan verwacht werd.

De extrapolatie van klein naar groot, van Brielse Gat naar Haringvliet, is kennelijk gecompliceerder dan op grond van de toen beschikbare kennis vermoed werd. Aansluitend op dit artikel worden in Bericht 52 van mei 1970 dan nog mededelingen gedaan over de 'Veranderingen in de bodemfiguratie langs de kust' met een beschouwing over de periodiek te meten kustprofielen.

In Bericht 54 van november 1970 vinden we een artikel over 'De gevolgen van de afsluiting van het Haringvliet voor het mondingsgebied en de aansluitende kust'. Hierin worden de vrij belangrijke morfologische veranderingen beschreven die zich in het mondingsgebied

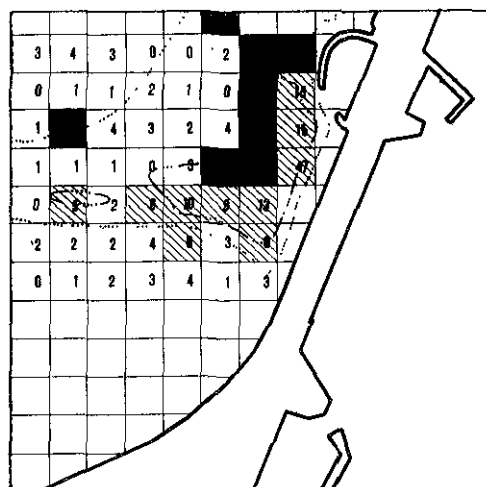
van het Haringvliet al voordeden vóór de afsluiting. Verder vindt men er mededelingen over tweedimensionale getijberekeningen, een rekentechniek die toen juist operationeel was geworden, en die een belangrijke bijdrage zou kunnen gaan leveren aan het voorspellen van morfologische veranderingen. Bericht 63 van februari 1973 geeft een vervolgartikel over de 'Veranderingen in de mond van het Haringvliet sedert de afsluiting'. Na een beschrijving van verticaal getij, golfbeweging en stromingen na de afsluiting volgt daarin een beschouwing over de sedimentbeweging en over de morfologische veranderingen. In Bericht 64 van mei 1973 volgt dan een beschouwing over de 'Waterloopkundige veranderingen na de afsluiting van het Brouwershavense Gat in het mondingsgebied en het aangrenzende kustgebied'. Daarin





wordt een overzicht gegeven van de veranderingen in de getijbeweging en een overzicht van de betrekkelijk geringe morfologische veranderingen, die zich in de korte periode na de afsluiting van het Brouwershavense Gat hadden voorgedaan. Inmiddels is voldoende tijd verstreken sinds de afsluiting van het Haringvliet in 1970 en het Brouwershavense Gat in 1971, om een duidelijker beeld te krijgen van de veranderingen die zich voordoen als gevolg van de afsluitingen van de grote zeegaten in het Deltagebied. Deze gevolgen manifesteren zich vooral in de verandering van de getijbeweging. De veranderingen in de golfbeweging zijn zeer gering en kunnen bij eerste benadering zelfs geheel verwaarloosd worden. Met behulp van de al eerder genoemde tweedimensionale getijberekeningen volgens

Fig. 9. Geschematiseerde voorstelling van verdiepingen en verondiepingen in de mond van het afgesloten Brouwershavense Gat, met detail



de methode-Leendertse is het mogelijk om na te gaan tot hoever de invloed van de afsluitingswerken zich uitstrekt en hoe groot ze is in het beïnvloede gebied. In figuur 4 zijn enkele resultaten weergegeven van berekeningen in het oude Rand Deltamodel. De berekeningen zijn uitgevoerd onder dezelfde getijomstandigheden; de afgebeelde situaties zijn die van ongeveer maximale vloed- en ebstroom zeewaarts van de mond van de Oosterschelde. Door faseverschillen in het getij langs de Nederlandse kust liggen de tijdstippen van maximale vloed- en ebstroom zeewaarts van de monden van de andere zeegaten op een wat later of vroeger tijdstip. Uit de onderlinge vergelijking van deze figuren kan worden afgeleid dat de invloed van de afsluitingswerken zich globaal beschouwd uitstrekt tot de koppen van de aangrenzende eilanden. In zeewaartse richting gaande, zien we dat de invloed van de afsluitingswerken op ongeveer 10 km uit de kust al nauwelijks meer merkbaar is.

Een overeenkomstig beeld levert het nieuwe RD II-model, waarvan in figuur 6 enkele resultaten zijn gegeven voor een situatie met open en met geheel gesloten Oosterschelde.

Hoewel het gebied waarin de getijbeweging door de Deltawerken wordt beïnvloed dus betrekkelijk klein van omvang is, kunnen de afsluitingswerken toch een vrij belangrijke invloed op de zandbewegingen hebben. Een indruk van de grootte van de zandbewegingen lang vóór de uitvoering van de Deltawerken krijgen we uit figuur 5a, die is bewerkt naar een afbeelding uit het Rapport van de Deltacommissie. Deze figuur geeft de inhoudsveranderingen weer in miljoenen m³ voor de periode 1872-1933.

Hoewel deze figuur is samengesteld op grond van met het peillood verzamelde gegevens, terwijl toentertijd ook de plaatsbepaling minder nauwkeurig was dan thans, mag toch worden verondersteld dat de weergegeven zandverplaatsingen een redelijke mate van nauwkeurigheid bezitten.

Ter vergelijking zijn in figuur 5b voor dezelfde vakken de zandverplaatsingen bepaald over de periode 1970-1974, een periode die vrijwel geheel valt na de afsluiting van het Haringvliet en het Brouwershavense Gat. Wanneer we nu figuur 5a en 5b vergelijken, er daarbij uiteraard rekening mee houdende dat figuur 5a slaat op een periode van 60 en figuur 5b op een periode van slechts 4 jaar, dan zien we dat zich in de mond van het Haringvliet waar in de decennia omstreeks de eeuwwisseling nog erosie plaatsvond, thans een vrij sterke sedimentatie optreedt. Ook in het gebied

onmiddellijk zeewaarts van de Brouwersdam is de sedimentatie toegenomen. Meer zee- waarts vindt echter uitschuring plaats. Omdat de grens tussen de sedimentatie- en erosiegebieden niet precies samenvalt met de vakkengrens die werd aangehouden in het rapport van de Deltacommissie, is in figuur 7 een en ander nog eens schematisch afge- beeld. Uit deze figuur blijkt dat in het mon- dingsgebied van het Haringvliet de laatste jaren gemiddeld ongeveer 6 miljoen m³ aan- zandt en in de mond van het Brouwershaven- se Gat ongeveer 3 miljoen m³. De erosie in het gebied zeewaarts van het Haringvliet bedraagt ongeveer 5 miljoen m³ en in het gebied zeewaarts van de Brouwersdam onge- veer 3 miljoen m³ per jaar. Vermoedelijk vindt hier vooral een verstelling van de onderzeese oever plaats, waarbij het zand van het dieper gelegen gebied naar de kust toe verplaatst wordt. Ook in de jaren voorafgaand aan de afsluitingen vond al belangrijke sedimentatie plaats in deze mondingsgebieden. Wanneer we de ontwikkelingen meer in detail willen bestuderen, kunnen we gebruik maken van zogenaamde verschillenkaarten. Op die kaarten worden de diepteveranderingen over een zeker tijdvak weergegeven. Zo'n kaart is bijvoorbeeld voor de Haringvliet- mond afgebeeld op blz. 158 van Bericht 63. Figuur 8 geeft dezelfde ontwikkeling over de periode van november 1970 tot augustus 1975. De sedimentatie zeewaarts van de Haring- vlietssluisen blijkt zich vooral te concentreren in de diepe geulen zoals het Rak van Scheel- hoek en het Slijkgat. Langs de noordkust van Goeree zien we behalve een aanzandings- gebied dicht onder de kust een zone met een grillig patroon van strookvormige verdiepin- gen en verondiepingen. Langs de kust van Voorne ontmoeten we vanuit de Haringvlietssluisen gaande eerst enige aanzandingen, die nabij de Groene Punt geleidelijk overgaan in erosie. Opgemerkt moet worden dat de erosie hier niet merkbaar is toegenomen sinds de afsluiting van het Haringvliet. Zeewaarts van Voorne, in het gebied van de Hinderplaat, komt overwegend sedimentatie voor, maar verder naar buiten tekent zich het al eerder genoemde erosie- gebied af. De sedimentatie in het gebied van de Maas- vlakte is grotendeels veroorzaakt door spuit- werkzaamheden. Meer zeewaarts overheeft ook hier de erosie.

In figuur 9 zijn de veranderingen in de bodemligging nog weer eens anders weer- gegeven. Deze figuur toont de ontwikkeling van het Brouwershavense Gat over de periode

1970-1975 door de gemiddelde diepte aan te geven in vierkante gebiedjes van 200 x 200 m. Deze werkwijze sluit aan bij de schema- tisering voor de tweedimensionale getijbere- keningen; ze leent zich beter voor bewerking van de gegevens per computer. Door onder- linge vergelijking van twee opnamen kan bovendien een snelle indruk worden verkre- gen van de hoeveelheid erosie en sedimen- tatie in een gebied.

Omdat in de beschouwde periode aan de Kop van Goeree zandsuppleties zijn uitge- voerd, kunnen de gegevens van figuur 9 niet gebruikt worden ter bepaling van de erosie aan de Kop van Goeree. Hoewel op dit moment nog niet alle gegevens zijn uitgewerkt die verzameld zijn na de uitvoering van de laatste kustsuppletie in dit gebied, is de voorlopige indruk toch dat ook hier de erosie niet is toegenomen na de afsluiting van Haringvliet en Brouwershavense Gat. Het is mogelijk dat de erosie van de stranden in het Deltagebied overwegend door golfwerking wordt veroorzaakt; het golfregio is echter zoals reeds eerder werd opgemerkt door de afsluitingswerken nauwelijks beïnvloed. Over de snelheid waarmee de veranderingen in dit gebied zich voltrekken, zegt Bericht 5 (augustus 1958): 'De bovengeschetste ver- anderingen zullen zeker geruime tijd in beslag nemen en men zal hier eer in eeuwen dan in jaren moeten denken'. Dat is nog steeds van toepassing. De kosten van verdere zandsup- pleties zullen niet overmatig groot zijn. Voor de verdediging van Schouwen en Walcheren wordt een bedrag van f 150 000 000 geraamd. Voor dit bedrag zal jaarlijks een hoeveelheid zand van meer dan 2 miljoen m³ in het kust- gebied worden aangebracht.

Zowel bij volledige afsluiting van de Ooster- schelde als bij de aanleg van een stormvloed- kering moet men in de toekomst rekening blijven houden met de plaatselijke bewegin- gen van kleinere geultjes, zoals bijvoorbeeld het vloedgeultje De Urk voor de noordkust van Walcheren. Dat levendige, doch zeer plaatselijke gebeuren blijft bestaan. Zal dit verschijnsel zich krachtiger doen gelden in de nieuwe situatie dan in de oude? Vermoe- delijk niet, althans niet op langere duur. Misschien wordt bij het zoeken naar een nieuw evenwichtspatroon hier en daar erosie gemeten, doch elders dan weer sedimentatie. Aangezien er, zoals wij in het voorgaande zagen, vooral aanwijzingen zijn dat we te maken hebben met zandverplaatsingen lood- recht op de kust, lijkt de nieuwe situatie op den duur alleen wat gunstiger te zullen wor- den

Tenslotte willen we nog even ingaan op de vraag, in hoeverre de veranderingen die zich in het kustgebied vóór de de Delta zullen voltrekken van invloed kunnen zijn op de zogenaamde schone kust tussen Hoek van Holland en den Helder. Zoals we hierboven reeds citeerden, bestond vroeger de verwachting dat 'een groot gedeelte van het zand (voor de Delta) met de overheersende vloedstroom in noordelijke richting (zal) worden verplaatst en uit het Deltagebied verdwijnen, zodat dit gebied op den duur zandarm zal worden.'

We dachten dat dus nog in 1958, en het spreekt daarom wel vanzelf dat, toen de plannen voor een *nieuwe havenmond bij Hoek van Holland* in studie kwamen, ook in 1958, de vrees bestond dat de zeer lange, ver in zee uit te bouwen leidammen deze veronderstelde 'zandstroom' van zuid naar noord zouden onderscheppen, hetgeen dan een verarming van de kust ten noorden van de *nieuwe werken tot gevolg zou kunnen hebben*. Voorafgaand aan het ontwerp van de nieuwe havenmond moest derhalve ook nader worden onderzocht, of deze vrees gegrond was en met name, wat er in feite nu eigenlijk waar was van het vermeende laterale zandtransport in noordoostelijke richting, dat *dan immers de mond van de Waterweg zou moeten kruisen*. Nadere onderzoek hiernaar leidde echter tot het inzicht dat zandtransport van zuid naar noord niet kon worden aangetoond, en dat de leidammen dus konden worden gebouwd zonder vrees voor ernstige repercussies voor de kust ten noordoosten van Hoek van Holland. Wel moest een plaatselijke voorziening worden getroffen voor het gebied onmiddellijk grenzende aan het nieuwe noorderhoofd, waar zich zand zou kunnen ophopen, dat mogelijk deels aan het daaraan grenzende kustgedeelte voor Terheide zou worden onttrokken. Door kunstmatige aanvulling van dit kustgedeelte met zand heeft men dit gevaar echter weten te ondervangen. Destijds is over dit vraagstuk ook al wel gerapporteerd. We kunnen hier bijvoorbeeld citeren uit een artikel *terzake, gepubliceerd in het Geografisch Tijdschrift van het Kon. Ned. Aardrijksk. Genootschap* (1967, nr. 5, blz. 363 en 365).

'De kust bij Hoek van Holland zou men kunnen beschouwen als een overgangszone tussen de grillig gevormde, sterk gelede kust ten zuiden en de gladde, z.g. *schone kust* ten noorden van die plaats.

Door het ingewikkelde samenspel van zee- en rivierstromingen, die voor en in de mond van de Waterweg samentreffen en waarbij de

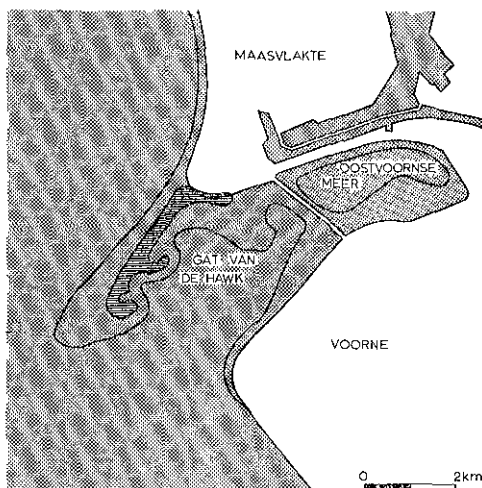


Fig. 10 Het 'Voornse-slufter'-plan

grote verschillen van soortelijk gewicht van zee- en rivierwater een grote rol spelen is dit gebied waterloopkundig moeilijk te doorgronden; de invloed der golven, waarvan de uitwerking evenmin gemakkelijk is te berekenen, speelt daar nog doorheen. In het algemeen is het gedrag van vlakke zandige kusten onder invloed van getij en golfslag wel reeds te voorzien, maar in kwantitatief opzicht nog moeilijk te benaderen. De studie van deze verschijnselen, die behoort tot de z.g. coastal engineering, zoals men in Amerika deze jonge tak van ingenieurswetenschappen heeft genoemd, is pas in de laatste decennia goed op gang gekomen. Toch is men hierin reeds tamelijk ver gevorderd en ook in Nederland heeft men daarin mede dank zij de uitgebreide studies in verband met de deltawerken goede vooruitgang geboekt. Vooral ook door

de toepassing van verbeterde meettechnieken – o.a. ook gebruik van radioactieve tracers – bij het meten van zandverplaatsingen, is het inzicht in de waterloopkundige verschijnselen die zich langs onze kust voltrekken verdiept, en durft men zich nu ook aan voorspellingen te wagen ten aanzien van de invloed die de werken in het ingewikkelde gebied rond de Waterwegmonding vermoedelijk zullen hebben.

Lange tijd veronderstelde men, dat een belangrijk zandtransport langs onze kust van zuid naar noord plaats vindt. Een onderbreking van deze zandstroom, zou dan tot gevolg hebben, dat in het 'benedenstroomse' kustvak een zandarmoede zou ontstaan met als gevolg een erosie van dit kustgedeelte. De metingen voor de kust bij Hoek van Holland waarbij o.a. met radioactieve tracers werd gewerkt, hebben echter aangetoond, dat, zo al van een resulterend zandtransport van de deltakust ten zuiden van de Waterweg naar de schone kust ten noorden daarvan sprake is, dit slechts van betrekkelijk geringe omvang zal zijn. Men mag derhalve vrij stellig verwachten, dat door de nieuwe leidammen en de geul in zee geen zandstroom van betekenis wordt onderschept, die voor instandhouding van de kust ten noorden van de delta van belang zou kunnen zijn en dat daardoor het evenwicht van de kust ten noorden van Hoek van Holland dan ook niet in ernstige mate zal worden verstoord. Zo er nog ongunstige repercussies mochten optreden zullen deze waarschijnlijk met maatregelen van betrekkelijk geringe omvang kunnen worden bestreden; men kan hier b.v. denken aan enige kunstmatige bijvoeding van het zand, waar dit nodig mocht zijn.' Er bestaat dus kennelijk niet die nauwe relatie tussen de beide kustgebieden aan weerszijden van de Rotterdamse Waterweg die men destijds vermoedde. En voor zover er al enig litoraal contact tussen deze kustvakken zou hebben bestaan, dan is dit door de bouw van de havendammen bij Hoek van Holland toch wel vrijwel volledig verbroken.

De ecologische gevolgen van de stormvloedkering voor de buitendelta

De aanleg van de stormvloedkering zal in combinatie met de reeds voltooide afsluitingen van het Haringvliet en het Brouwershavense Gat, ook ecologische gevolgen hebben voor de buitendelta. Wie zich daar een indruk van wil vormen, dient uit te gaan van de hiervoor beschreven morfologische ontwikkelingen. De veranderingen doen zich in dit gebied zeer langzaam voor. Vroeger, toen

Luchtopname van de kop van Voorne

nog rekening gehouden werd met de mogelijkheid van snelle veranderingen, waarbij in de mondingen van vroegere zeearmen boven laag water platengebieden zouden ontstaan, werd een belangrijke potentiële winst op korte termijn verwacht. De door de Contactcommissie voor Natuur- en Landschapsbescherming in 1972 uitgegeven publicatie 'De kleuren van Zuid-West Nederland – visie op milieu en ruimte' heeft mede op grond van deze verwachting de gebieden zeewaarts van de afsluitdammen dan ook nog al hoog gekwalificeerd.

Hoewel men op grond van de huidige inzichten wellicht geneigd zou zijn tot een wat lagere waardering, moet toch gewezen worden op het grote belang dat de platen en banken in het buitengebied vermoedelijk hebben voor de vogels. Uit recente vogeltellingen, waarvan de resultaten thans nog niet geheel zijn uitgewerkt, zou de voorlopige conclusie kunnen worden getrokken, dat het gebied van de buitendelta tot beneden de laagwaterlijn een zeer belangrijke functie vervult in de voedselvoorziening van de zeevogels.

Bovendien kunnen de natuurlijke ontwikkelingen in het gebied van de onderwaterdelta worden gestimuleerd met behulp van een zekere natuurbouw. In dit verband kan gewezen worden op het plan van de 'Voorne Slufter'. Bij een van de varianten van dit project, die afgebeeld is in figuur 10, wordt met behulp van ongeveer 30 miljoen m³ zand een dam aangelegd vanaf het gebied van de Maasvlakte tot over de Hinderplaat. Daarbij wordt het Gat van de Hawk tussen de Hinderplaat en de Maasvlakte afgesloten. Indien zou worden besloten om dit of een soortgelijk



project uit te voeren, is het mogelijk dat aan de binnenzijde van de dam slibafzettingen zullen gaan optreden, en zo zouden waardevolle natuurgebieden kunnen worden gecreëerd. De dam zelf kan uitgevoerd worden als een duinlandschap, terwijl het ervoor gelegen strand de recreatie zou kunnen dienen. Ook voor de koppen van Goeree en Schouwen bevinden zich plaatgebieden die bij eb boven water komen; ook daar zou op den duur wellicht gedacht kunnen worden aan enigerlei vorm van combinatie van kustverdediging en natuurbouw.

Wellicht kan zo ook nog terrein worden geschapen dat een hogere waarde als kinderkamer van de visstand kan hebben dan het huidige areaal. Waarschijnlijk zal de waarde van zo'n 'kinderkamer' in vergelijking met andere gebieden, zoals bijvoorbeeld de Waddenzee, vrij gering zijn. Overigens moet er hier op gewezen worden dat er nog weinig duidelijkheid is ten aanzien van de kinderkamerfunctie van de Oosterschelde. Het procentueel aandeel van de aantallen jonge schol en tong in de Oosterschelde werd in 1970 geschat op gemiddeld 3,5 en 1,7% van de totale aantallen die in het voorjaar in het Nederlandse kustgebied aanwezig waren.

Aangezien het Nederlandse kustgebied ongeveer 40% van het totale oppervlak van de kinderkamers voor schol en tong in de Noordzee beslaat, is het duidelijk dat de betekenis van de de Oosterschelde als kinderkamer voor tong- en scholstand als geheel beperkt te noemen is.

Er waren toen echter aanwijzingen, dat de Zeeuwse stromen van groter belang zouden kunnen zijn voor lokale populaties schol en tong in het gebied vóór de Zeeuwse en Belgische kust. Voor de Zeeuwse zeevisserij, die thans vooral dicht bij de Zeeuwse kust plaatsvindt, werd de waarde van de Oosterschelde mede op grond van deze overweging op ongeveer 30% van de totale kinderkamerfunctie geschat.

Uit later onderzoek blijkt echter dat dit percentage waarschijnlijk belangrijk lager zal liggen.

Zo bleek uit metingen met behulp van gemerkte vissen bijvoorbeeld dat schol afkomstig uit de Oosterschelde in het zeegebied vanaf Texel tot het Kanaal kon worden teruggevangen. Het is dan ook te verwachten dat de Zeeuwse visgronden ook vanuit andere kinderkamers dan de Ooster- en Westerschelde van vis worden voorzien.

Vergeleken met de Wadden en het Nederlandse kustgebied als geheel bleek op grond van

de metingen dat in de periode 1969-1973 in het voorjaar ongeveer 9% van de jonge tong en 2 tot 3% van de jonge schol en garnaal uit de gezamenlijke Nederlandse kinderkamers voorkomt in de Oosterschelde. Daarbij is dan aangenomen dat van de voor het gehele Zeeuwse estuarium gemeten hoeveelheid globaal genomen evenveel voorkomt in de Oosterschelde als in de Westerschelde. Wanneer we daarnaast nog rekening houden met de migratie van tong en schol vanuit het Deense en Duitse Waddengebied, dan lijkt het niet onmogelijk dat een volledige afsluiting van de Oosterschelde voor de Zeeuwse tong- en scholvisserij nauwelijks merkbaar zal zijn. Voor de Zeeuwse garnalen-visserij zal de volledige afsluiting wel een belangrijke achteruitgang betekenen, die thans zelfs wel op 50% wordt geraamd. Bij aanleg van een stormvloedkering lijkt het erop dat niet alleen de kinderkamerfunctie volledig behouden zal worden, maar dat die zelfs groter kan worden. Een voorwaarde daarvoor is dan wel dat de jonge vis de stormvloedkering zonder schade kan passeren.

Vorderingen

1 januari – 1 april 1976

A. De werken van het Deltaplan

Volkerak

Derde schutsluis en inlaatsluis

In de verslagperiode zijn alsnog enige werkzaamheden uitgevoerd. Het gehele werk was reeds opgeleverd op 15 december 1975.

Geleidedammen, voorhavens, toeleidingsgeulen en stortbedden voor de inlaatsluis en de jachtensluis

De specie uit de noordelijke voorhaven van de jachtensluis en de noordelijke toeleidingsgeul naar de inlaatsluis is geheel weggebaggerd. Tevens is het bijbehorende glooiingwerk gereedgekomen. Het verkeer tussen Brabant en Flakkee kan gebruik maken van de nieuwe wegen. In uitvoering is thans de reconstructie van het kruispunt Hellegatsplein.

Toeleidingswerken naar de derde sluis en de jachtensluis

Dit werk werd gegund aan Mannesmann (Nederland) B.V. te Dintmond. In de verslagperiode is de nieuw te maken politiesteiger gereed gekomen. Begonnen is nu met het maken van nieuwe infoposten ten behoeve van de scheepvaart aan de Volkerak-zijde en met het heien van betonpalen ten behoeve van looppaden aan de Hollands-Diepzijde van de derde sluis.

Brouwershavense Gat

Bouw van een doorlaatsluis

De uitvoering van de doorlaatsluis verloopt volgens het door de aannemer ingediende werk-

schema. Ongeveer de helft van het beton is verwerkt. De betonpalen en damwand-schermen voor de vleugels aan de zeezijde zijn reeds aangebracht. Tijdens de uitvoering van het betonwerk valt een duidelijke toename van het water-bezwaar binnen de bouwput te constateren. Dit heeft er toe geleid dat de bemaling aan de zeezijde van de bouwput met 2 bronnen moest worden uitgebreid, waardoor het totale aantal bronnen op 50 kwam. Daar bij het dimensioneren van de bronbemaling voor het maken van de bouwput in eerste instantie was uitgegaan van maximaal 45 bronnen moesten het vermogen van de bemalingsinstallatie en het noodaggregaat aangepast worden. In overleg is besloten middels een staat van meer werk het stortbed aan de zeezijde geheel en het stortbed aan de Grevelingenmeerzijde inclusief staten damwandvleugels gedeeltelijk in een vervroegd stadium uit te voeren. Het water in de bouwput kan daarna 1,5 à 2 m hoger stijgen, hetgeen een kostenbesparende invloed zal hebben op de exploitatie- en stroomkosten van de bronbemalingsinstallatie. Inmiddels is een voorstel ingediend voor het aanbesteden van de benodigde schuiven voor de doorlaatsluis.

Oosterschelde

In verband met de onzekerheden rond de afsluiting van de Oosterschelde, werd besloten in de afbouw van de bouwputten enige wijziging te brengen. Het op diepte brengen van de bouwputten werd gestopt; de cutterzuiger werd eind januari afgevoerd. Bovendien werd besloten beide putten open te houden, zodat iedere put is voorzien van een soort sluitgat. Wat niet strikt noodzakelijk was werd eveneens uitgesteld, bijvoorbeeld het leggen van werk-wegen en het maken van een gedeelte loswal. De andere werkzaamheden, – asfaltbekleding, betonblokken-glooiing, teenconstructie, kraag-

stukken – werden voortgezet; ze kwamen in de verslagperiode nagenoeg gereed. Nu rest alleen het egaliseren van terreinen en dijkvakken, die zullen worden afgedekt met klei.

Damaanzet Schouwen

Het binnenbeloop van de hoogwaterkering en het werktorrein met de aangrenzende taluds zijn afgewerkt met een kleibekleding. De inlaag wordt ontgraven tot een hoogte van N.A.P. Het ontgraven zand wordt verwerkt op de asfaltbekleding voor het vormen van een duinregel ten westen van de hoogwaterkering. De werkzaamheden aan de geleidedam ten oosten van de damaanzet worden voortgezet. In de kern van de geleidedam werden fosforslakken rechtstreeks uit aanvoer en uit het depot in de haven Roggenplaat verwerkt. Na het profileren van de kern werd steen 10/60 en steen 300/1000 in de afdeklaag verwerkt.

Aanvoer materialen

De aanvoer van gebroken steenslag 20/40 voor het maken van steenasfalt en steenasfaltmatten kon in deze periode worden beëindigd. De aanvoer van stortsteen werd voortgezet. Begin februari werd de aanvoer van fosforslakken hervat. De slakken werden deels overgeslagen in depot bij de haven Schelphoek en deels met bakken naar de in aanbouw zijnde geleidedam gevaren.

C. De werken ten noorden van Hoek van Holland

(periode 1 jan. 1975 – 1 jan. 1976)

Waddenzee

Drie toegangswegen die de toekomstige onderhoudsweg langs de te verhogen noordelijke zeedijk zullen verbinden met het achterliggende gebied zijn voltooid en opgeleverd: de weg langs het Noordpolderkanaal, de weg 'Kleine Huisjes' en de weg 'Kaakhorn'.

Van het westelijke gedeelte van de noordelijke zeedijk – een lengte van ongeveer 8 km – zijn de onteigeningsstukken goedgekeurd en de onderhandelingen tot grondaankoop begonnen. De bestekken voor dit gedeelte zijn in voorbereiding bij de Provinciale Waterstaat. De onteigeningsstukken voor het tweede gedeelte zijn in concept gereed; de schattingen voor de grondaankoop zijn begonnen.

Eems

Het oude gemaal te Oterdum is thans geheel verwijderd, en de aansluitende dijkvakken zijn op

Deltahoogte gebracht. Ook het dijkvak Nansum-Oostpolder is op Deltahoogte gebracht en opgeleverd. Nog in het kader van het op Deltahoogte brengen van de zeedijken rond Delfzijl zal het buitentalud op enkele plaatsen worden voorzien van koperslakblokken. Het ontwerp-bestek voor het op Deltahoogte brengen van de zeedijk aan weerszijden van de keersluis te Termunterzijl is goedgekeurd; het werk zal in de loop van 1976 worden uitgevoerd. De onteigeningsbescheiden van het dijkvak langs de Oostpolder

zijn gereed; met de schatting van de aan te kopen grond is begonnen.

Dollard

Tengevolge van de complexe problematiek rond de Dollarddijk kon aan het op Deltahoogte brengen van dit onderdeel nog niet worden begonnen. Er wordt wel een kistdam als noodvoorziening tegen hoge waterstanden en golfoverslag op de Dollarddijk aangebracht. In het najaar van 1975 is 2,5 km kistdam gereedgekomen; de resterende 9 km zal in 1976 worden uitgevoerd.

Verantwoording van de foto's

Hofmeester 298

Rijkswaterstaat 304 305 306 326 337

Carel Blazer 337

