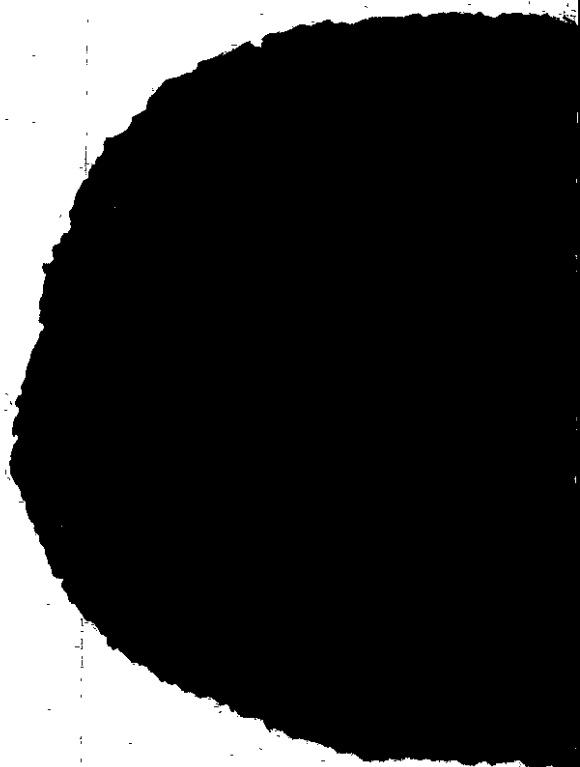


Driemaandelijks Bericht
nummer 65, aug. 1973

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1,
's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 13,20 per jaar
of f 3,60 per nummer

A. De werken van het Deltaplan

Zandsuppleties aan de kop van Goeree 223

*De verspreiding van het door de Haringvliet-
sluizen geloosde rivierwater in de mond van
het Haringvliet* 227

De waterkwaliteit in het Hollands Diep en het
Haringvliet in het eerste halfjaar van 1972 237

Het verloop van de waterkwaliteit in het
Hollands Diep/Haringvliet in de periode van
hoge rivierafvoeren 245

Aanpassingswerken in het noordelijk deel
van het Deltagebied 251

Natuurlijke en kunstmatige destratificatie in de
diepe gedeelten van het Grevelingen-
meer 255

Commissie Oosterschelde 264

Vorderingen 265

Zandsuppleties aan de kop van Goeree

Aan de kust van het Deltagebied, waar in de Romeinse tijd reeds bewoning werd aangetroffen, hebben zich in de afgelopen eeuwen vele veranderingen voltrokken. Vermoedelijk is de oorspronkelijk meer gesloten duinenrij geleidelijk doorsneden door steeds groter wordende zeegaten. Omstreeks 1300 waren de koppen van de thans bestaande eilanden al aanwezig, maar de vorm van de eilanden en van de ertussen gelegen geulen veranderde daarna nog voortdurend. Vanaf het eind van de vorige eeuw zijn voldoende betrouwbare gegevens beschikbaar om de ontwikkeling van de kust meer in detail te kunnen nagaan; de moderne plaatsbepalingssystemen, die pas 15 jaar in gebruik zijn, hebben de nauwkeurigheid van de waarnemingen verder vergroot. Het blijkt dat de zandige kust beweeglijk is, afwisselend aan- en erodeert, maar toch in de loop van deze eeuw op sommige plaatsen geleidelijk voortgaat en op andere plaatsen een voortgaande erosie vertoont. Deze verandering van de kust vertoont in algemene zin een relatie met de ontwikkeling van de dicht bij de kust gelegen geulen en platen. De meest zeewaarts gelegen koppen van de eilanden gaan zonder uitzondering al sinds tientallen jaren geleidelijk achteruit. De snelheid van deze achteruitgang is op Goeree het grootst, gemiddeld ongeveer 7 meter per jaar; op Schouwen bedraagt zij omstreeks 5 meter en op Walcheren één tot enkele meters per jaar.

Als gevolg van de achteruitgang van de kustlijn moesten op Walcheren al geruime tijd geleden verdedigingsmaatregelen worden getroffen, terwijl op Schouwen en Goeree, waar de duinen veel breder zijn, pas in de

laatste jaren voorzieningen aan de koppen nodig zijn geworden. Langs andere kustgedeelten van deze eilanden waren overigens al eerder verdedigingswerken aangelegd. Uit het voorgaande blijkt echter wel dat de koppen van de eilanden niet op natuurlijke wijze in stand bleven, en dat ook zonder het Deltaplan verdere maatregelen noodzakelijk zouden zijn geweest.

Voor de Kop van Goeree is getracht het verloop van de laagwaterlijn vanaf ongeveer 1700 te reconstrueren uit oude kaarten. Het resultaat, aangegeven in figuur 1, toont wel aan hoe beweeglijk de kust van Goeree is. Omdat de veiligheid van de waterkering bij de Kop van Goeree in gevaar dreigde te komen, heeft de Rijkswaterstaat als kustbeheerder op Goeree in 1965 een voorlopige voorziening getroffen. Tussen de vuurtoren en de Springertduinen is een binnenwaarts gelegen zee-werende duinregel met beperkt profiel aangelegd. Deze kunstmatige zee-reep, met een kruinhoogte van N.A.P. + 6 m, zou naar verwachting gedurende een tiental jaren voldoende veiligheid voor het achterland kunnen bieden. Na de afsluiting van het Haringvliet en het Brouwershavense Gat zouden dan definitieve voorzieningen kunnen worden getroffen op grond van de mede door de Deltacommissie uitgesproken verwachting dat de teruggang van de eilandkoppen sterker zou worden na de voltooiing van het Deltaplan. Aan de hand van het tegen die tijd uitgevoerde onderzoek zou dan de aard en de omvang van de nodige voorzieningen kunnen worden vastgesteld.

In de periode tussen 1965 en 1969, dus nog vóór de afsluiting van het Haringvliet, nam de achteruitgang nabij de vuurtoren echter al

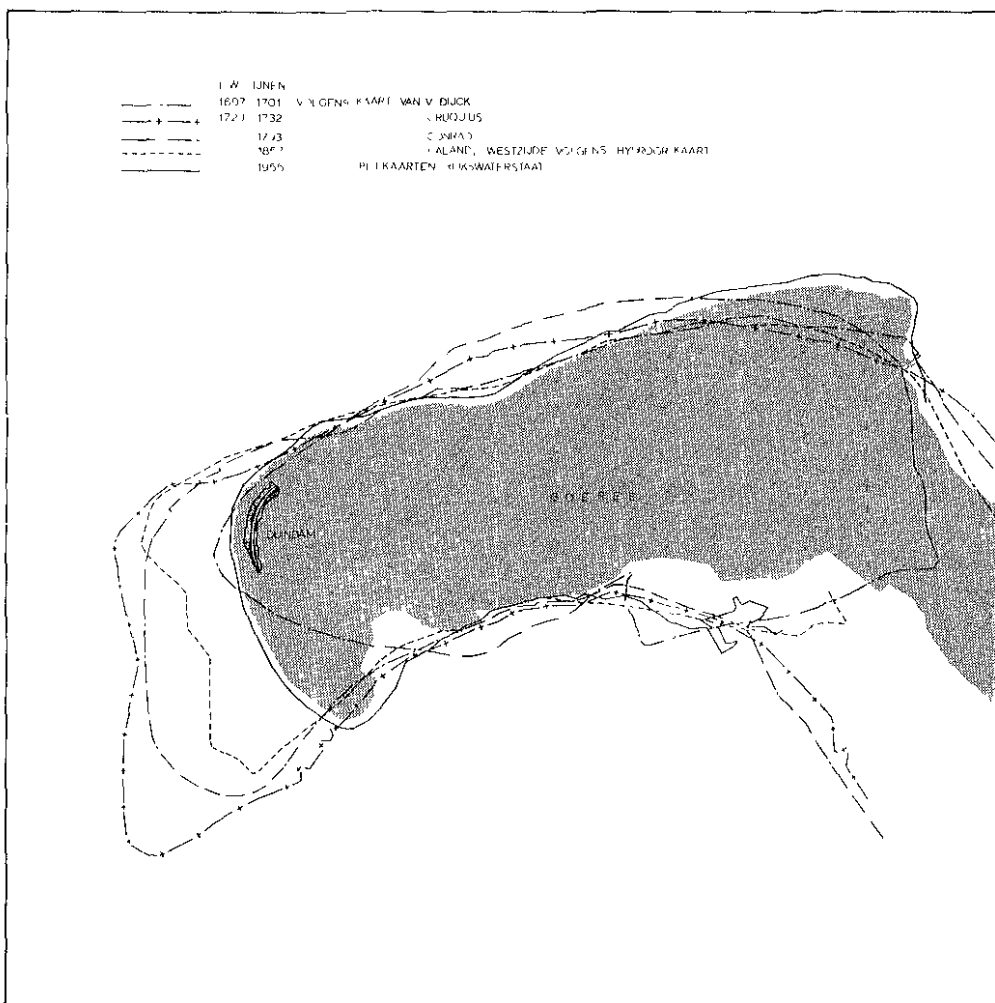
toe tot ongeveer 20 m per jaar. De laagwater-
lijn kwam als gevolg daarvan zo dicht bij de
in 1965 aangelegde duinregel te liggen, dat
op korte termijn maatregelen moesten worden
getroffen.

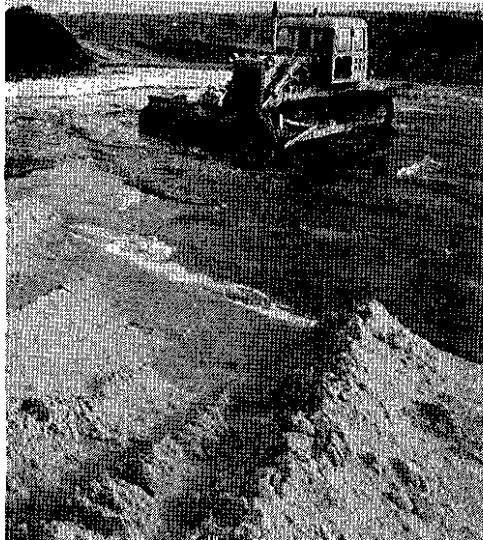
Om de veiligheid van de waterkering voor-
lopig te verzekeren werden in de winter van
1969-1970 en nadien in 1971 zandsuppleties
uitgevoerd van respectievelijk 400 000 m³ en
600 000 m³. In beide gevallen werd het zand
gewonnen in het Grevelingenbekken en over
een afstand van ongeveer 5 km naar het
strand voor de Kop van Goeree geperst. Op
het strand werd het zand langs met behulp
van bulldozers gemaakte perskaden naar de
gewenste plaatsen geleid.

Gedurende het werk in 1969 trad een verlies
op van ongeveer 50%. Hierbij inbegrepen is
echter de normale erosie, die vrij hoog moet

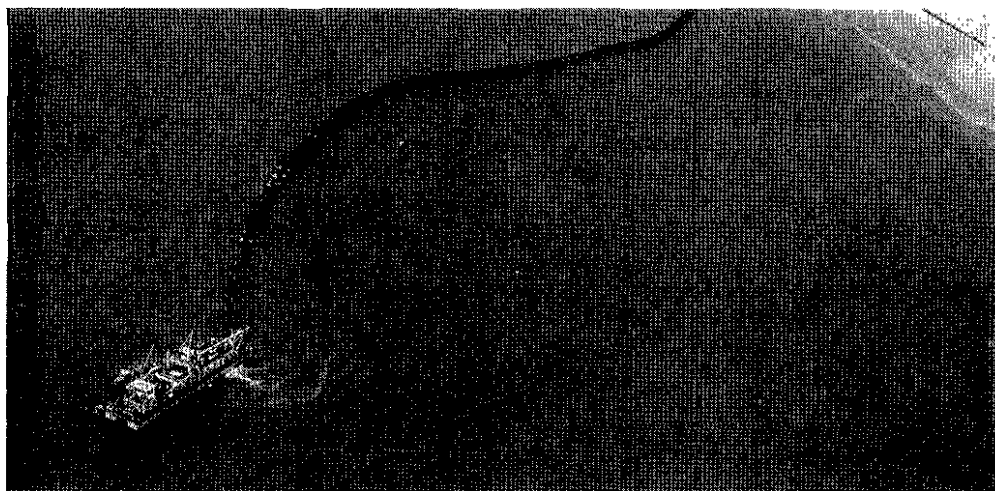
Aanleg van perskaden met be-
hulp van een bulldozer

Fig. 1. Teruggang van de L.W.-
lijn aan de kop van Goeree sinds
het eind van de 17e eeuw





zijn geweest gezien het ongunstige winterseizoen en de vrij lange duur van de uitvoering, namelijk dertien weken. Bij de tweede suppletie, in 1971, werd in 6 weken een hoeveelheid van 600 000 m³ op het strand aangebracht. Het verlies was nu slechts ongeveer 25%. Hierbij moet bedacht worden dat het aan de Kop van het eiland Goeree verloren zand grotendeels ten goede komt aan de aangrenzende kustgedeelten. Als gevolg van de kunstmatige zandtoevoer was de kustlijn in 1971 zo ver zeewaarts verschoven, dat de zeewering ter plaatse tot 1973 voldoende beveiligd was tegen stormvloed. De suppleties compenseren dus wel de achteruitgang van enkele jaren, maar brengen geen wijziging in het erosieproces. De achteruitgang van de kust gaat na de uitvoering van de suppletie dan ook onver-



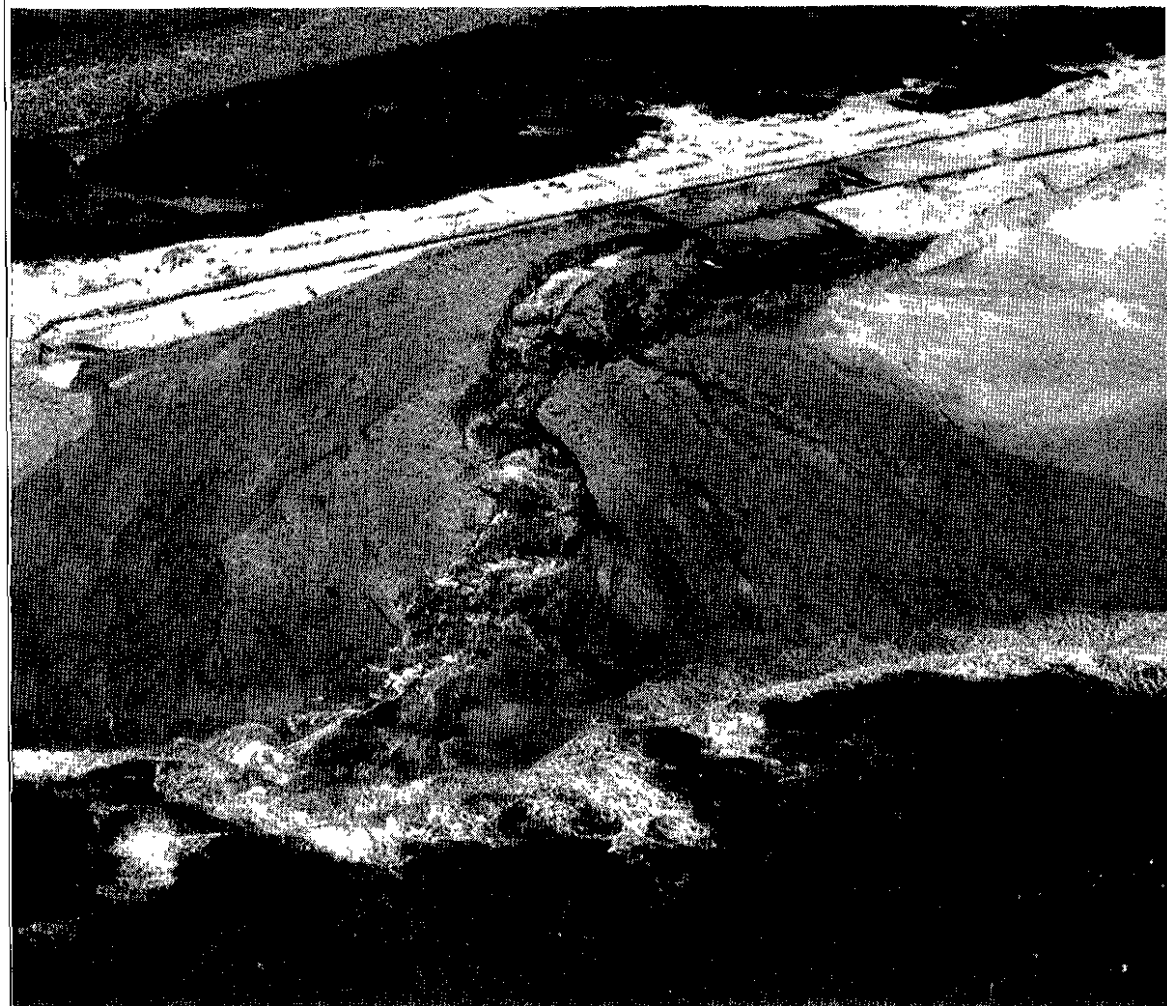
Zandzuiger met drijvende persleiding in het Grevelingenmeer in bedrijf voor de zandaanvulling

minderd door. Dit jaar zal daarom opnieuw een suppletie worden uitgevoerd. Zoals reeds werd opgemerkt zal de erosie van de koppen van de eilanden waarschijnlijk toenemen als gevolg van de uitvoering van het Deltaplan. Bij de Kop van Goeree bestaat sinds de afsluiting van het Brouwershavense Gat in mei 1971 reeds vrijwel de stromings-toestand die men daar bij voltooid Deltaplan verwacht. Afsluiting van de Oosterschelde zal naar verwachting weinig invloed meer hebben op de getijbeweging bij Goeree. Teneinde een goed beeld te krijgen van de wijzigingen die zich voordoen in het geulen- en bankenstelsel voor de kust, wordt de laatste jaren het gehele kustgebied regelmatig nauwkeurig gelood, terwijl bovendien stroommetingen worden uitgevoerd. De veranderingen in de bodemfiguratie blijken, over-

Overzicht van de spuitwerkzaamheden op het strand bij de kop van Goeree. Op de achtergrond is de zanddijk van 1965 te zien

eenkomstig de verwachtingen van de Delta-commissie, in het algemeen zeer langzaam te verlopen. Een uitzondering hierop wordt gevormd door de geul voor de Kop van Goeree. Deze geul, plaatselijk het Schaar genoemd, verdiept zich vrij snel. Dank zij de uitgevoerde zandsuppleties vertoont het strand ter plaatse van het diepste punt van deze geul geen teruggang; wel ontstaat een steiler onderwatertalud tengevolge van de geulverdieping. Blijvende aandacht voor dit kustgedeelte is vereist.

Thans wordt onderzocht of afsluiting van de geul voor Goeree gewenst is of dat een andere oplossing, bijvoorbeeld bestaande in regelmatig uitgevoerde zandsuppleties, wellicht voordeliger en aantrekkelijker is.



De verspreiding van het door de Haringvlietsluizen geloosde rivierwater in de mond van het Haringvliet

Via de Haringvlietsluizen wordt tijdens de laagwaterperiodes regelmatig rivierwater geloosd op de mond van het Haringvliet. Daarbij ontstaat een ingewikkeld stroombeeld, *beïnvloed door het verschil in dichtheid tussen het geloosde rivierwater en het zeewater, de grootte van de rivierafvoer, de geometrische situatie, de getijbeweging, deining en windgolven.* Deze waterbeweging kan men zich opgebouwd denken uit twee componenten, namelijk turbulente menging van het rivierwater met het zeewater en een *gelaagde stroming, waarbij het lichtere rivierwater zich over het zwaardere zeewater verspreidt.*

De theorieën die dit soort gecompliceerde waterbewegingen trachten te beschrijven, zijn veelal maar beperkt toepasbaar, omdat weinig bekend is van het effect der factoren die erop van invloed zijn. Met name geldt dit voor het *mengmechanisme dat zich afspeelt tussen het zoute water van de zee en het zoete water uit het bekken.*

Na de afsluiting van de Oosterschelde zal bij volledige ontzilting van het zuidelijk Deltabekken ook via de in de afsluitdammen te bouwen spuismiddelen zoet water geloosd moeten worden. Een dergelijke verspreiding van zoet water in een zout milieu, maar dan zonder getij-invloed, zal ik elk geval plaats vinden in de beginfase van de ontzilting nabij de Volkerakinsluis en in een later stadium op het traject Keeten-Oosterschelde.

De lozing van rivierwater via de Haringvlietsluizen biedt de mogelijkheid dit soort waterbeweging in de natuur te bestuderen, waardoor het inzicht in de mechanismen die er een rol bij spelen, vergroot kan worden. Om deze reden is aan de zeezijde van de Haring-

vlietsluizen een eerste uitgebreide meting van dit verschijnsel uitgevoerd.

De mogelijkheden om de geschetste gecompliceerde driedimensionale waterbeweging te volgen zijn op *verscheidene wijzen* begrensd. De omvang van de beschikbare meetvloot vormt bijvoorbeeld zo'n beperkende factor. Met behulp van de beschikbare meetapparatuur kan men de richting en de grootte van de stroomsnelheid op elke gewenste waterdiepte meten, alsook de geleidendheid van het water – een maat voor het zoutgehalte –, en eventueel de temperatuur. Meet men op een aantal tijdstippen de verticaal door, dan verkrijgt men een beschrijving van de waterbeweging die kan dienen als basis voor een schematisering in het rekenproces. Veel hangt daarbij af van de plaatskeuze van de meetpunten en van hun aantal.

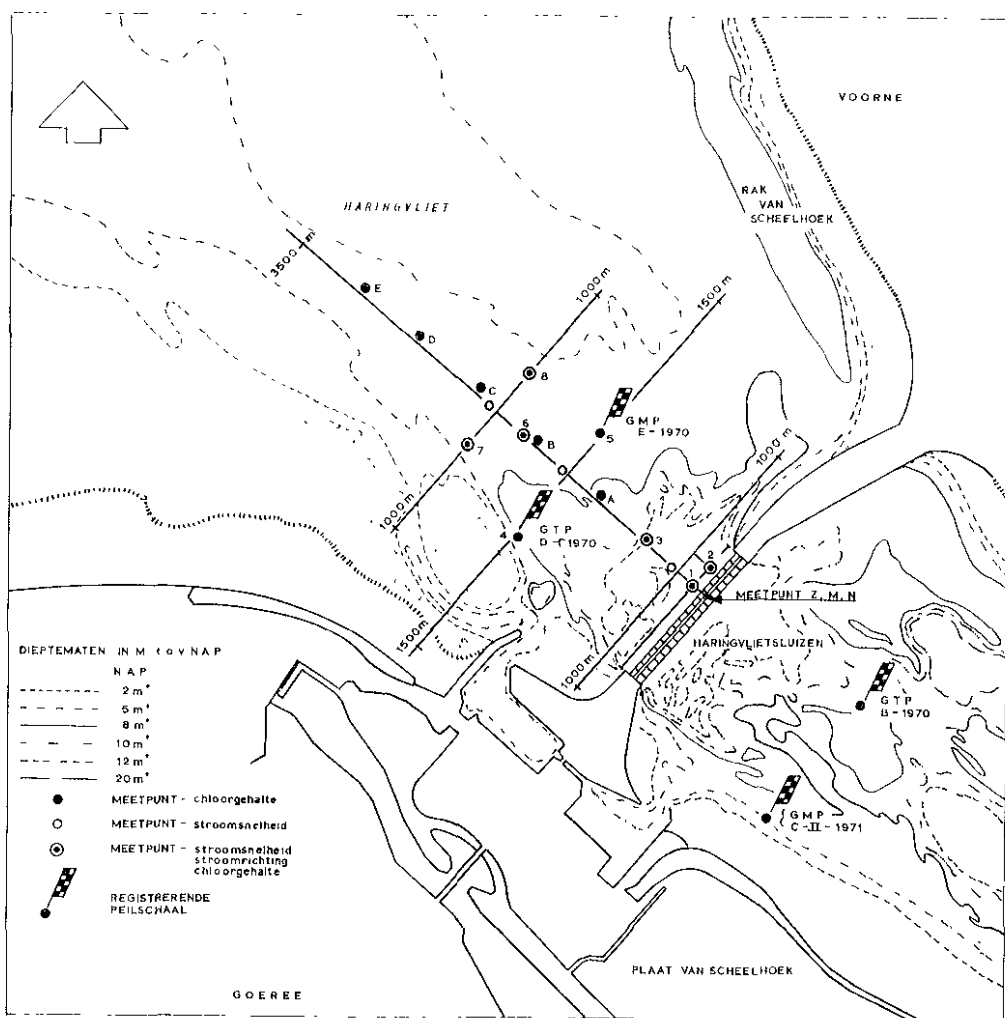
Daarom is van tevoren een schatting gemaakt van de verspreiding van het uitstromende rivierwater, waarvan werd aangenomen dat ze symmetrisch zou zijn. De keuze van de te openen schuiven viel op de sluisopeningen IV, V en VI, die midden voor de hoofdgeul, het Slijkgat, liggen, waardoor een zo symmetrisch mogelijke uitstroming zou worden verkregen. In de meetpunten 1, 2, 3, 7 en 8 (fig. 1) werden zowel het chloridegehalte, als de stroomrichting en de stroomsnelheid gemeten. Verder werd op de meetpalen in de mond van het Haringvliet (meetpunt 4 en 5), het chloridegehalte bepaald; aanvullende zoutgegevens konden verkregen worden in de meetpunten A t/m E met behulp van een meetboot. Het aantal meetpunten was evenwel te gering om een volledig beeld te krijgen van de verspreiding en de daarmee gepaard gaande menging. Om het beeld meer te completeren

werd besloten zo mogelijk gebruik te maken van waarnemingen vanaf grote hoogte die een totaal overzicht kunnen geven. Vanuit een vliegtuig worden daarbij infra-rood opnamen van het gebied gemaakt. Op grond van verschillen in de warmte-uitstraling van het water – die de zwarting op de foto bepaalt – wordt een overzicht van de verspreiding en de menging verkregen. Naarmate het temperatuurverschil tussen het rivier- en zeewater groter is, is ook het contrast op de foto groter en wordt derhalve de mate van menging, althans aan het oppervlak, beter waarneembaar. Naast de zout- en snelheidsverticalen moest dus ook de temperatuur gemeten worden om als referentiewaarde voor de infra-roodopnamen te dienen.

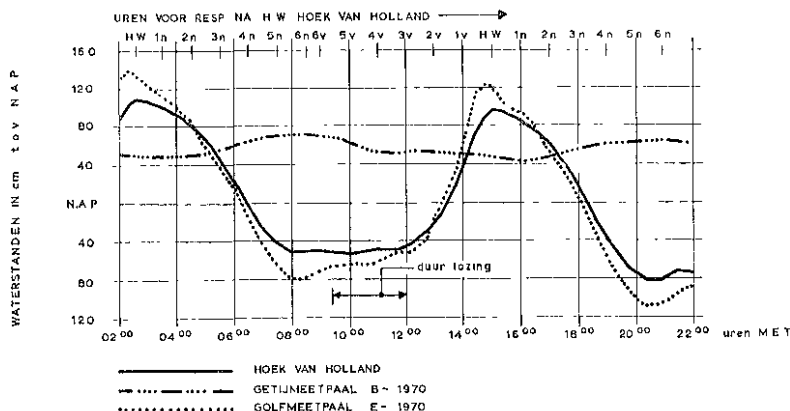
Wilde men zoveel mogelijk profijt trekken van de infra-roodopnamen dan moest de afvoer

Fig 2 Verloop van het verticale getij in een aantal meetpunten op 27 juni 1972

Fig 1. Stelsel van meetpunten voor de vaststelling van de rivierwatersverspreiding over de mond van het Haringvliet



GETIJLIJNEN REGISTRERENDE PEILSCHALEN



van rivierwater aanzienlijk zijn terwijl de totale hoeveelheid te lozen water toch erg beperkt was, omdat de afvoeren van de Rijn regelmatig laag waren. Er werd daarom gedacht aan een afvoer van $\pm 1500 \text{ m}^3/\text{sec}$ gedurende een kortere tijd dan die van een normale spuiperiode. Deze afvoer werd verkregen door de drie genoemde naast elkaar gelegen schuiven 2 m te heffen.

Deze praktische eisen waren goed te combineren met het afzonderlijk opnemen in één meetprogramma van de invloed van het getij en de rivierafvoer op de waterbeweging. De getijkromme bij de Haringvlietssluisen vertoont namelijk in het laatste gedeelte van de laagwaterperiode (fig. 2) een nagenoeg gelijkblijvende constante waterstand. Een lozing gedurende deze periode zou een ongeveer constante afvoer opleveren en tevens de getij-invalide tijdens het lozen uitsluiten. Na de lozing zou dan de getijbeweging zijn invloed doen gelden op de verspreiding. Gezocht werd een lozingsduur van 2 uur.

Meetresultaten

De meting werd uitgevoerd op 27 juni 1972. Het begin van de lozing werd op het laatste moment nog uitgesteld van 9 uur tot 10 uur in de hoop dat de laaghangende bewolking voldoende zou optrekken om de fotovlucht doorgang te doen vinden; helaas gebeurde dat niet. De overige omstandigheden waren gunstig, hoewel er nogal wat deining stond. De wind draaide in de loop van de dag van oost over zuid naar noord, maar de windsnelheden waren laag, met een maximum van 4 m/sec. Tijdens de lozing was de windrichting zuidwest. De temperatuur van het water aan de zeezijde van de uitwaterings-

sluizen was over de diepte constant en bedroeg $16,2^\circ \text{C}$, terwijl de temperatuur aan de rivierzijde varieerde van $18,1^\circ \text{C}$ aan het oppervlak tot $16,3^\circ \text{C}$ bij de bodem. De temperatuur van het afgevoerde water zal dus ongeveer 1°C hoger geweest zijn dan die van het zeewater, wat voldoende zou zijn geweest voor duidelijke infra-roodopnamen. Het chloridegehalte van het rivierwater bedroeg ongeveer $200 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$, terwijl het water in de mond van het Haringvliet een chloridegehalte had dat over de diepte varieerde van 14 000 tot 18 000 $\text{mg Cl}^-/\text{l}$.

De grafiek die het verloop van het chloridegehalte weergeeft langs de stromingsas tijdens de lozing, toont dat (zie fig. 3) de bovenste laag van 2 m vóór de lozing een lager chloridegehalte had dan $16 000 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$. Hier varieerde het chloridegehalte van 14 000 tot $16 000 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$. Dit is deels nog een gevolg van de vorige lozing en deels te danken aan het rivierwater dat van de Rotterdamse Waterweg afkomstig was en tijdens zuidgaand getij via het Gat van de Hawk de mond van het Haringvliet bereikte. Dat dit zoetere water niet door de gehele verticaal gemengd was, laat zich verklaren door het rustige weer. De lage windsnelheden veroorzaakten slechts kleine golven, waarvan de orbitaalbeweging vanwege de relatief grote diepte (8 m in het Slijkgat) nagenoeg wrijvingsloos was en dus weinig menging opleverde. Bij grote windsnelheden zullen hogere golven in de mond van het Haringvliet voorkomen, waarbij de wrijving niet meer te verwaarlozen is en intensievere menging plaatsvindt. Bovendien zal de menging aan de oppervlakte dan nog vergroot worden door het breken van de golven.

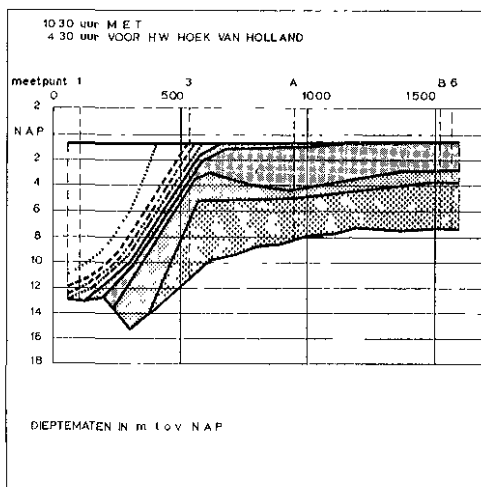
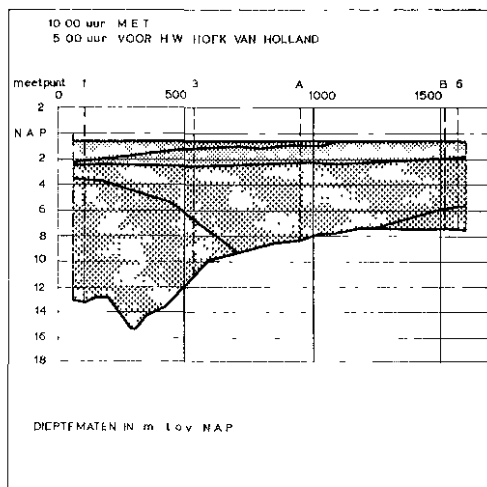
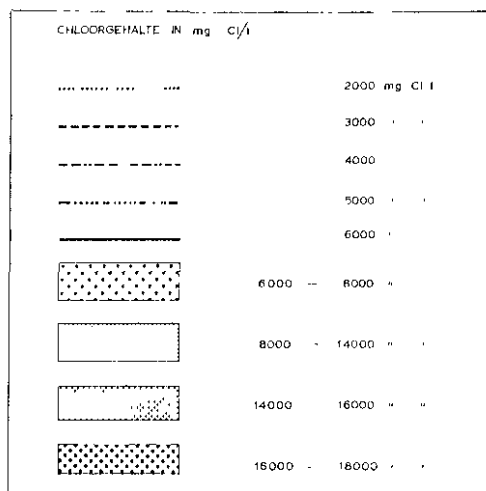


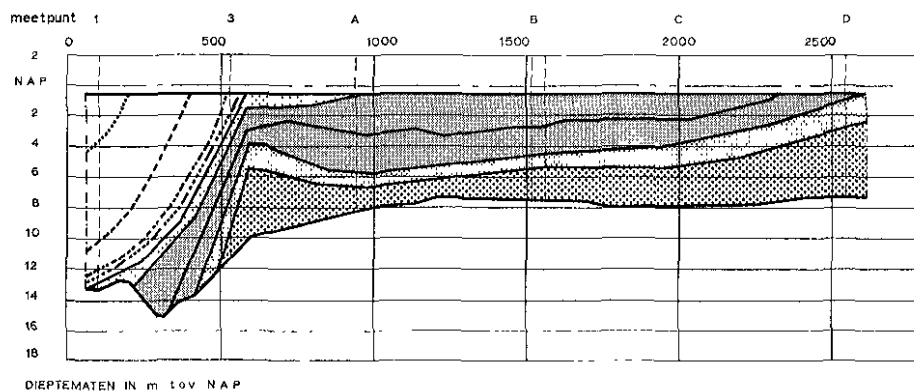
Fig. 3. (p. 230, 231, 232) Verloop van de isohallinen in de as van de Haringvlietsluizen gedurende 5 uren. Meting van 27 juni 1972



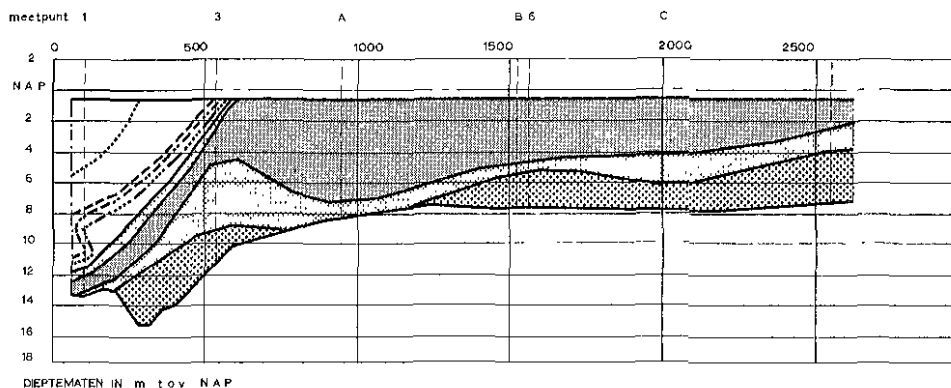
Om tien uur werden de drie schuiven geheven. Aangezien het verval over de sluis vrij groot was, werden de schuiven geheven in twee stappen van 1 m. Desalniettemin werd de oppervlaktegolf die met dit openen gepaard ging, duidelijk geregistreerd op de meetpalen. Gelijktijdig met de oppervlaktegolf ontwikkelde zich een interne golfbeweging, die zich veel langzamer voortplantte. Deze interne golfbeweging is in wezen identiek aan de voortplanting van het zoetwaterfront, die gekenmerkt wordt door de aanwezigheid van een stroomnaad op het water. Het water in de mond van het Haringvliet was op het moment dat de lozing begon, nagenoeg in rust. De zoetwaterstroom, die onder de schuiven uitkwam had een hoge snelheid die echter vertraagd werd door het zeewater. Dit energieverlies van de zoetwaterstroom

vindt enerzijds plaats door menging in de interne 'watersprong', - een in de hydraulica bekend verschijnsel, dat duidelijk zichtbaar is op de betreffende figuren - anderzijds door energie-overdracht op het zeewater, dat door de zoetwaterstroom in beweging wordt gebracht. Dit komt goed tot uiting in de grafieken der chloridegehalten over de stromings-as op de tijdstippen 10.30, 11, 11.30 en 12 uur. De menging bleek bij de watersprong erg sterk te zijn zoals men kan zien aan de afstroming van het brakke water. Doordat het zeewater bij de watersprong in verticale richting werd gemengd en via de bovenlagen tot afvoer kwam, werd er zeewater naar de watersprong toegezogen, waardoor een retourstroming ontstond. De figuren 9 en 10 tonen aan dat er een retourstroom van zeewater in de onderlaag is ontstaan en dat deze

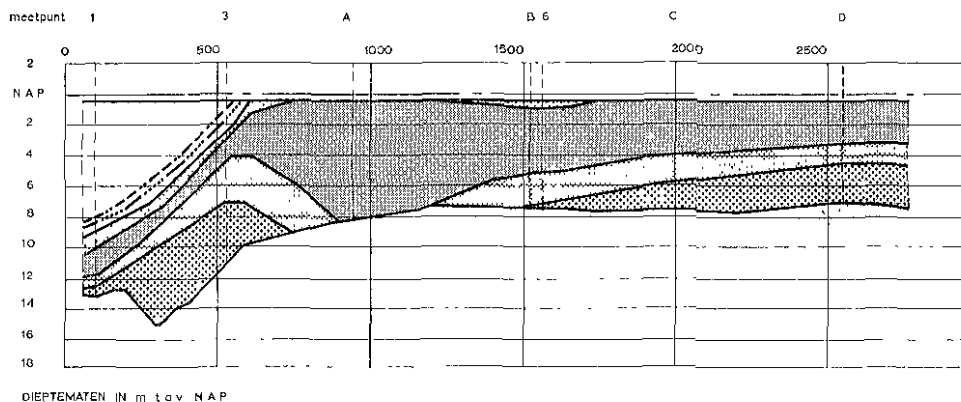
1100 uur MET
400 uur VOOR HW HOEK VAN HOLLAND



1130 uur MET
330 uur VOOR HW HOEK VAN HOLLAND



1200 uur MET
300 uur VOOR HW HOEK VAN HOLLAND



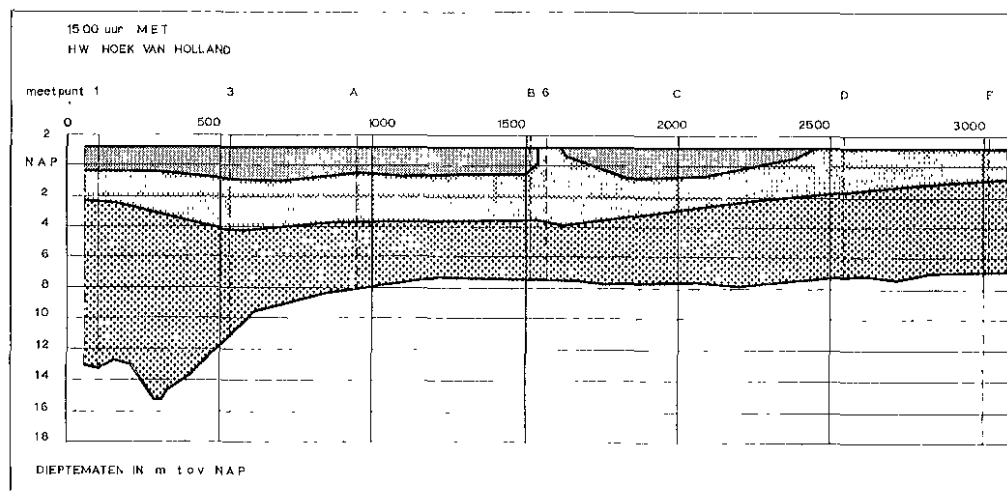
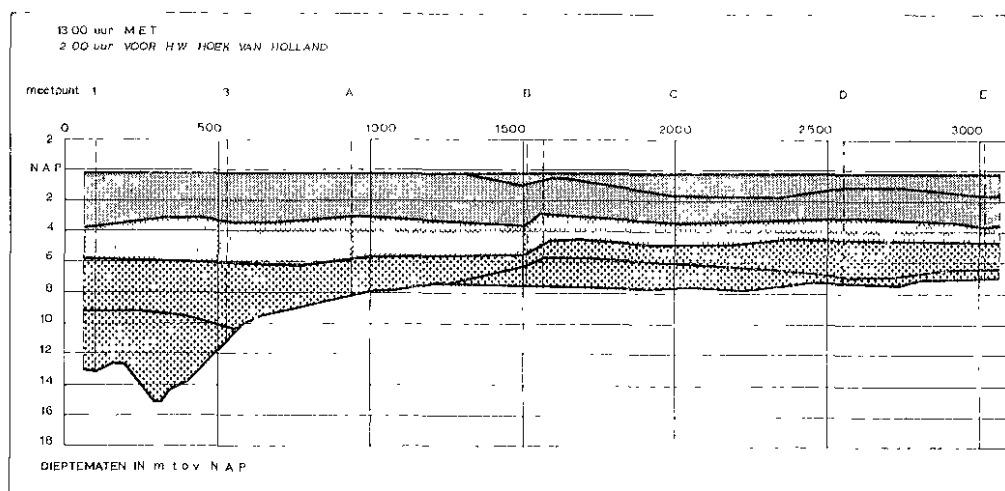
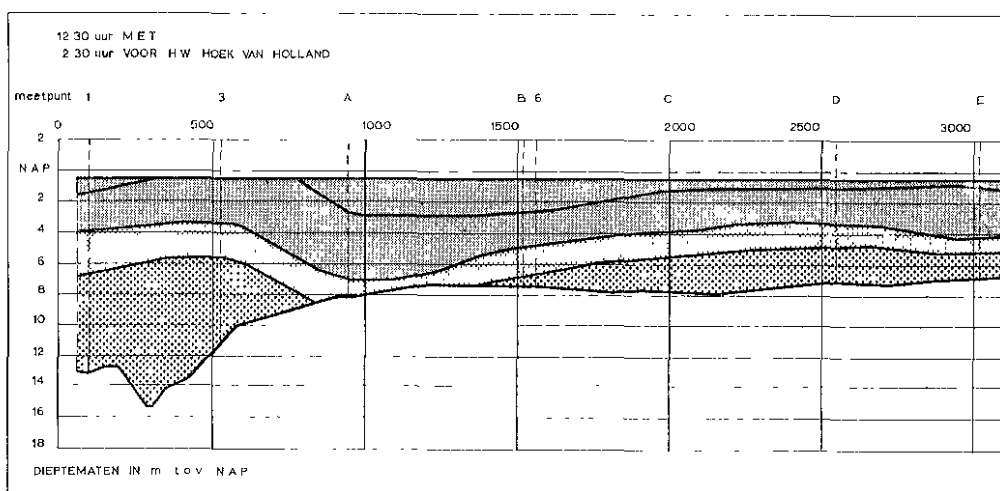
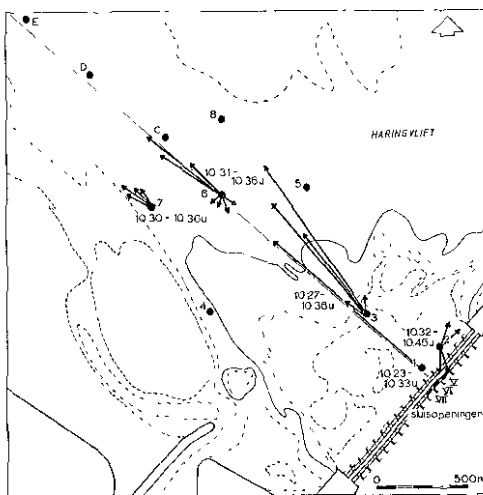
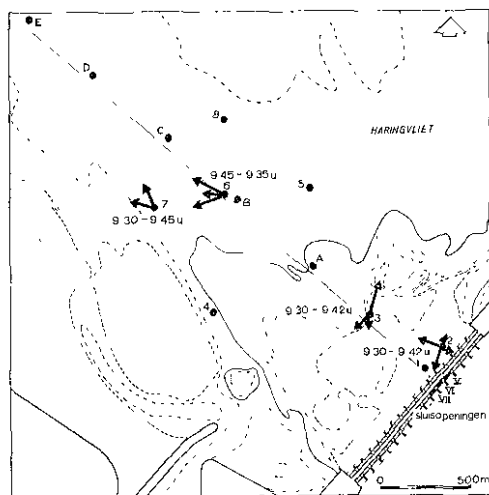
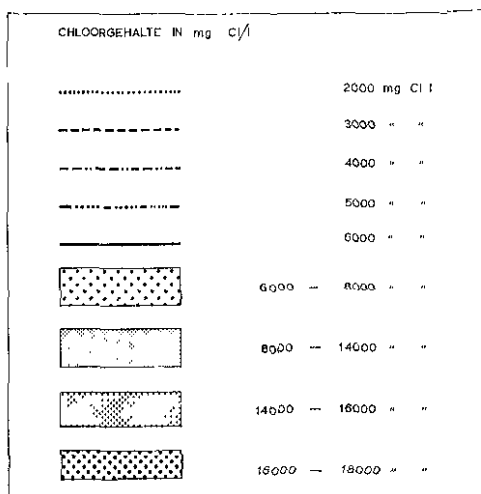
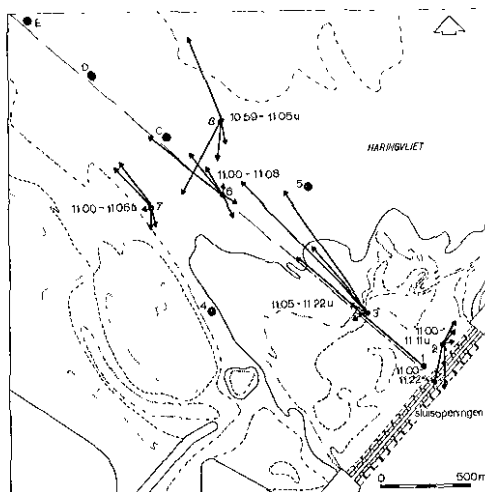


Fig. 4. Gemiddelde stroomsnelheid- en richting over de verticaal in een aantal meetpunten omstreeks half tien, half elf en elf uur op 27 juni 1972



toestroming van zeewater naar de sluis ook zijdelings plaats vond.

Na verloop van ongeveer 1½ uur bleek het zeewater nog alleen zijdelings naar de watersprong toegevoerd te worden en leek de de stromingstoestand stationair te worden. Dit valt ook te bespeuren uit het verloop van het zoutgehalte aan de bodem bij meetpunt 1 (fig. 5). Opvallend is het verschil in het verloop van het zoutgehalte van de meetpunten 4 en 5, die symmetrisch liggen ten opzichte van de stromingsas. Terwijl meetpunt 4, aan de zuidzijde, een nagenoeg volledig gemengde verticaal vertoonde tijdens de lozing, bleek bij meetpunt 5 een sterk verloop in chloridegehalte over de hoogte op te treden. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de zijdelingse toestroming van zeewater aan de noordzijde gemakkelijker verliep, omdat zich



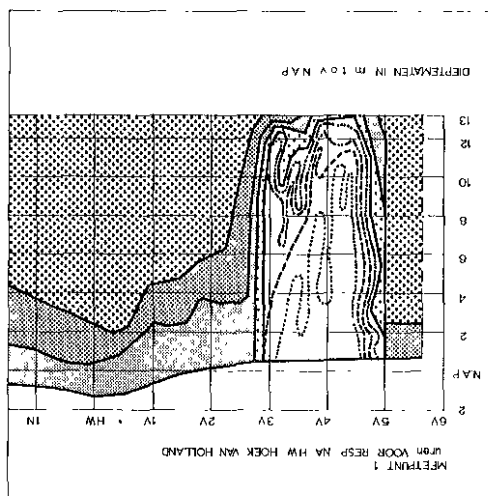
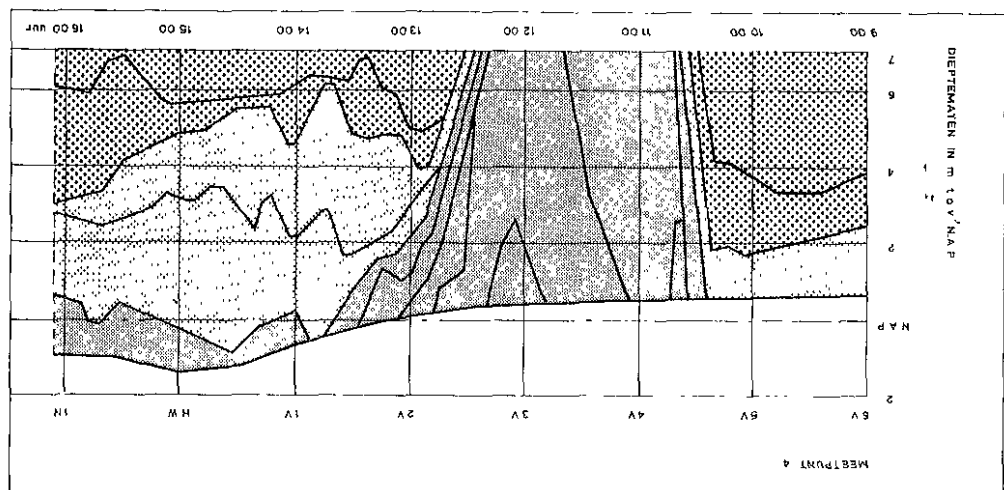
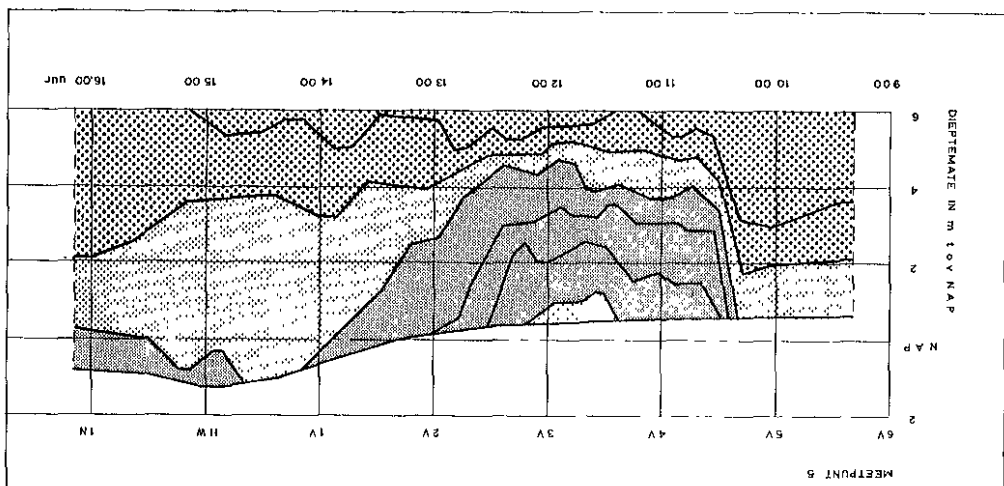
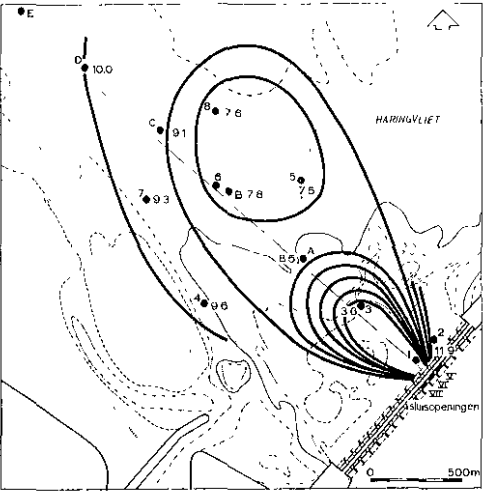
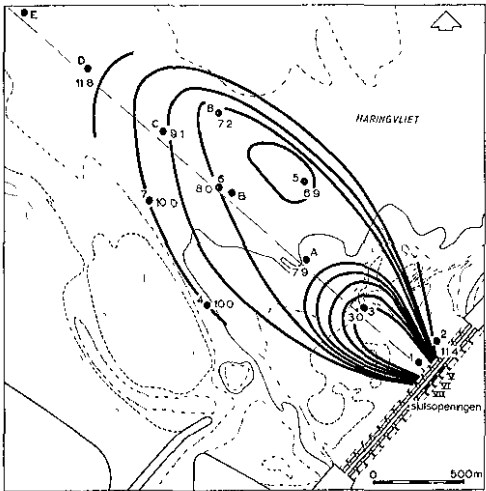
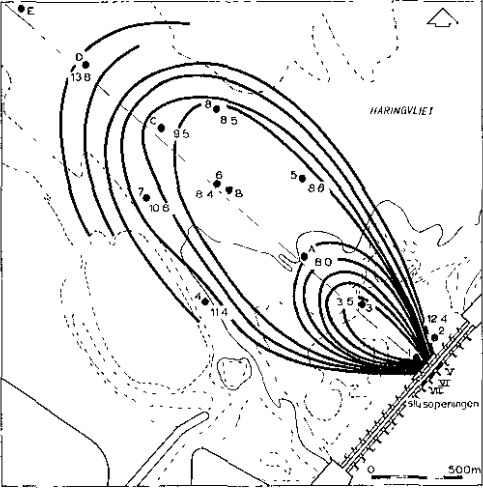
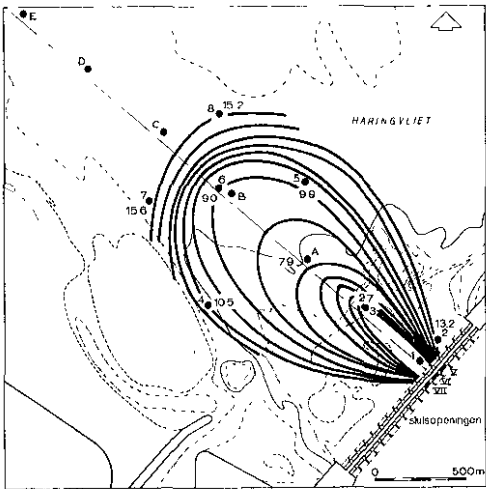
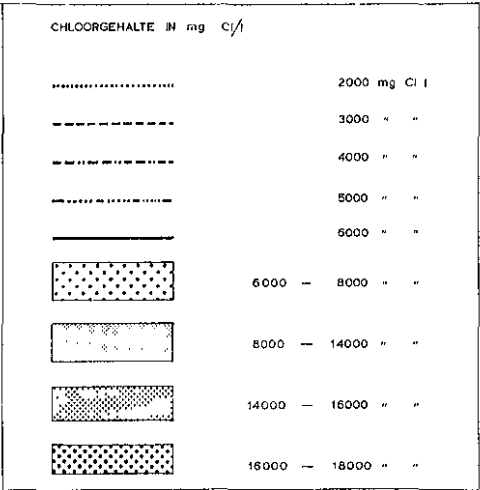


Fig. 5. Verloop van de chloor-
gehalten in een aantal meet-
punten

Fig. 6. Chloorgehalten aan het
 wateroppervlak in 1000 mg Cl⁻/l
 om achtereenvolgens half elf,
 elf uur, half twaalf en twaalf
 uur



daar een dieper gedeelte bevindt dat in verbinding staat met het Rak van Scheelhoek, waardoor ook het zoetere water zich in die richting gemakkelijker kan verspreiden. Dit in tegenstelling tot de zuidzijde, waar zich een platengebied bevindt.

Aan de hand van de gemeten chloridegehalten kan men zich wel een globaal beeld vormen van de verspreiding van het gemengde water tijdens de lozing. Daarbij blijkt dat de hoofdrichting van de verspreiding samenviel met de hoofdas van het Slijkgat en dat in de breedterichting een grotere verspreiding in noordelijke dan in zuidelijke richting optrad. Uitgebreidere informatie hieromtrent is vanwege het niet doorgaan van de fotovlucht helaas niet ter beschikking gekomen.

Om 12 uur werden de sluisopeningen gesloten. De stroomsnelheid van de zoetere bovenlagen in zeewaartse richting nam daardoor af, terwijl de stroomsnelheid van het zee-water in de onderlagen daarentegen in de richting van de sluizen toenam. Dit verschijnsel werd nog versterkt door het opkomen van de vloed. Het verschil in dichtheid tussen het zeewater en de zoetere lagen leidde ertoe dat de dikte van de zoetere lagen afnam, terwijl het oppervlak dat door de zoetere lagen bestreken wordt, steeds groter werd.

Het verspreidingsoppervlak ging zich onder druk van de vloed in noordelijke richting verplaatsen. Ook werd de menging steeds intensiever.

Uit de meting is gebleken dat de lozing van rivierwater een interne watersprong veroorzaakt, die met zeer sterke menging gepaard gaat; het voor de menging in de watersprong benodigde water wordt daarbij vooral zijdelings aangevoerd. Daarnaast is komen vast te staan dat de verzoeting in de mond tijdens de lozing aanzienlijk is, maar dat de zoetere waterlagen na de lozing onder invloed van het getij sterk verspreid en gemengd worden, zodat van het geloosde rivierwater in de mond na enige uren weinig meer in geconcentreerde vorm valt te bemerken.

Het ligt in de bedoeling dit soort metingen regelmatig te herhalen, zoveel mogelijk in combinatie met fotovlucht-verkenningen.

De waterkwaliteit in het Hollands Diep en het Haringvliet in het eerste halfjaar van 1972

Door de afsluiting van het Haringvliet ontstond er op het riviertraject Nieuwe Merwede-Hollands Diep-Haringvliet een nieuwe hydraulische situatie. Het vroegere getijgebied veranderde in een vrijwel stilstaand meer. Deze verandering heeft ook belangrijke gevolgen voor de waterkwaliteit.

Dit artikel handelt over het omvangrijke onderzoeksprogramma dat wordt uitgevoerd om de gevolgen die het Deltaplan er heeft voor het milieu tot in de finesses te leren kennen. Soortgelijk op het milieu gericht onderzoek wordt ook in andere delen van het Deltagebied verricht. Het onderzoek dat in dit artikel beschreven wordt, is het resultaat van de activiteiten van een multidisciplinaire projectgroep, waarin behalve het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater en de Deltadienst, als onderdelen van de Rijkswaterstaat, ook het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, de Directie van de Visserijen, de Regionale Inspectie voor de Milieu-Hygiëne, het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek en het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid vertegenwoordigd zijn. De algemene doelstelling van deze projectgroep is het coördineren en waar nodig op gang brengen of zelf ter hand nemen van het onderzoek naar de kwalitatieve aspecten van het water in het noordelijk Deltabekken sinds de afsluiting van het Haringvliet. Meer in concreto richt de projectgroep zich op de bestudering van de ontwikkeling van de waterkwaliteit in het bekken als functie van ruimte en tijd, en van de inter-relatie tussen water en bodem van het bekken. Zij verricht daarnaast correlatieberekeningen met hydro-meteorologische factoren. Ze beoogt daarmee

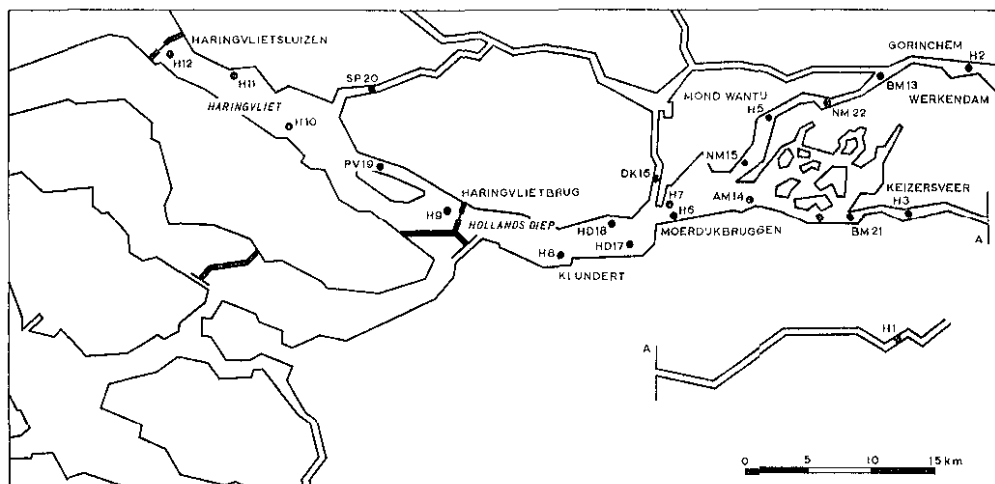
onder meer een bijdrage te leveren tot de verdieping van het inzicht in dergelijke problemen.

Ze brengt van haar bevindingen rapport uit, en op grond daarvan worden adviezen aangeboden.

Als basis van deze taak is in het noordelijk Deltabekken een waarnemingsnet voor het routine-onderzoek opgebouwd, dat jaarlijks circa 100 000 gegevens oplevert. Voor de bewerking daarvan wordt bij de Rijkswaterstaat een datasysteem ontwikkeld.

In dit artikel wordt de kwalitatieve toestand van het water in het Hollands Diep/Haringvliet gezien over de periode januari tot en met juni 1972. Reeds in Bericht 57 (augustus 1971) werd gewezen op het te verwachten spaarbekkeneffect van het Haringvlietbekken, een proces van chemische en biologische zelfreiniging onder invloed van de relatief lange verblijftijd van het water in het bekken. Dit effect zal duidelijker zijn naarmate er minder door de Haringvlietstuizen wordt geloosd. De mate waarin het spaarbekkeneffect optreedt is behalve van de verblijftijd van het water in het Haringvlietbekken, ook afhankelijk van plaatselijke verontreinigingen ten gevolge van de lozing van niet of onvolledig gezuiverd afvalwater, vervuild polderwater en sterk vervuilde watergangen.

De belangrijkste lokale belastingsbron is thans de afvalwaterpersleiding van Breda waardoor 220 000/inwoner-equivalenten worden geloosd. De bouw van de rioolwater-zuiveringsinstallatie van Breda bevindt zich echter reeds in een vergevorderd stadium, zodat deze belasting binnen afzienbare tijd sterk zal worden teruggebracht. De overige rechtstreekse afvalwaterlozingen in het af-



waterend gebied zijn in het algemeen van bescheiden omvang.

De meest vervuilde watergang in het onderzoeksgebied is ongetwijfeld de Donge. Deze watergang, die een vervuilingswaarde heeft van circa 250 000/inwoner-equivalenten, en vermoedelijk ook de Roode Vaart, zijn in de beschouwde periode een omvangrijke belastingsbron geweest. De omvangrijkste belastingen aan polderwater worden op het Hollands Diep uitgeslagen, via de gemalen nabij Strijensas en nabij Numansdorp en de gemalen 'Nieuwendijk', 'Niervaart' en 'Tonnenkreek'. Via het Kanaal door Voorne wordt voornamelijk schut- en lekwater, alsmede polderwater op het Haringvliet geloosd. Gezamenlijk waren deze lokale belastingbronnen in het eerste halfjaar van '72 echter slechts verantwoordelijk voor 3-5% van de totale belasting aan fosfor- stikstofverbindingen en zwevende stof, die in het Hollands Diep/Haringvlietbekken werd binnengebracht. Verreweg het grootste deel van de belasting komt van het rivierwater, aangevoerd door de Boven-Merwede en de Bergse Maas. Volledigheidshalve moet nog opgemerkt worden dat het aandeel van de lokale belasting relatief zal stijgen, naarmate de verblijftijd van het water in het Hollands Diep en het Haringvliet toeneemt.

Het onderzoeksprogramma van de projectgroep is eerder globaal ter sprake gekomen in Bericht 57. Het onderzoek is echter sindsdien geïntensiveerd. Met behulp van meetwagens waarin geautomatiseerde apparatuur is ondergebracht, wordt maandelijks onderzoek verricht bij ongeveer twintig belastende bronnen, vooral gemalen. Met hulp van verschillende waterschappen worden de totalen

van de verontreinigingen bepaald. De meet- en bemonsteringspunten in het ontvangende water zijn zo gekozen, dat ze niet onder directe invloed staan van lokale lozingen. Voorts zijn vrijwel alle meetpunten in de hoofdgeul van het bekken gelegen; zij worden representatief geacht voor het gehele dwarsprofiel. Het fysisch-chemisch onderzoek dat twee-wekelijks plaatsvindt op 23 punten, wordt voor zover mogelijk gedeeltelijk ter plaatse met behulp van geautomatiseerde apparatuur uitgevoerd. De analyse van de monsters vindt plaats in de laboratoria van het R.I.Z.A. en de Deltadienst. Het bacteriologisch onderzoek wordt verricht op 17 plaatsen. De monsters worden in het laboratorium van het R.I.Z.A. onderzocht. Het hydrobiologisch onderzoek vindt in zeven punten plaats, waarbij de monsters in het laboratorium van het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek onderzocht worden op netplankton, nannoplankton en chlorophylgehalten. Het onderzoek naar pesticiden en zware metalen wordt eveneens maandelijks in zeven punten uitgevoerd. Deze monsters worden in het laboratorium van het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid onderzocht. Het onderzoek naar het voorkomen en het gedrag van zware metalen in slib wordt uitgevoerd door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren (Gr.).

Eerder is gesteld dat de kwaliteit van het water in het onderzoeksgebied wordt beïnvloed door de verblijftijd, die afhankelijk is van oppervlaktewaterafvoer en het daaraan gekoppelde programma van lozingen met de Haringvlietsluizen. In de hier beschreven onderzoeksperiode bleven de Bovenrijn-afvoeren beneden de middelbare afvoer. Het

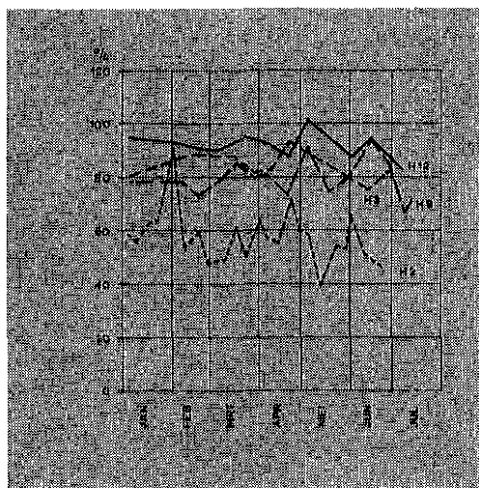
Fig. 1. Overzicht van de meetpunten voor de waterkwaliteit in het noordelijk bekken

beeld dat we op grond van metingen in deze periode geven van de waterkwaliteit, is dus noodzakelijk eenzijdig. Bovendien hangt de kwaliteit van het oppervlaktewater in sterke mate af van fysische, chemische, bacteriologische en biologische processen, alsmede van meteorologische omstandigheden, lozingen en dergelijke, zodat een wetenschappelijk verantwoorde interpretatie over een relatief korte periode slechts een beperkte strekking kan hebben.

Beschouwen we de waterkwaliteit in elk meetpunt als functie van de tijd, dan blijkt dat het Hollands Diep/Haringvliet die kwaliteit op twee manieren wezenlijk beïnvloedt: enerzijds worden tengevolge van menging van het rivierwater met het bekkenwater excessieve waarden afgevlakt; het verloop van vele parameters is in H9 (Haringvlietbrug) en H12 (Haringvlietstuizen) minder grillig dan in H2 (Gorinchem) en H3 (Keizersveer). Het verschil tussen de waarden van vele parameters in H2/H3 en H9/H12 wijst op de andere invloed, die van de fysische en biologische zelfreiniging. Het resultaat daarvan hangt, zoals reeds gesteld is, in sterke mate af van de verblijftijd in het bekken. In het eerste halfjaar van 1972 bedroeg de verblijftijd gemiddeld ongeveer vijf weken.

Ondanks de verdunnende en afvlakkende invloed op het rivierwater blijft een aantal parameters grillig verlopen. In belangrijke mate is dit het gevolg van biologische activiteit, onder meer veroorzaakt door de aanvoer van aanzienlijke hoeveelheden organische stoffen, en voedingsstoffen (o.a. fosfaten). Een dergelijk grillig verloop is kenmerkend voor een jong en weinig stabiel ecosysteem. De zuurstofhuishouding van het water kan

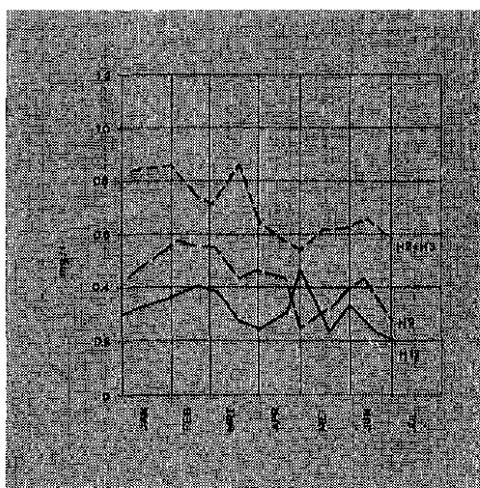
worden vastgelegd met behulp van het zogenaamde zuurstofverzadigingspercentage. Dit kan worden berekend uit het actueel gemeten zuurstofgehalte en de hoogste waarde, die het zuurstofgehalte in het water kan hebben bij de temperatuur en het zoutgehalte, die er op dat moment ter plaatse zijn. In het zuurstofverzadigingspercentage van het water in het Hollands Diep/Haringvliet is de invloed van sneller verlopende bacteriologische processen bij hogere watertemperatuur niet merkbaar. Dit hoeft geen verwondering te wekken, omdat het instromende rivierwater in feite al 'aan de beterende hand' is. Ruimtelijk gezien treden evenwel in de zuurstofhuishouding in het bekken grote veranderingen op. Op het traject Gorinchem/Keizersveer-Moerdijkbruggen verandert het zuurstofverzadigingspercentage maar heel weinig. Dat komt omdat zuurstofproductie door plantaardige organismen en toetreding vanuit de atmosfeer enerzijds en zuurstofconsumptie voornamelijk door bacteriën anderzijds elkaar in evenwicht houden. Tegenover een zuurstofverzadigingspercentage van 40-70% in de Nieuwe Merwede staat een percentage van 70-100% in de Amer. Ten westen van de Moerdijkbruggen neemt de verblijftijd toe en neemt de hoeveelheid afbreekbare organische stof af, terwijl de fotosynthetische activiteit toeneemt. Tegenover de beluchting vanuit de atmosfeer, die tengevolge van de ontvankelijkheid voor de wind van dit bekken zeer aanzienlijk is, verbetert dit de zuurstofhuishouding tot een verzadigingspercentage van gemiddeld 95% nabij de Haringvlietstuizen. Het biochemisch zuurstofverbruik (BOD), een maat voor de hoeveelheid gemakkelijk afbreekbare organische stoffen, vertoont geen duidelijke seizoensinvloed. Dat de BOD-waarde op het traject Keizersveer/Gorinchem-Moerdijkbrug maar zo weinig afneemt wordt grotendeels veroorzaakt door sedimentatie van organisch materiaal dat geadsorbeerd is aan gesuspenderde stoffen. Tengevolge van lozingen van sterk vervuilde riviertjes en afvalwater treden in dit gebied omvangrijke verstoringen van het resultaat van de zelfreinigingsprocessen op. Het BOD-patroon wordt in deze gebieden, waar het aanstromende voedselrijke rivierwater nagenoeg tot stilstand komt, merkbaar gestoord door de opbloei van plantaardige micro-organismen, met name in het voorjaar en de zomer. Gezien de korte duur van het onderzoek kan hierover echter geen uitsluitend worden gegeven. Een dergelijke opbloei betekent niet zonder meer een verslechtering van de waterkwaliteit, omdat vele stoffen, met



name anorganische voedingszouten, dan in organisch materiaal worden omgezet. Deze secundaire belasting op de zuurstofhuishouding kan, voorzover ze niet tot zuurstofuitputting leidt, zelfs een gunstig effect hebben op de waterkwaliteit.

De pH-waarde van het rivierwater is tengevolge van industriële lozingen, die een verzurende invloed op het water uitoefenen, zeer laag. Gemiddeld varieert de pH-waarde in de Nieuwe Merwede tussen 7,4 en 7,7 en in de Amer van 7,6 tot 7,8 terwijl het pH-evenwicht van het water ongeveer ligt op 7,9. Uit het verschil blijkt, dat het water enigszins agressief is. Opslag van rivierwater veroorzaakt een verlaging van de zuurgraad, die onder meer toegeschreven moet worden aan de toenemende fotosynthetische activiteit. De pH-waarde bedroeg in juni 8,5 en nam in de winter weer af tot waarden tussen 7,9 en 8,0. In de loop van de beschouwde periode nemen de gehalten aan orthofosfaat (d.i. het oplosbare fosfaat, afkomstig van kunstmest, uitspoeling faecaliën) en totaal-fosfaat (d.i. de som van het oplosbare en onoplosbare fosfaat) in de stations H2 en H3 duidelijk af, hetgeen overeenkomt met de lagere fosfaatgehalten van het Rijn- en Maaswater in die periode. In H9 en H12 is deze seizoensinvloed veel minder significant. Vergrote biologische activiteit in het voorjaar, zoals bijvoorbeeld de opbloei van kieselwieren, lijkt weinig invloed uit te oefenen op het gehalte aan orthofosfaat.

Ruimtelijk gezien ondergaat met name het totaal-fosfaat omvangrijke veranderingen in het onderzoeksgebied. Significante vermindering van het totaal-fosfaat treedt op in het traject Gorinchem-Moerdijkbrug, in belang-



rijke mate als gevolg van sedimentatie. Over het gehele traject neemt het totaal-fosfaat met 60% af tot waarden die variëren van 0,4-0,2 mg P tot/l.

Het gehalte aan hydrolyseerbaar fosfaat, waarin o.a. de polyfosfaten uit de wasmiddelen, is over het gehele traject vrij laag, aanzien het grootste gedeelte van deze fosfaten omgezet is in orthofosfaat. Het rivierwater bevat veel stikstofverbindingen, en in het bijzonder ammonium. Het gehalte is sterk afhankelijk van de temperatuur van het water; in winter en voorjaar is het hoog (4-6 mg N/l) en in de zomer en herfst relatief laag (1-3 mg N/l). Dit komt omdat de nitrificatie en de omzetting van ammonium in organisch celmateriaal in het voorjaar en de zomer onder invloed van de hogere watertemperaturen toeneemt. Naast ammonium bevat het rivierwater grote hoeveelheden nitraat (ca. 3 mg N/l). Het nitraatgehalte blijft over het traject Gorinchem/Keizersveer-Moerdijkbrug vrij constant.

Het gehalte aan organisch stikstof neemt af, naarmate de beschouwde periode voortschrijdt, en bereikt in juni minimum-waarden. Over het gehele traject Gorinchem/Keizersveer-Haringvliet-sluisen blijkt het gehalte aan organisch stikstof niet noemenswaardig te veranderen. De hoeveelheid detergenten daarentegen neemt evenals het gehalte aan fenolen, over het gehele traject beschouwd af. Karakteristiek voor het traject Gorinchem/Keizersveer-Moerdijkbruggen is het omvangrijke sedimentatieproces. Dit leidt tot aanzienlijke vermindering van het gehalte aan zwevende stof en veroorzaakt daardoor toenemende helderheid. Op het traject Moerdijkbrug-Haringvliet-sluisen is de afname van

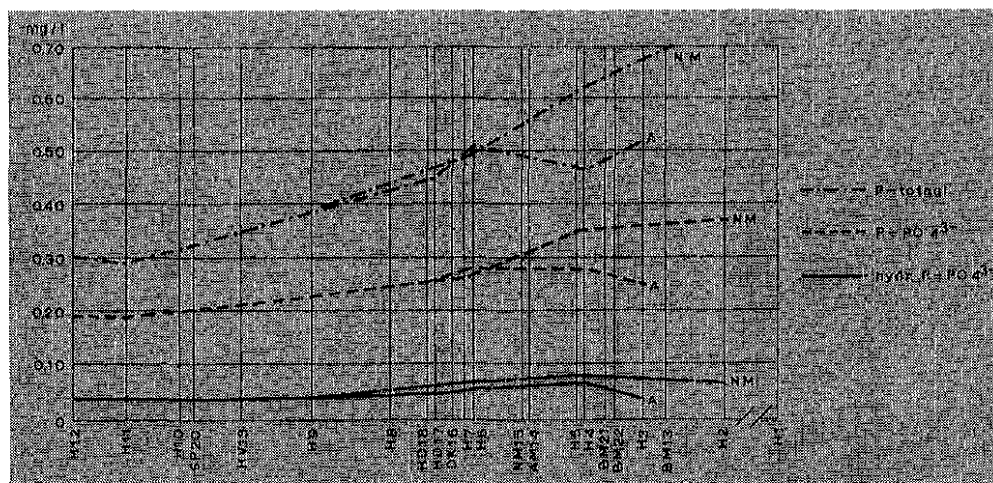
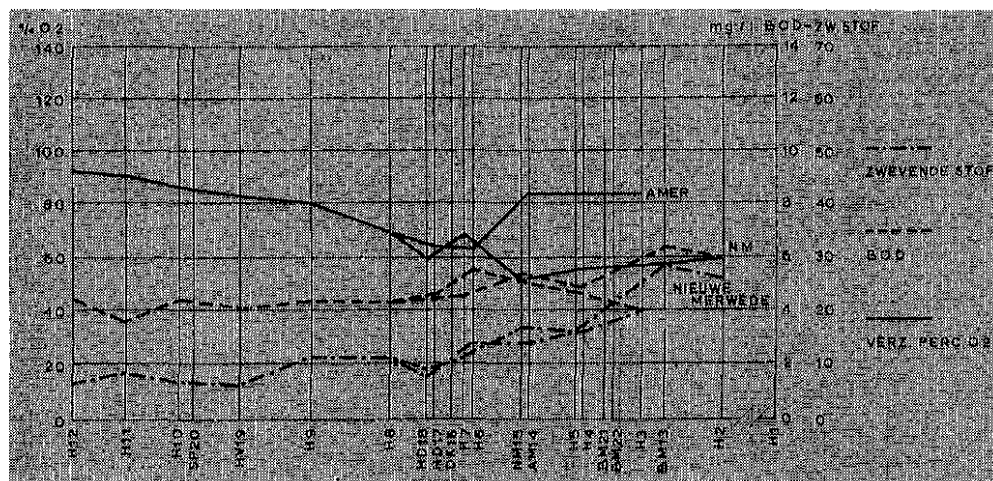
Fig. 2 Verloop van een tweetal parameters in de meetpunten H_2/H_3 , H_9 en H_{12} , gedurende het eerste halfjaar 1972

zwevende stof gering. Deze afname is sterk afhankelijk van de opbloei van plantaardige organismen.

Het onderzoek naar zware metalen, zowel in gecentrifugeerde als ongecentrifugeerde watermonsters is pas in mei 1972 aangevangen. Uit de eerste waarnemingen blijkt duidelijk dat de hoeveelheid sporelementen in ongecentrifugeerd water op het traject Werkendam/Klundert afneemt, vermoedelijk in nauwe samenhang met de sedimentatie van slib. Een uitzondering vormen de metalen arseen en nikkel.

In het gecentrifugeerde water, waaruit de zwevende bestanddelen zijn verwijderd, vindt eveneens afname plaats op het traject BM13-H8 met name van chroom en zink en in mindere mate van lood en kwik. Zo'n vermindering kan bewerkstelligd worden door zeer

Fig. 3. Gemiddeld verloop van een aantal parameters in de periode januari-juni 1972



verschillende fysische, chemische en biologische processen.

Het onderzoek naar het voorkomen en gedrag van zware metalen in het bodemslib in 1972 heeft aangetoond dat er nog geen veranderingen in het mobilisatiepatroon van de metalen zink, koper, chroom, lood en cadmium zijn ingetreden. De veranderingen in de gehalten aan zware metalen in het door de bovenrivier afgevoerde en in de Nieuwe Merwede gesedimenteerde slib blijven zich voltrekken volgens hetzelfde patroon als dat van de periode 1958-1970. Voor de metalen zink en lood werd in de genoemde periode een duidelijke daling van de gehalten in het gesedimenteerde slib waargenomen, welke daling zich ook in 1971 verder voortzette. Bij het element zink was het niveau in maart 1972 ongeveer vergelijkbaar met dat van 1971, terwijl de loodgehalten zich in 1972 nog steeds in een dalende lijn bevonden. Bij koper, chroom en cadmium was er van 1958 tot 1970 sprake van een stijging van het niveau. In 1971 en in maart 1972 blijken deze verhogingen zich verder voort te zetten, met dien verstande dat de toename van chroom in 1972 tot stilstand schijnt te zijn gekomen. Bijzondere aandacht verdienen de gedurende de laatste jaren sterk toenemende cadmiumgehalten in het Rijnslib. De gehalten uit 1958, die reeds als hoog moesten worden gekwalificeerd, zijn sindsdien nog verdrievoudigd. Ook in de Maas-sedimenten worden hoge cadmiumgehalten aangetroffen. Alhoewel het Maasslib over het algemeen minder sterk met zware metalen is verontreinigd dan het Rijnmateriaal, bevinden de cadmiumgehalten in het Maasslib zich, met uitzondering van een tijdelijke verlaging rond 1970, reeds sinds 1958 op het hoge niveau van 1972.

Bij een vergelijking van de zware-metaalgehalten in het bodemslib uit het meest westelijke gedeelte van het sedimentatiegebied met die in het originele rivierslib blijkt dat in maart 1972 bij alle vijf de onderzochte metalen op het traject Biesbosch/Haringvliet nog steeds een duidelijke daling van de gehalten optreedt. Bij geen der onderzochte metalen is in maart 1972 sprake van een verandering in het mobilisatiepatroon, hetgeen wil zeggen dat nog steeds een belangrijk deel van deze metalen van het slib wordt losgekoppeld en in het omringend water in oplossing gaat. De gechloreerde koolwaterstoffen vertonen een zeer grote spreiding, die afneemt in de richting van de Haringvlietsluizen. In verband hiermede is enige voorzichtigheid met betrekking tot conclusies over de concentratieveranderingen geboden.

De vermindering kan het gevolg zijn zowel van sedimentatie, verdamping als omzetting en waarschijnlijk in belangrijke mate van accumulatie in levende organismen.

Met betrekking tot de hydrobiologische toestand valt op te merken dat de verblijftijden in het bekken in het algemeen groot genoeg zijn om de ontwikkeling van fyto- en zoöplankton mogelijk te maken en enige generaties op elkaar te laten volgen. De generatieduur van kiezelwieren (diatomeeën) varieert afhankelijk van lucht- en watertemperatuur van 1-3 dagen, en die van raderdieren van 3-20 dagen.

In januari, februari en maart waren de aantallen van planktonorganismen in het water aanvankelijk laag. De organismen bestonden voornamelijk uit dierlijk-(zoö)plankton en wel uit raderdieren. In april komen nog andere radersoorten tot ontwikkeling naast plantardig-(fyto-)plankton o.a. kleine groenalgen en kiezelwieren. Van een paar soorten kiezelwieren komen grote aantallen in mei tot ontwikkeling, zodat een kleuring van het water plaatsvindt en van een waterbloei gesproken kan worden. In juni verschijnen de grotere zoöplanktonsoorten met enkele watervlo-achtigen.

In het algemeen kan gezegd worden, dat in vergelijking met het eerste halfjaar van 1971 iets meer telbare soorten voorkomen bij overigens vergelijkbare omstandigheden van afvoer, watertemperatuur en lichtdoordringing. Ook verschijnen de soorten ongeveer een maand vroeger. Dit heeft te maken met het nieuwe biologisch evenwicht na de afsluiting en de verouderingsprocessen van het bekken. Uit massabalansstudies in het onderzoeksgebied blijkt dat in de beschouwde periode via de grote rivieren circa 8000 ton P-totaal, 3800 ton $P-PO_4$, 66 000 ton $N-NH_4$, 53 000 ton $N-NO_3$, 600 000 ton zwevende stof en 2860 kg verschillende soorten gechloreerde koolwaterstof werd aangevoerd. Deze belasting draagt gemiddeld voor 95-97% bij aan de totale belasting. Een groot deel van deze stoffen wordt via de Beneden Merwede direct aan het onderzoeksgebied onttrokken. Het netto transport van stoffen naar het bodemslib is dan ook kleiner dan men op grond van de afnamen van verschillende stoffen zou veronderstellen. De accumulatie van totaalfosfaat over het gehele bekken bedraagt 33%; ze wordt voor een belangrijk deel verklaard door sedimentatie. De omzetting van orthofosfaat in andere vormen bedraagt 22%; ze kan gezien de geringe biomassa grotendeels worden toegeschreven aan een combinatie van fysisch-chemische processen, zoals coagulatie, floc-

culatie en absorptie, eventueel gevolgd door sedimentatie. Eenzelfde verschijnsel werd reeds voor aanvang van de defosfateringsproeven waargenomen in het Voedingskanaal naar het Brielse Meer.

Naarmate men meer westwaarts komt zullen naast de fysisch-chemische processen ook biologische processen een rol spelen bij de accumulatie van totaal-fosfaat en de omzetting van orthofosfaat. Op het traject H6/H7-H12 bedraagt de voor het fytoplankton beschikbare hoeveelheid totaal-fosfaat 6000 ton P-totaal en 3345 ton P-PO₄. De bruto belasting per eenheid van wateroppervlak is 35,6 g P tot/m²^{1/2} jaar en 19 g P-PO₄/m²^{1/2} jaar. In dit traject *bedraagt de accumulatie- en conversiefactor 18 respectievelijk 16%*.

Uit de stikstofbalans blijkt dat de brutobelasting aan totaal stikstof in dat zelfde traject per eenheid van wateroppervlak 51,5 g N-N tot/m²^{1/2} jaar en aan anorganisch stikstof – ammonium, nitriet en nitraat – 42,1 g N-(NO₃ + NO₂ + NH₄)/m²^{1/2} jaar bedraagt. Indien wordt uitgegaan van de veronderstelling dat het verschil tussen totaal-fosfaat, orthofosfaat en organisch stikstof volledig in fytoplankton voorkomt – een niet geheel juist uitgangspunt, aangezien er onder andere ook opgeloste organische fosfaten en polyfosfaten zullen voorkomen – dan blijken in de punten H9 en H12 gemiddeld verhoudingen N : P van respectievelijk 9 en 7 voor te komen. Uit onderzoek in verschillende Amerikaanse wateren blijkt de N : P verhouding voor 15 veel voorkomende algen te variëren van 7 tot 15. De voor het Haringvliet gevonden verhouding kan erop wijzen dat, ondanks de overmaat aan fosfaat in het water, geen luxueuze consumptie van fosfaat door het fytoplankton plaatsvindt. De belasting met N en P doet volgens Amerikaanse onderzoeken de trofiegraad van het water niet meer toenemen, wanneer die twee stoffen voorkomen in een verhouding van 15 : 1, of een grotere verhouding. De waterdiepte speelt daarbij geen rol.

De verhouding tussen de N- en P-belasting in H6/H7 bedraagt 21, aanzienlijk groter dan bovenvermelde 15. Deze verhouding neemt vervolgens in westwaartse richting toe. Hieruit moge blijken dat eerder fosfor dan stikstof beperkend genoemd kan worden, terwijl het doorzicht – groter dan 50 cm – vermoedelijk niet beperkend genoemd kan worden voor de *algenontwikkeling*.

De belangrijkste veranderingen in het gehalte aan gechloreerde koolwaterstoffen vinden plaats op het traject BM13/BM21-H8, waar ca. 1050 kg pesticiden uit het water verdwijnt.

In het gehele onderzoekgebied is over de periode 8 februari tot en met juni ongeveer 1315 kg aan pesticiden verdwenen uit het water. Gezien de complexiteit van de processen en de zeer omvangrijke kwaliteitsveranderingen die in het Hollands Diep/Haringvliet-bekken plaatsvinden, zullen deze aspecten nog frequenter en intensiever onderzocht worden en zullen de onderzoeken op lange termijn aangevuld worden met zeer gericht onderzoek, onder andere een diepgaande studie naar de verschijnselen die zich voordoen op het grensvlak van bodem en water.



Het verloop van de waterkwaliteit in het Hollands Diep/Haringvliet in de periode van hoge rivierafvoeren

Sinds de afsluiting van het Haringvliet in het najaar van 1970 wordt de invloed van deze waterstaatkundige ingreep op de kwaliteit van het rivierwater nauwlettend gevolgd. Het vorige artikel geeft daarvan een beeld. De onderzoeksperiode die daar behandeld wordt, kenmerkte zich echter door voortdurende lage Rijnafvoeren.

Nadat tenslotte in de tweede helft van 1972 een periode met hoge Rijnafvoeren is opgetreden, kan thans een meer evenwichtig beeld van de waterkwaliteitsverbetering worden gegeven. Hoge afvoeren blijken de zelfreinigende functie van het waterloopkundig systeem niet langdurig te verstoren.

Bij Bovenrijn-afvoeren tussen de 1700 en 6000 m³/sec passeren toenemende hoeveelheden Haringvlietwater de sluizen; bij afvoeren boven de 6000 m³/sec zijn de sluizen bij eb geheel geopend.

Naarmate de Bovenrijnafvoeren groter worden zal er op het Haringvliet tijdens de ebperiode op zee een toenemende hoeveelheid water door het Haringvlietbekken gevoerd worden. De stroomsnelheden in de Nieuwe Merwede-Hollands Diep nemen dan tijdens de spuiperiode toe en de verblijftijd van het water op het Haringvlietbekken wordt korter. Het effect hiervan op de waterkwaliteit in het traject Nieuwe Merwede-Hollands Diep-Haringvliet kon pas eind 1972 goed worden overzien. Immers eind november van dat jaar, dus twee jaar na de afsluiting van het Haringvliet steeg de Bovenrijn-afvoer voor het eerst tot 5000 m³/sec. Voor, tijdens en na deze hoge afvoer is er in het gebied een intensief monitoringprogramma uitgevoerd.

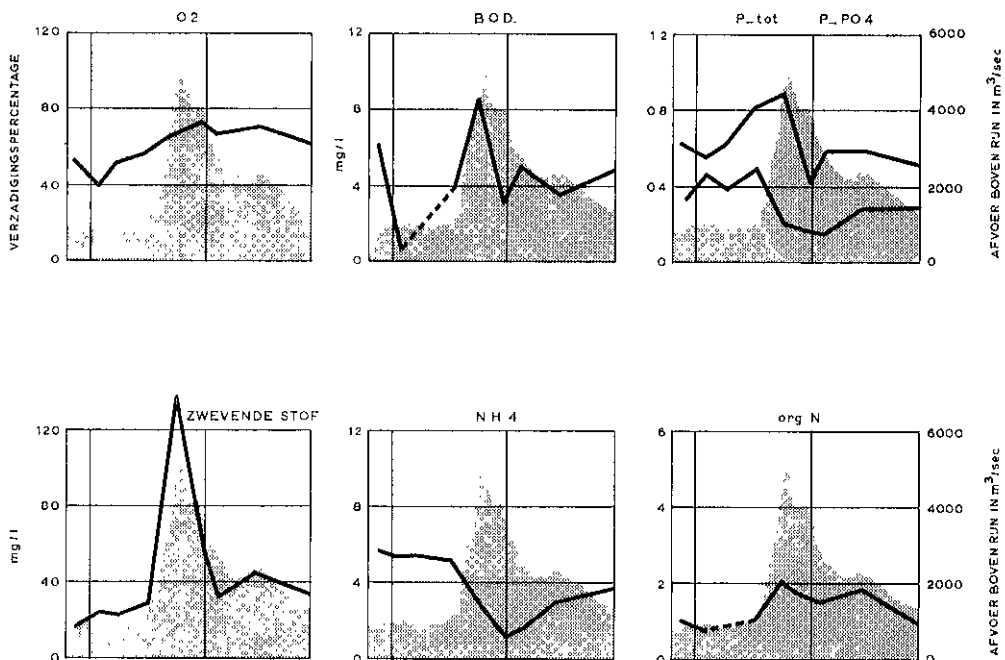
De uitwerking van deze hoge afvoer op de waterkwaliteit doet zich uiteraard het sterkste

gelden op het traject Nieuwe Merwede-Hollands Diep. De verblijftijd van het water wordt hier belangrijk beperkt, en de zelfreinigingsprocessen worden minder omvangrijk, waardoor het water meer het karakter krijgt van dat in de bovenrivieren. Van belang is wel, dat de hier besproken hoge afvoer in de winter optrad. De biologische zelfreinigingsprocessen zijn dan minder actief dan in het voorjaar en de zomer. Daar staat tegenover dat de concentraties aan natuurlijke stoffen in het rivierwater bij hoge afvoeren relatief lager zijn dan bij lage afvoeren.

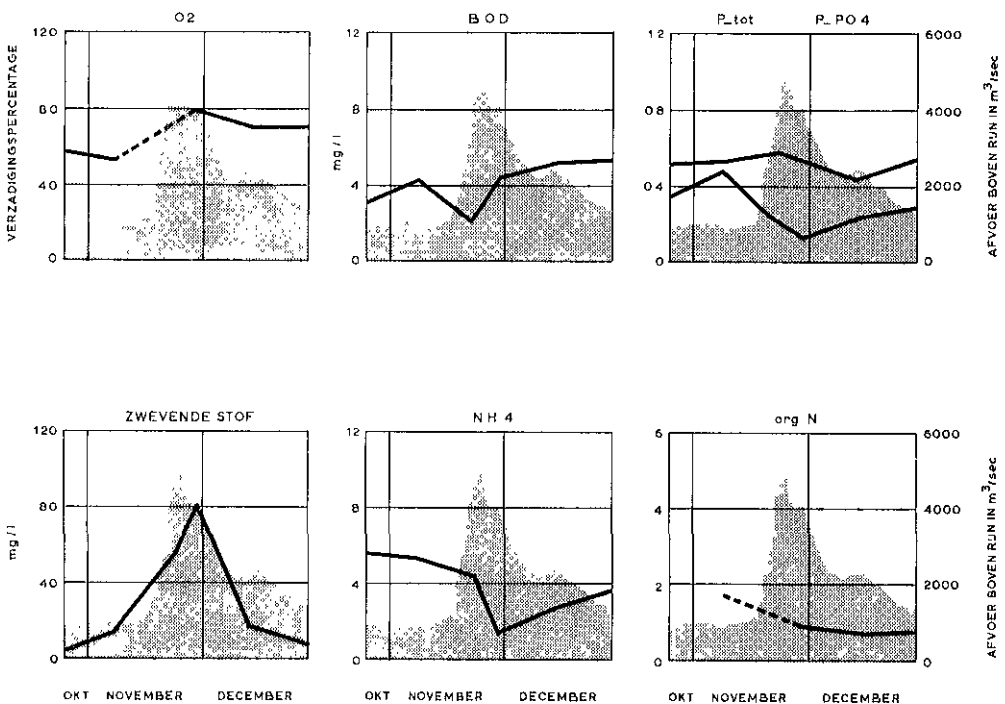
In perioden met geringe neerslag en daarmee samenhangende lage afvoeren verblijft immers een groot gedeelte van het neerslagwater lange tijd in de bodem voordat het in de rivier terecht komt. Het staat daar in nauw contact met de in de bodem aanwezige opgeloste

Fig. 1. Verloop van een aantal parameters in de meetpunten bij Gorinchem, mond Wanty, Haringvlietbrug en Haringvliet-sluizen gedurende de periode met hoge rivierafvoeren

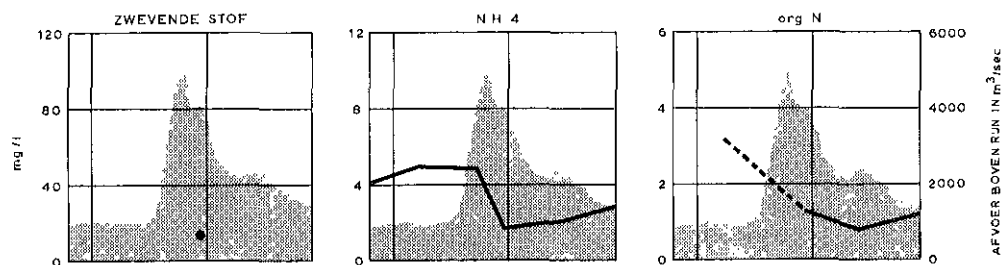
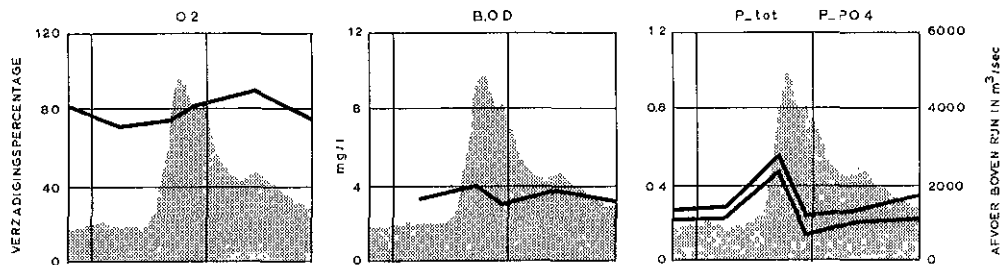
MEETPUNT GORINCHEM



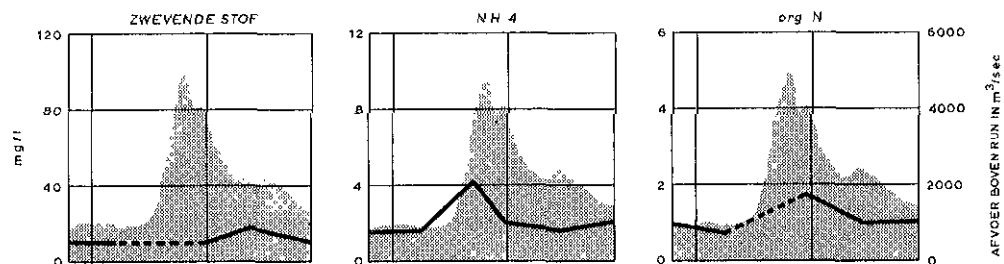
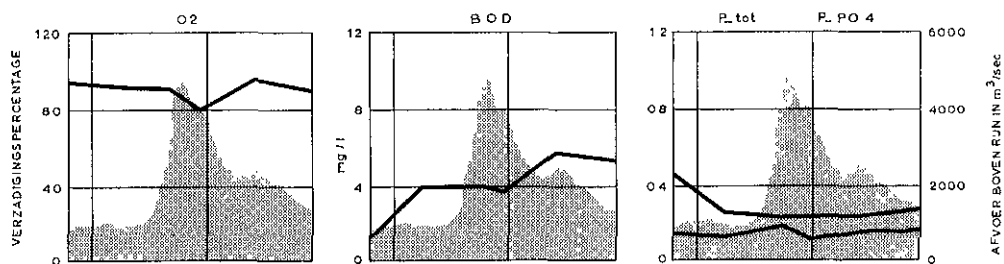
MEETPUNT MOND WANTIJ



MEETPUNT HARINGVLIETBRUG



MEETPUNT HARINGVLIETSLUIZEN



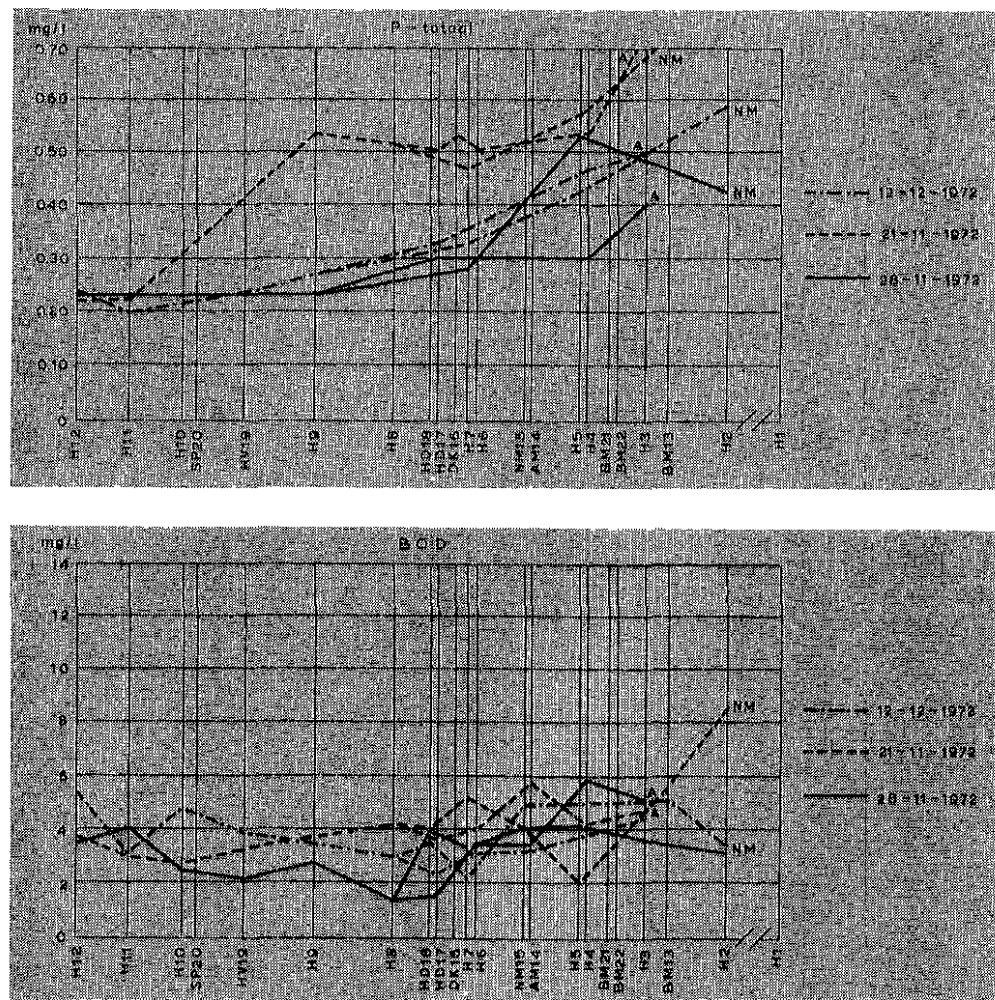
Okt NOVEMBER DECEMBER

Okt NOVEMBER DECEMBER

Okt NOVEMBER DECEMBER

mineralen. Als er een evenwichtssituatie is ontstaan tussen het gehalte aan mineralen in het water en dat in de bodem is de concentratie aan mineralen in het water relatief hoog geworden. Als dit water eindelijk de rivier bereikt wordt het toegevoegd aan een verhoudingsgewijs kleine hoeveelheid rivierwater. Bij hogere afvoeren stroomt daarentegen een groot gedeelte van het water via het oppervlak af naar de rivieren. Het contact met de bodem is minder intensief en de concentraties aan opgeloste mineralen zullen derhalve aanzienlijk geringer zijn. De concentraties aan 'conservatieve' verontreinigingen – stoffen, die tijdens hun transport in het water niet veranderen – verloopt eveneens omgekeerd evenredig met de afvoer. Wel moet worden opgemerkt, dat al zijn de concentraties laag, de afstromende hoeveelheid water

Fig. 2. Verloop van de parameters zuurstof, fosfor, B.O.D. en zwevende stof op drie meetdagen gedurende de periode met hoge rivierafvoeren

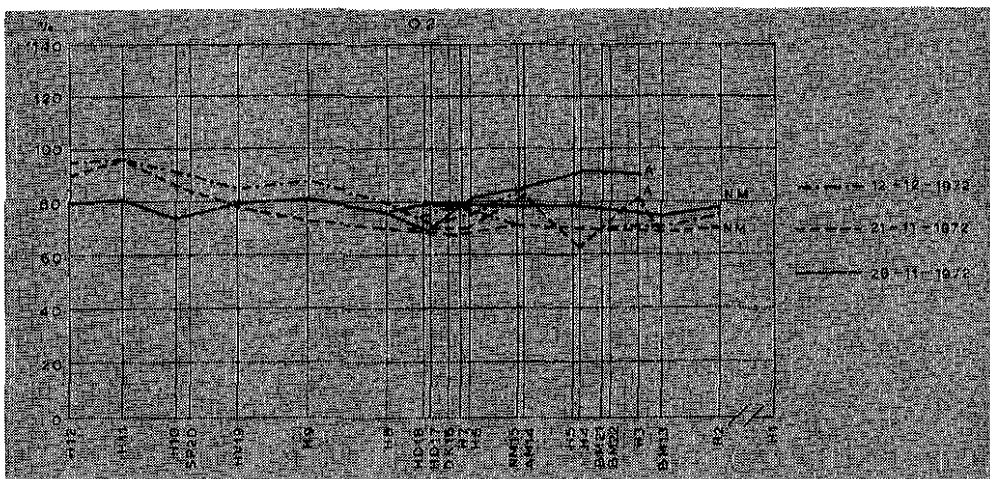
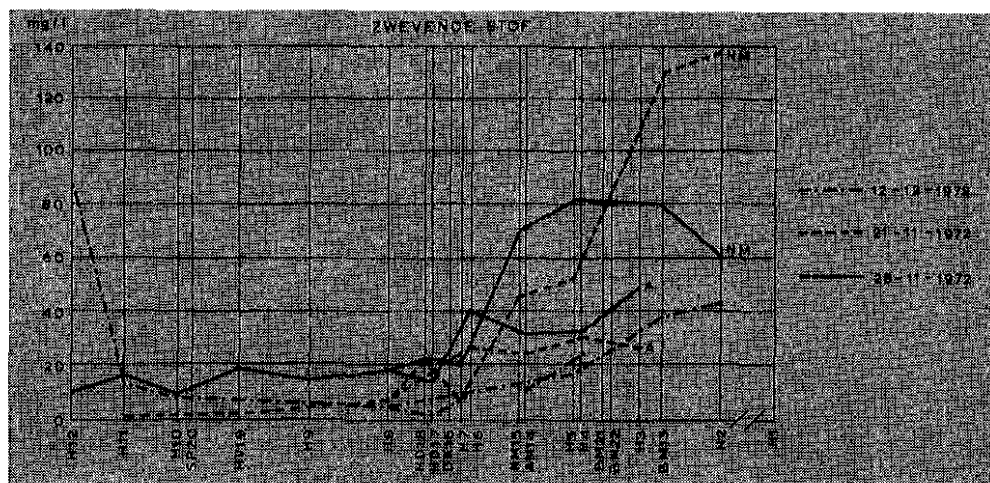


groot is, en dat daarom de absolute belasting toch nog hoog kan zijn.

Bij het verloop van de 'niet-conservatieve' stoffen, – die dus tijdens hun transport in het water wel aan veranderingen onderhevig zijn – speelt een andere factor een rol, en wel de looptijd van het water, die toeneemt naarmate de afvoer afneemt. De toename van de loop- of verblijftijd heeft tot gevolg dat de zelfreinigingsprocessen zich over een korter traject manifesteren. Zo zal bij lage afvoeren direct benedenstrooms van een lozingspunt een hoge graad van bacteriologische verontreiniging en gemakkelijk afbreekbare organische verontreiniging optreden; over een relatief kort traject zullen deze verontreinigingen echter sterk in omvang afnemen. Bij hoge afvoeren daarentegen is de verdunnende werking groter, maar is eveneens de looptijd

korter, waardoor de verontreinigingen zich over een langer traject zullen manifesteren. Het zuurstofverzadigingspercentage zal dan ook bij hoge afvoeren benedenstrooms van een lozingspunt minder snel dalen, maar het effect van het lozen van zuurstofonttrekkende stoffen is over een groot traject merkbaar. Daarbij komt dat de reaëratie, het zuurstoftransport van uit de atmosfeer, sterk afhankelijk is van de waterdiepte en in mindere mate van de afvoer en dus van de stroomsnelheid en de daarmee samenhangende turbulentie in het water.

Ter illustratie kan opgemerkt worden dat de reaëratiecoëfficiënt van een stromende rivier anderhalf tot tweemaal zo groot is als die van een stilstaand meer. Nabij Gorinchem (H 2) vertoont het zuurstofverzadigingspercentage



een stijgende tendens, die reeds aanvangt vóór de periode waarbij de afvoer sterk toeneemt.

Een tweede effect bij plotseling stijgende afvoer is de sterk vergrote afspoeling van verontreinigingen afkomstig van het stroomgebied van de rivier. Vooral na een lange periode van droogte zal een zeer omvangrijke hoeveelheid verontreinigingen de rivier aanvankelijk sterk belasten. Men denke hier bijvoorbeeld aan de belasting met ongezulverd afvalwater via overstorten bij gemengde rioolstelsels.

Een derde effect van hoge rivierafvoer is de toeneming van de stroomsnelheden in de Nieuwe Merwede. Hierdoor kan op de bodem afgezet slib worden opgewerveld. De hoge zwevende-stofgehalten in meetpunt H 2 bij Gorinchem wijzen hierop. Ook de aan het slib gebonden verontreinigingen zullen aan het water kunnen worden toegevoegd. Hierop wijzen de hoge BOD en de hoge totaalstikstof-(Kjeldahl) en totale fosfaatgehalten. Gaat men vanuit de Nieuwe Merwede in de richting van de Haringvlietssluisen, dan blijkt het effect van de hoge rivierafvoer op de waterkwaliteit gaandeweg sterk te verminderen. Er treedt weer een belangrijke bezinking op van de gesuspendeerde stoffen. Dit zal de afname van de BOD, het gehalte aan totaal fosfaat en de toenemende helderheid voor een groot deel verklaren.

Opvallend is dat bij de Haringvlietssluisen bij deze hoge afvoeren geen verhoging van het gehalte aan zwevende stof optreedt. Dit betekent, dat bij deze afvoercondities slechts zeer weinig slib het Haringvliet verlaat.

De slibvangfunctie van het Haringvliet is dus ook bij deze hoge afvoeren nog geheel aanwezig. Het slibgehalte van het water bleek zeewaarts van de sluisen groter dan landinwaarts.

Invloed van de hoge afvoeren op de andere kwaliteitsindicatoren zoals pH, gloeirest, doorzicht en de opgeloste stoffen nitraat en nitriet blijkt nauwelijks aanwezig te zijn. Wel kan opgemerkt worden, dat het ammoniumgehalte na de afvoerpiek slechts half zo groot was als tijdens en voor de piek.

Uit het vorenstaande kan worden opgemaakt dat de waterkwaliteit op de Nieuwe Merwede bij Bovenrijn-afvoeren tot 5000 m³/sec in de winter belangrijk wordt beïnvloed, maar dat het zelfreinigingsproces op het Hollands Diep-Haringvliet nog in volle omvang doorgaat. Bij deze toestand is er bij de Haringvlietssluisen nauwelijks een verandering van de

waterkwaliteit merkbaar in vergelijking met die bij lage rivierafvoeren.

Uit de bijgevoegde tijdsgrafieken blijkt tevens, dat na de afvoerpiek een zeer belangrijke kwaliteitsverbetering van het water in de Nieuwe-Merwede-Hollands Diep optreedt. Het water bereikt dan ongeveer dezelfde kwaliteit als in de periode van lage rivierafvoer voorafgaande aan de afvoerpiek. De rivier is als het ware schoongespoeld. Dit gegeven kan van groot belang zijn voor de programmering van de inlaat van rivierwater door de Volkeraksluisen naar een toekomstig Zeeuwse Meer. In dat geval dient immers gestreefd te worden naar een selectieve inlaat van water van zo hoog mogelijke kwaliteit.

Aanpassingswerken in het noordelijk deel van het Deltagebied

In het noordelijk Deltabekken is na de afsluiting van het Volkerak en het Haringvliet een min of meer afgezwakte getijbeweging overgebleven met een middenstand op een hoger niveau dan voorheen. De gemiddelde laagwaterstanden zijn soms aanzienlijk hoger dan vroeger en de gemiddelde hoogwaterstanden zijn lager dan vóór de afsluiting van het Haringvliet. Deze wijziging van waterstanden heeft verstreckende gevolgen onder meer voor de watervoorziening en de afwatering van de verschillende polders, en voor het gebruik van havens en loswallen. De uitvoering van het Deltaplan maakt het dan ook nodig, voor sommige in het Deltagebied gelegen objecten voorzieningen te treffen en bestaande werken aan te passen aan de nieuwe toestand.

De Deltawet van 8 mei 1958 vermeldt de noodzaak van het uitvoeren van deze werken en voorzieningen, wijst de uitvoerende instanties aan en regelt de bijdrage van het Rijk in de kosten. Artikel 3, lid 2 van deze wet is speciaal van toepassing op de aanpassing van waterstaatswerken in het Deltagebied. Voorzoveel het noordelijk Deltabekken betreft worden in het hiernavolgende enige algemene opmerkingen gemaakt over de aanpassing van waterstaatswerken. In een volgende aflevering zullen enige op grond van artikel 3, lid 2, van de Deltawet aangepaste waterstaatswerken nader worden gezien.

Als voorbeelden van de aanpassing van waterstaatswerken denke men zich de versterking van een polderbemaling, de verhoging van boezemkaden, de wijziging van de uitmonding van rioolwaterafvoerleidingen, het stichten van een gemaal ter vervanging van een vrije polderlozing, de vernieuwing van

een loswal en het verdiepen van een haven. Om voor een bijdrage van het Rijk in aanmerking te kunnen komen moet de aanpassing of de vervanging van het waterstaatswerk in het algemeen belang noodzakelijk of wenselijk zijn.

De aanpassingswerken moeten tot stand worden gebracht door de beheerder. Deze kan zich daarbij doen bijstaan door een adviseur. In de kosten van uitvoering der werken, daarin begrepen de advieskosten, wordt een bijdrage van het Rijk toegekend van 100%.

De minister van Verkeer en Waterstaat bepaalt of en in hoeverre aanpassing van waterstaatswerken noodzakelijk is. Tegen de beslissing van de minister staat beroep open bij de Kroon.

Om te kunnen beoordelen welke waterstaatswerken voor aanpassing onder de beschreven regeling in aanmerking komen is destijds begonnen met een inventarisatie van de in het noordelijk bekken aanwezige werken. Van de bemalingsinstallaties is een overzicht opgesteld waarbij de capaciteit en het type van de pompen en motoren werden vermeld. Voor de capaciteitsbepaling zijn uitgebreide afvoermetingen verricht. Van havens en loswallen zijn de bodemdiepten, aard en constructie van de objecten en de aard en intensiteit van het gebruik vastgelegd. Deze gegevens zijn in het algemeen bepaald naar de toestand per eind 1962. In die tijd zijn namelijk de gegevens bekend geworden over de invloed van de afsluiting van het Haringvliet op de waterstanden in het noordelijk Deltabekken en is aangegeven met welke waterstanden rekening zou moeten worden gehouden bij de aanpassing van waterstaatswerken.

regelen in een bepaalde streek soms worden gecombineerd met plannen tot uitvoering van ruilverkaveling, concentratie van bemalingen, sanering van havenaccommodaties enzovoort.

Om een zo vlot mogelijk overleg te bevorderen is een werkcontact in het leven geroepen. Dat is een overlegorgaan waarin naast de Rijkswaterstaat, de Provinciale Waterstaat en de Cultuurtechnische Dienst vertegenwoordigd zijn.

De door de beheerders en hun adviseurs opgestelde plannen worden in het werkcontact bestudeerd. In overleg met de beheerders en hun eventuele adviseurs worden zonodig wijzigingen in de plannen aangebracht. Als tenslotte over een plan in het overlegorgaan overeenstemming is bereikt, moet de beheerder het ter goedkeuring door de minister van

Verkeer en Waterstaat, indienen bij de regionale directie van de Rijkswaterstaat. Deze dienst zorgt voor de formele afwikkeling van het verzoek, daarin begrepen het toekennen van de rijksbijdrage. De overeenstemming over een aanpassingsplan in het werkcontact garandeert uiteraard niet de goedkeuring door de minister, maar maakt die wel waarschijnlijk. Als norm voor de aanpassing van een gemaal wordt een capaciteit aangehouden van 8 m³/min. 100 ha. Als de capaciteit van een bestaand bemalingswerktuig in de nieuwe situatie daalt tot beneden die norm, dan vindt op kosten van het Rijk aanpassing plaats tot een capaciteit van 8 m³/min. 100 ha. Meestal is de capaciteit van een gemaal hoger dan de genoemde norm en bedraagt ze wel 10 tot 12 m³/min. 100 ha. Wil de beheerder de oude capaciteit terughebben, dan zal dat in dit

Overzicht van de voornaamste aangepaste waterstaatswerken in het noordelijke deel van het Deltagebied.

nummer	object	gemeente
	Goeree-Overflakkee	
A 3/1	gemaal haven van Middelharnis	Middelharnis
A 3/12	gemaal Wittebrug c.a.	Goedereede
A 3/14	gemaal Generale Dijkagie van Stellendam	Goedereede
A 3/16	gemaal Nieuwe Stad en Lieve-Vrouwenpolder	Middelharnis
	Voorne-Putten	
B 3/1	gemaal Oud-Schuddebeurs	Geervliet
B 3/2	haven van Zuidland	Zuidland
B 3/3	gemaal Oudenhoorn	Oudenhoorn
B 3/5	gemaal Polder Zuidoord	Zuidland
	Hoeksche Waard	
C 3/4	haven van Puttershoek	Puttershoek
C 3/6	gemaal Mookhoek en Trekdam	's-Gravendeel
C 3/8	gemaal Lande van Essche	Strijen
C 3/9	gemaal Torensteepolder	Numansdorp
C 3/10	haven van Numansdorp	Numansdorp
C 3/11	gemaal Molenpolder	Numansdorp
C 3/12	haven van Nieuwendijk	Zuid-Beijerland
C 3/17	gemaal Strijensas	Strijen
C 3/18	gemaal polder Oud-Beijerland/ Westmaas Nieuwland c.a.	Oud-Beijerland
	IJsselmonde	
D 3/6	gemaal Waal- en Develpolder	Heerjansdam
D 3/12	gemaal Waterschap De Koedood	Barendrecht
D 3/13	gemaal Oud- en Nieuw Reijerwaard	Ridderkerk
	Alblasserwaard	
H 3/1	gemaal Waterschap De Nederwaard	Nieuw Lekkerland/ Alblasserdam
	Elland van Dordrecht	
I 3/3	Zuidhaven polder De Biesbosch	Dordrecht
I 3/4	gemaal Prinsenheuvel	Dordrecht



De zuidhaven van de polder de Biesbosch, langs de zuid-oostzijde van het eiland van Dordrecht

geval voor eigen rekening van de beheerder moeten geschieden.

Bij de aanpassing van de afwatering van een vrij lozende polder speelt de gewenste capaciteit van de te stichten bemalingsinstallatie eveneens een belangrijke rol. Volgens de geldende norm zal voor het nieuwe gemaal dat de vrije lozing moet vervangen een capaciteit van 8 m³/min. 100 ha moeten worden aangehouden. Het is echter zeer wel mogelijk dat de beheerder een hogere capaciteit wenselijk acht. Bij de uitvoering van het aanpassingsplan zal hij de meerkosten van de hogere capaciteit dan echter zelf moeten betalen.

Er zijn ook gevallen van combinatie van vrije lozing en bemaling. In zo'n geval moet de capaciteit van de vrije lozing worden bepaald. Bij de aanpassing van havens en loswallen

zal de overheid soms wel enigszins regelend moeten optreden. Vele haventjes hebben immers maar een beperkte doelstelling. Moeten al deze haventjes nu worden aangepast? Wellicht is het voor belanghebbenden of de streek beter, dat enkele havens worden aangepast en dan beter dan voorheen geschikt worden gemaakt voor het in de toekomstige situatie te verwachten gebruik. Als er in het Deltagebied goede wegen komen, zal het vervoer per as vermoedelijk stijgen, zodat de behoefte aan vervoer te water daalt. Nieuwe ontwikkelingen in de methode van laden en lossen van goederen en in de bedrijfsvoering kunnen ertoe leiden dat aanpassing voor-namelijk minder gewenste situaties zou con-serveren. Het zou kunnen zijn, dat een streek beter is geholpen met een grondige aanpassing van enkele havens, dan met een eenvoudige aanpassing van veel haventjes en losgelegenheden. Door studie en overleg zal een bevredigende oplossing moeten worden bereikt.

Voor de haventjes die niet op grond van de Deltawet kunnen worden aangepast zullen zich wellicht nieuwe mogelijkheden voordoen. De recreatie is thans van zo grote betekenis, dat door de beroepsvaart verlaten haventjes veelal een nieuwe bestemming kunnen krijgen. Voor het geschikt maken van deze haventjes moeten dan andere financiële bron-nen worden gezocht.

Op de buiten de hoogwaterkeringen langs de benedenrivieren in het Deltagebied gelegen polders en gronden, de zogenaamde buiten-polders en -gronden, is artikel 7 van de Deltawet van toepassing. Dit artikel regelt de verrekening van de wijziging van de waarde van die gronden in de nieuwe situatie ten opzichte van de vroegere toestand. Heeft er een waardevermeerdering plaats gevonden, dan moet de beheerder die aan het Rijk ver-goeden. Vindt er een waardevermindering plaats, dan wordt deze door het Rijk aan de rechthebbende vergoed. Deze materie, die onder de verantwoordelijkheid van de minister van Financiën valt, wordt door de Dienst der Domeinen behandeld. De Rijkswaterstaat is in deze gevallen de technisch adviseur van de Domeindienst.

Industriële bedrijven als scheepswerven kun-nen schade oplopen ten gevolge van de op-getreden wijziging van de buitenwaterstanden. In deze gevallen kunnen voorzieningen wor-den getroffen of schade-uitkeringen worden gedaan in het kader van artikel 8 van de Deltawet. Daarvoor verscheen een uitvoerig artikel in Bericht 57 (augustus 1971).

De watercirculatie in de afgesloten Delta-bekkens is vrijwel geheel afhankelijk van de wind. Gebleken is dat deze circulatie onder de meeste omstandigheden voldoende is voor de zuurstofvoorziening der diepere waterlagen. In zeer diepe, trogvormige meer-gedeelten kan de aëratie van het diepe deel echter van tijd tot tijd problemen opleveren. Met het oog daarop wordt thans in het Grevelingenmeer experimenteel onderzoek verricht.

Natuurlijke en kunstmatige destratificatie in de diepe gedeelten van het Grevelingenmeer

Als gevolg van de gevarieerde bodemfiguratie en de uitgestrektheid van het Grevelingenmeer, en mede dank zij de ligging van de hoofdgeulen ten opzichte van de overheersende windrichting, kan de wind er aanzienlijke circulatiestromingen opwekken, die de uitwisseling tussen water nabij het oppervlak en in de diepere lagen bevorderen. Dit verschijnsel werd afdoende aangetoond met behulp van de door de Deltadienst verrichte stroommetingen, die zijn weergegeven in Bericht 59 (februari 1972).

Door dichtheidsverschillen als gevolg van thermische of chemische verschijnselen kan het uitwisselingsproces echter belemmerd worden. Indien er een windstille periode optreedt, gepaard met een stijging van de luchttemperatuur, kan in de diepere gedeelten thermische stratificatie plaatsvinden. Hierdoor wordt ook het uitwisselingsproces van zuurstof tussen de oppervlaktelagen – het zogenaamde epilimnion – en de diepere lagen – het hypolimnion – aanzienlijk gereduceerd. Biologisch en chemisch zuurstofverbruik kan dan leiden tot zuurstofuitputting, waardoor in het hypolimnion enerzijds rottingsprocessen kunnen gaan optreden en anderzijds mobilisatieprocessen van verschillende elementen vanuit het bodemslib; beide kunnen de waterkwaliteit ongunstig beïnvloeden. Op zichzelf heeft thermische stratificatie geen nadelen voor de waterkwaliteit. Ze kan integendeel zelfs voordelen inhouden: zo verlopen de diffusieprocessen van nutriënten vanuit het hypolimnion naar het epilimnion onder invloed van thermische stratificatie langzamer, terwijl het ook voordelig is dat er een laag beschikbaar blijft met lagere temperatuur. Een nadelig effect is echter de zuurstof-

loosheid ten gevolge van een groot zuurstofverbruik door grote hoeveelheden organische stoffen en nutriënten.

Toen in de eerste week van juni 1972 – dus niet lang na de afsluiting van het Grevelingenbekken – in de Put van Scharendijke en de Geul van den Osse de eerste gegevens werden verzameld die wezen op thermische stratificatie, besloot men in samenwerking met het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek het onderzoek te intensiveren. Al spoedig werd nabij de bodem zuurstofloosheid geconstateerd. De oorzaak van deze anaërobie kan gelegen hebben in de ademhaling van levende organismen, de rotting van dode organismen die zich na de afsluiting in de diepere gedeelten hadden opgehoopt, en de toevoer van organische stoffen in vervuild polderwater en ongezuiverd afvalwater van het gemaal Den Osse en de gemeente Scharendijke.

Het zuurstoffekort in de hypolimnia van zulke putten kan op twee manieren kunstmatig worden bestreden. Bij beide methodes wordt op de bodem van de trog lucht losgelaten door (geperforeerde) buizen. In het eerste geval is het de bedoeling dat er onder invloed van de passage der luchtballen destratificatie van het water optreedt. Er ontstaan daarbij circulatiestromingen over de verticaal, wat een intensief transport van zuurstof uit de atmosfeer naar het wateroppervlak bevordert. De overdracht van zuurstof uit de stijgende luchtballen aan het omringende water is een gunstig nevenverschijnsel, meer niet.

Volgens de alternatieve methode wordt de lucht zo ingebracht in het hypolimnion dat de stratificatie juist niet verstoord wordt. Men-

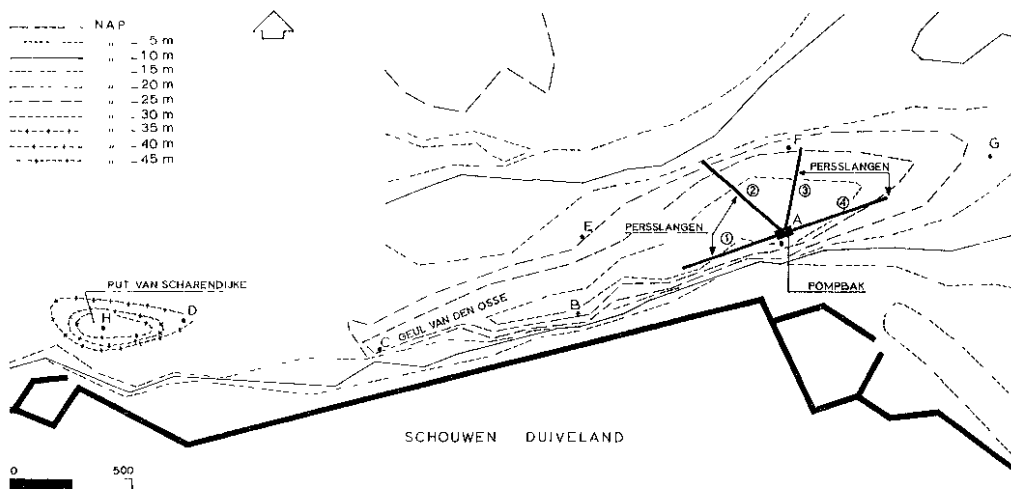


Fig. 1. De pot van Scharendijke en de Geul van den Osse in het Grevelingenmeer

Fig. 2. Stromingspatroon dat wordt opgewekt door het inbrengen van luchtbellen via een geperforeerde buis nabij de bodem

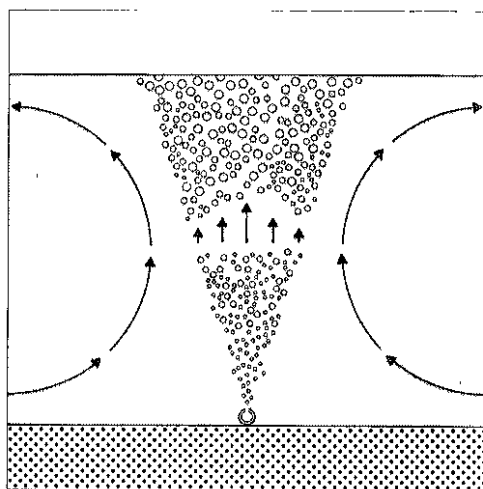
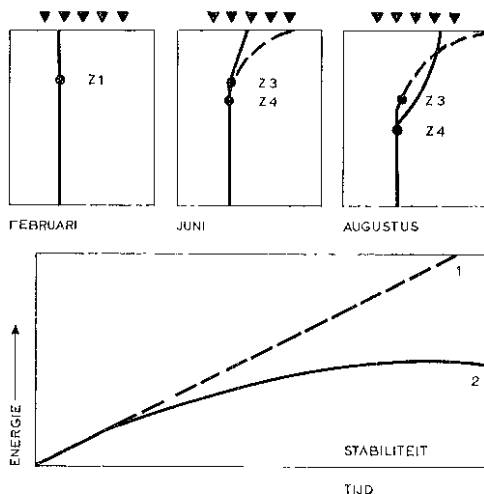
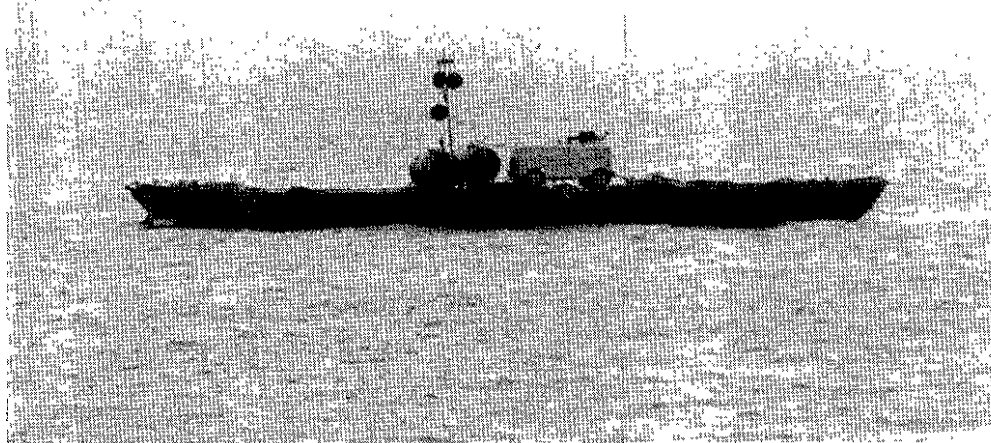


Fig. 3. Schematische voorstelling van het verloop van de stabiliteit van een watermassa onder invloed van verwarming en wind

ging over de verticaal treedt hierbij dus niet op. Het belangrijkste mechanisme is de overdracht van zuurstof vanuit de luchtbellen naar het zuurstofarme water.

Gebruik makend van de omstandigheid dat hier anaërobie optrad in twee dicht bijeen-gelegen putten onder overigens gelijke omstandigheden, heeft men een proef opgezet ter bepaling van het nuttig effect van kunstmatige bestrijding van anaërobie. In één put zou mechanische destratificatie worden toegepast, terwijl in de andere het zuurstofherstel onder invloed van de natuurlijke omstandigheden zou worden afgewacht. De ene put diende dus als controle voor de proef-neming in de andere. Mede op grond van operationele aspecten heeft men ervoor gekozen de kunstmatige destratificatie uit te voeren in de Geul van Den Osse. Als argu-





De compressor-installatie voor de destratificatie-apparaat

Fig. 4. Verloop van de effectiviteit van de destratificatie tussen 18 en 25 augustus

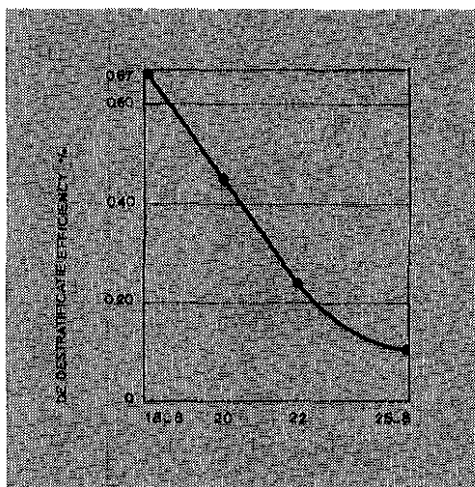
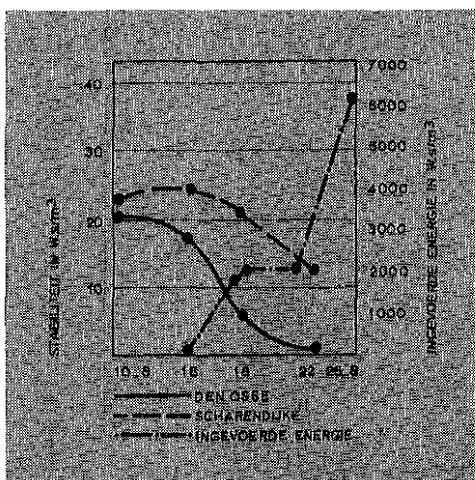


Fig. 5. Verloop van de stabiliteit van het water in de twee putten tussen 10 en 25 augustus



ment voor deze keuze gold vooral dat er in het hypolimnion van de Geul van den Osse een toeneming was waargenomen van zwavelwaterstof en ammonium; tegelijkertijd werd geconstateerd dat het gehalte van een aantal elementen aanzienlijk toenam ten gevolge van mobilisatie vanuit de bodem. Plotselinge omkering van juist deze geul, bijvoorbeeld onder invloed van een storm, zou aanzienlijke schade kunnen toebrengen aan het biologisch milieu in het epilimnion. Bovendien zou in de Geul van den Osse meer ervaring kunnen worden opgedaan met betrekking tot het destratificeren van diepe putten en geulen met behulp van een mobiele installatie. De resultaten zouden dus ook van belang zijn voor de operationele waterkwaliteitsbewaking. De destratificatie-apparaat, geïnstalleerd op een zolderbak, bestond uit

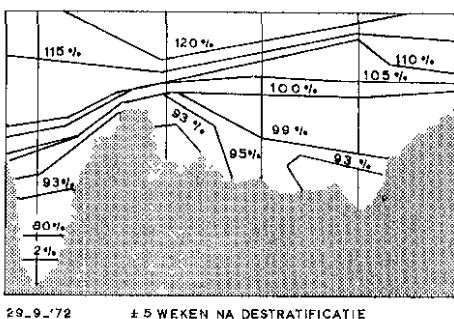
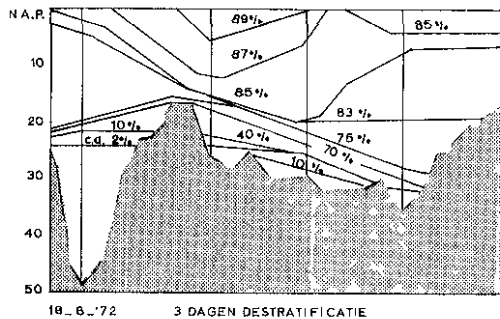
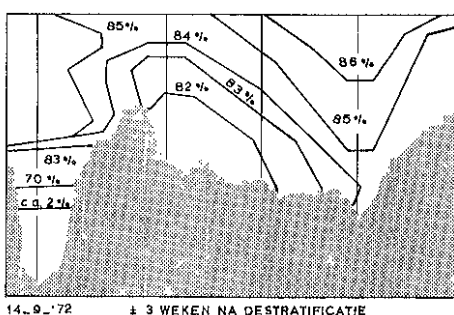
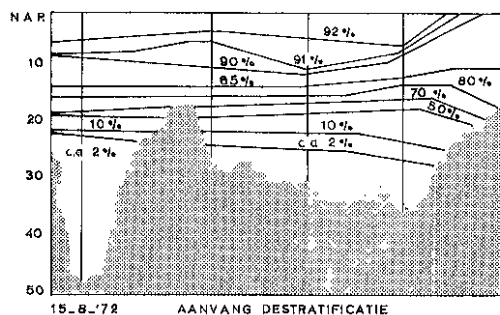
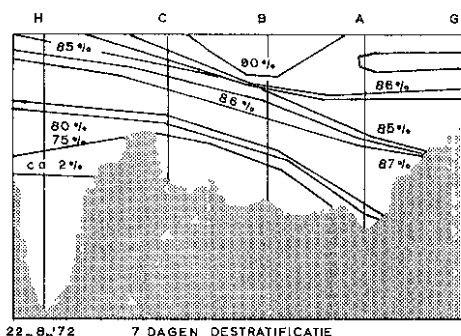
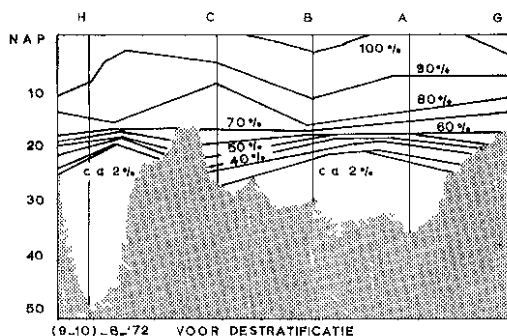
een compressor met een continu vermogen van 34 m³/min. bij 7 atmosfeer en twee olie-tanks; er hoorde verder 1700 m geperforeerde PVC-slang bij, verzwaard met kettingen en ballastblokken en verscheidene boeien ter markering van de installatie.

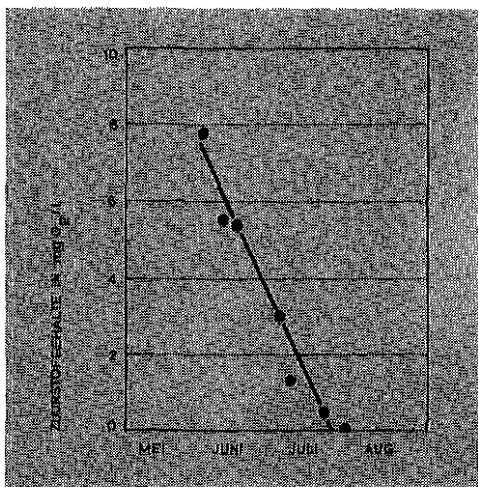
De put van Scharendijke kon gebruikt worden als controleput, omdat die minder gevaar opleverde voor de waterkwaliteit ter plaatse. Het besluit, de natuur hier haar weg ongehinderd te laten vervolgen, leek daardoor wel gerechtvaardigd.

In hydraulisch opzicht kan elke destratificatie geëvalueerd worden door de in werkelijkheid toegevoerde energie die nodig is om een gegeven hoeveelheid water volledig te mengen, te vergelijken met de theoretisch vastgestelde minimale hoeveelheid, nodig om volledige menging te verkrijgen. Dit theo-

Fig. 7. Verloop van het zuurstofgehalte in de beide putten, voorafgaand aan de destratificatie-proef

Fig. 6. Veranderingen in de thermische gelaagdheid van het water in de Geul van den Osse onder invloed van de kunstmatige destratificatie





retisch minimum aan energie, vereist voor een kunstmatige destratificatie, wordt ook wel de stabiliteit van een hoeveelheid water genoemd. Of andersom gedefinieerd:

Onder de stabiliteit van een stratificatie wordt de hoeveelheid arbeid verstaan die moet worden verricht om de totale inhoud van de put te verplaatsen over een afstand die gelijk is aan de afstand tussen de zwaartepunten van de massa in respectievelijk gestratificeerde en isotherme of isohaline toestand. Fig. 3 brengt deze begrippen in beeld. De rechthoek kan worden opgevat als een segment uit een V-vormig meerprofiel. In de eerste rechthoek is het water isothermisch. Het zwaartepunt bevindt zich dan ook ongeveer op 1/3 van de diepte van de waterkolom. Toenemende verwarming van het water nabij het oppervlak veroorzaakt een temperatuurverloop, dat in het schema op twee manieren wordt weergegeven: de gebroken lijn geeft het verloop weer zoals zich dat ontwikkelt volgens de wet van Lambert, hetgeen inhoudt dat de geabsorbeerde langgolfige straling exponentieel met de lichtweg toeneemt, en wel zonder rekening te houden met de invloed van de wind. Bij de getrokken lijn is wel rekening gehouden met de windinvloed. Deze invloed werkt de verschuiving van het zwaartepunt in de gestratificeerde toestand tegen; vergelijk Z_2 (zwaartepunt zonder windinvloed) en Z_3 (zwaartepunt met windinvloed).

Onder natuurlijke omstandigheden is er vrijwel altijd sprake van windinvloed, waardoor de dikte van de warmere laag over het algemeen veel groter is dan op grond van absorptie alleen kan worden verwacht. Hierdoor wordt de werkelijke hoeveelheid energie die

nodig is om volledige menging te veroorzaken, aanzienlijk geringer. De stabiliteit kan behalve door de wind ook in aanzienlijke mate worden verminderd door warmteuitstraling 's nachts en door turbulente diffusie, ten gevolge van bijvoorbeeld het opstijgen van gasbelletjes vanuit het bodemslib. De verhouding tussen de theoretisch minimale hoeveelheid energie en de feitelijk ingevoerde hoeveelheid mechanische energie om destratificatie te veroorzaken, wordt uitgedrukt in een getal, dat men de destratificatie efficiency heeft genoemd. De maximale stabiliteit wordt bereikt wanneer de warme waterlagen het isothermisch zwaartepunt bereiken. Als de watertemperatuur beneden deze diepte stijgt en het water een isothermische staat gaat benaderen, neemt de afstand tussen isothermisch zwaartepunt en zwaartepunt bij stratificatie af, zodat de stabiliteit daalt en tenslotte de nulwaarde bereikt. Dat is de isothermische toestand.

De opeenhoping van organisch materiaal in het hypolimnion heeft tot gevolg dat een massaal mineralisatieproces optreedt, dat een omvangrijke zuurstofonttrekking met zich brengt. Tegelijk wordt nitrificatie teweeggebracht door de bacteriën *Nitrosomonas* en *Nitrobacter*. Voor deze processen zijn zulke grote hoeveelheden zuurstof nodig, dat er zelfs zuurstofloosheid kan ontstaan. In de zuurstofloze toestand gaan zich dan een aantal bacteriologische processen ontwikkelen, zoals denitrificatie, nitraatreductie, sulfaatreductie en methaanfermentatie. De belangrijkste reductieproducten zijn zwavelwaterstof (H_2S), methaan (CH_4), ammonium (NH_4^+), gasvormig stikstof (N_2) en het dissimilatie- en reductieproduct koolzuur (CO_2), dat een verlaging van de pH-waarde veroorzaakt. Dit zuurstofloze milieu raakt bij stratificatie dus opgesloten in de onderste waterlagen van een trog, en kan van daaruit een latente bedreiging van het leven in de bovenste waterlagen vormen. Een tijdige en niet te snel verloopende menging met andere waterlagen kan de dreiging echter opheffen, zoals in het vervolg zal worden getoond.

Begin juni 1972 had zich, zoals gemeld, in het zuidwestelijk deel van het Grevelingenmeer plaatselijk op 15 à 20 meter beneden het wateroppervlak een spronglaag ontwikkeld. Deze spronglaag vormde zich onder het isothermisch zwaartepunt van de beide besproken putten, zodat het absolute maximum aan stabiliteit – waarbij de spronglaag samenvalt met het isothermisch zwaartepunt – niet kon optreden. Als mogelijke oorzaak hiervan kan genoemd worden de invloed van de wind

stratificatie:

aërobie respiratie + mineralisatie: $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

nitrificatie: $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

denitrificatie: $5\text{CH}_2\text{O} + 4\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 5\text{CO}_2 + 2\text{N}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$

nitraatreductie: $2\text{CH}_2\text{O} + \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$

sulfaatreductie: $2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$

methaanfermentatie: $2\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CH}_4$

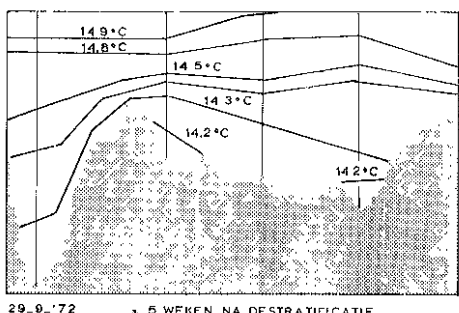
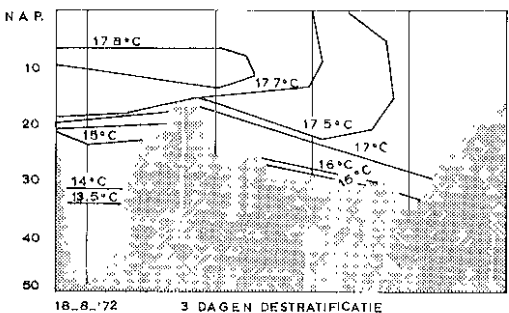
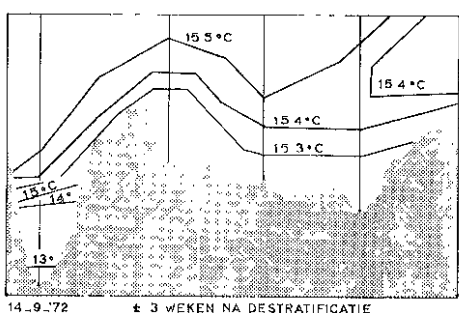
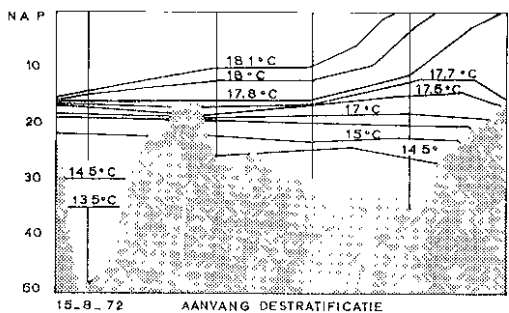
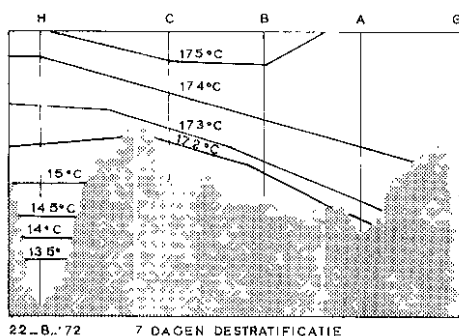
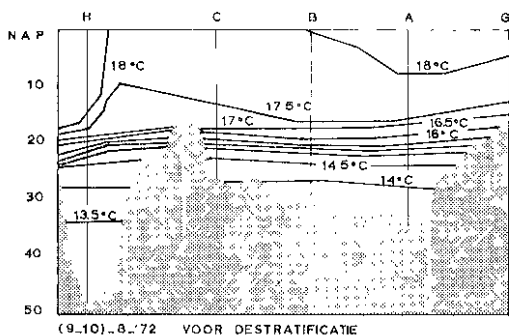
destratificatie

aerobe respiratie + mineralisatie: $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

sulfide oxydatie: $\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$

nitrificatie: $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

Fig. 8. Veranderingen in de zuurstofverdeling over het water in de Geul van den Osse onder invloed van de kunstmatige destratificatie



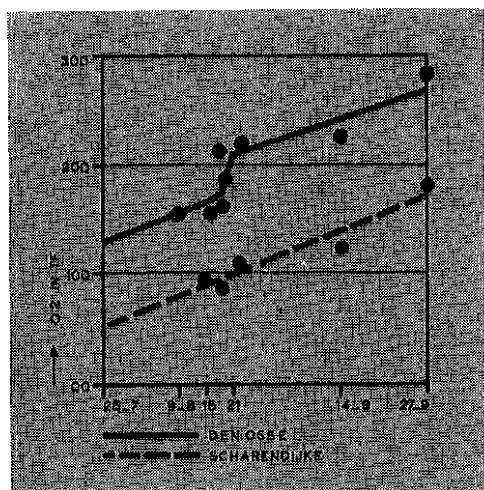


Fig. 10. Verloop van een aantal parameters over de verticaal gemeten op 9 augustus en 7 september 1972 in de Geul van den Osse

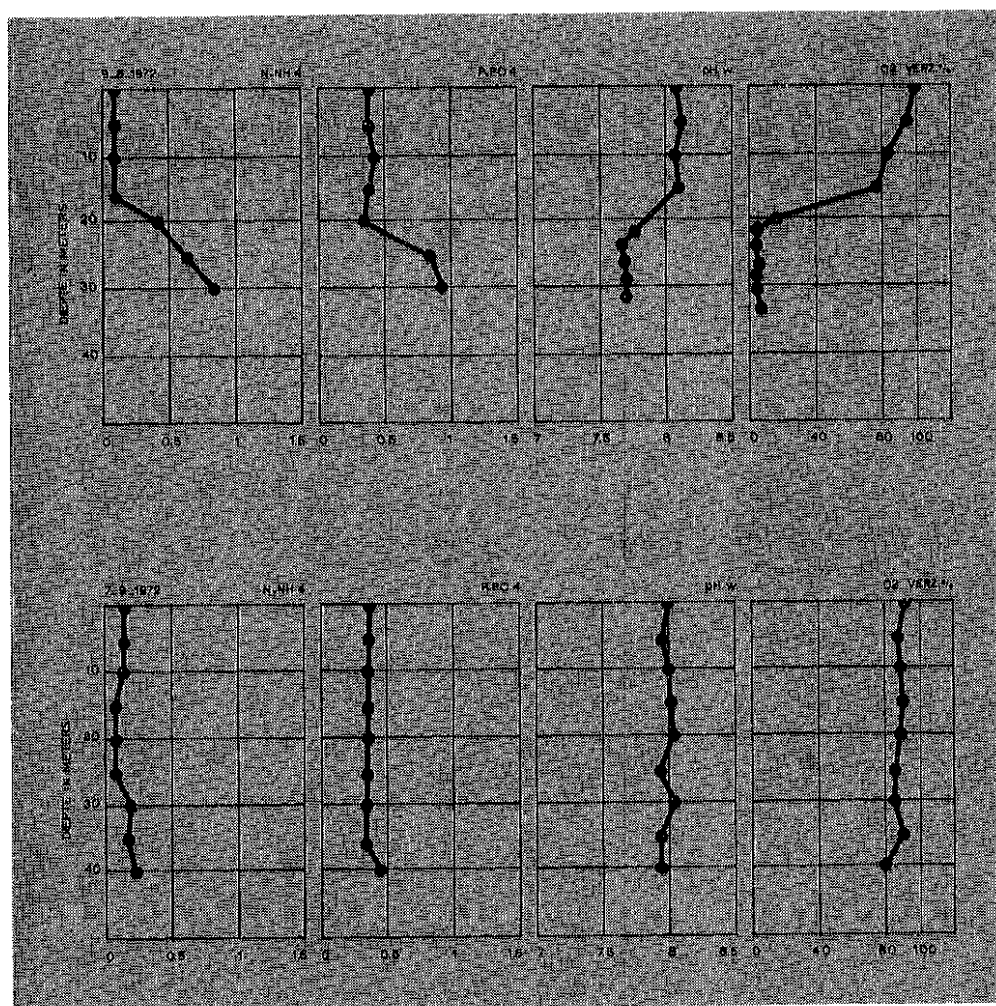
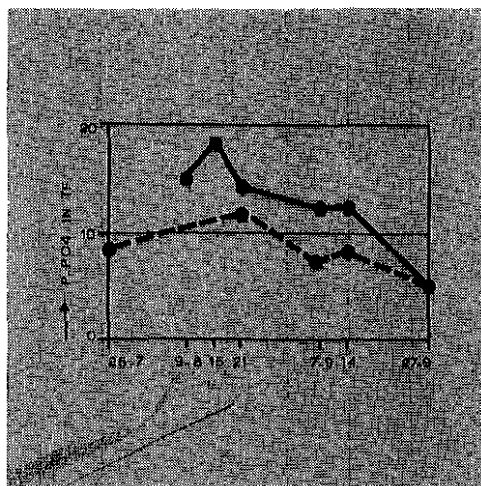


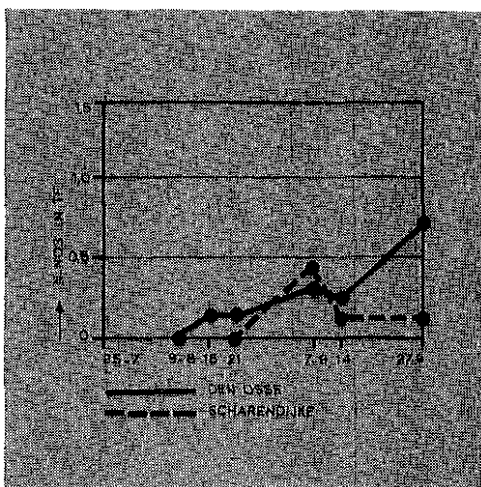
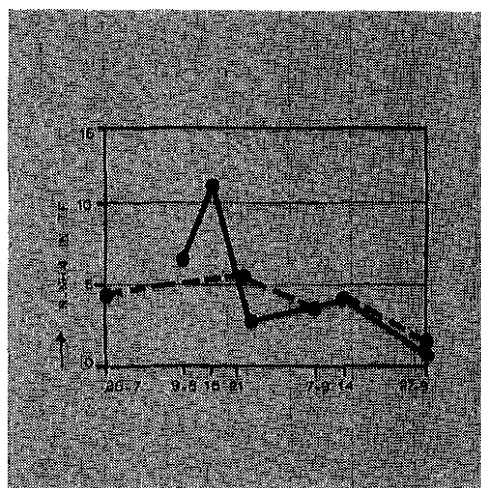
Fig. 11. Verloop van een aantal parameters in de proefput en de controleput



en de geometrie van het gehele meer. De destratificatieproef die van 16 tot 18 en van 21 tot 24 augustus 1972 in de Put van den Osse werd uitgevoerd, veroorzaakte al snel een verlaging van het oorspronkelijke niveau van de spronglaag en leidde op 22 augustus tot een nagenoeg isotherme toestand. Daarbij bleek dat de destratificatie efficiency sterk afnam naarmate de stabiliteit van de stratificatie verminderde. Het lijkt vanuit een oogpunt van rendement dan ook aantrekkelijk kunstmatige destratificaties van korte duur toe te passen.

De plaats van de spronglaag in de controleput bij Scharendijke veranderde aanvankelijk nauwelijks en onderging tenslotte een zeer geleidelijke daling, als gevolg van de invloed van de wind, nachtelijke warmte-uitstraling en turbulente diffusie. Het verschil in het verloop van de stabiliteit per m^3 in beide putten geeft de vermindering van de stabiliteit ten gevolge van de kunstmatige destratificatie weer, uitgaande van de veronderstelling dat de controleput niet beïnvloed werd door de manipulaties met de proefput. De destratificatie efficiency blijkt dan 0,12% te bedragen. Uit fig. 5 valt bovendien af te lezen dat de vermindering van de stabiliteit ten gevolge van de mechanische destratificatie gering is ten opzichte van de vermindering van de stabiliteit onder natuurlijke omstandigheden. Het verloop van het zuurstofgehalte in beide putten werd vanaf juni zeer nauwkeurig gevolgd. Het gemiddelde zuurstofgehalte in het hypolimnion van de controleput bedroeg begin juni 7,8 $mg\ O_2/l$, en was eind juli verwaarloosbaar.

Gemiddeld moet er dus 0,14 $mg\ O_2/l$ per dag verbruikt zijn. Ten gevolge van de destratifi-



catie in de proefput is er een mengproces op gang gekomen van het zuurstofrijke water van het epilimnion en het zuurstofloze water van het hypolimnion. Het resultaat daarvan was, dat er reeds spoedig na de aanvang van de destratificatie een nagenoeg gelijkmatige zuurstofverdeling optrad. De zuurstofverdeling in de controleput verbeterde maar in heel bescheiden mate. Naast een nieuwe verdeling van de zuurstof over de diepte vond ook een versnelde aanvulling plaats, voornamelijk vanuit de atmosfeer. In de proefput nam de absolute hoeveelheid zuurstof dan ook snel toe, terwijl de hoeveelheid in de controleput na een aanvankelijke daling, zeer geleidelijk toenam.

Het rendement van de destratificatie-installatie kan nader worden beschreven in termen van opgenomen hoeveelheid zuurstof per ingevoerde hoeveelheid energie. Bij de huidige proef was dat 1,15 kg O₂ per kwh., een heel behoorlijk resultaat.

De mobilisatie van fosforverbindingen vanuit het bodemslib heeft zich op duidelijke wijze in de hypolimnia gemanifesteerd. Het gehalte aan orthofosfaat in het hypolimnion bleek drie maal zo hoog als dat in het epilimnion, hetgeen niet verklaard kan worden uit de lozingen van ongezuiverd afvalwater door de gemeente Scharendijke of van polderwater bij Den Osse. Tijdens de kunstmatige destratificatie werd de verdeling over de waterdiepte van het gehalte aan orthofosfaat in de proefput gelijkmatig; tegelijk nam de absolute hoeveelheid af. Een en ander kan worden toegeschreven aan een verdunningseffect en aan oxydatie van tweewaardig ijzer tot driewaardige vormen, zodat er weer orthofosfaat chemisch of fysisch werd gebonden en na sedimentatie werd opgenomen in het bodemslib.

In de controleput bleef het fosfaatgehalte in het hypolimnion aanvankelijk toenemen, totdat eind september 1972 een gelijke verdeling over de verticaal optrad, hetgeen een vermindering van het absolute gehalte impliceerde. Deze grotere vermindering van het fosfaatgehalte in de controleput kan verklaard worden doordat het hypolimnion in de proefput naar verhouding groter was dan in de controleput.

De voortgaande rotting onder anaërobe omstandigheden, die tijdens de stratificatie optrad, had eveneens tot gevolg dat mineralisatieproducten zoals ammonium, methaan en koolzuur in het hypolimnion toenamen. Het ammoniumgehalte in het hypolimnion was op een gegeven moment tien keer zo groot als in het epilimnion! De kunstmatige destratificatie

in de proefput had tot gevolg dat er weer een gelijkmatige verdeling van het ammonium over de diepte kwam, terwijl de absolute hoeveelheid ammonium tegelijkertijd zeer sterk afnam, voornamelijk ten gevolge van nitrificatie, aangezien het nitraatgehalte in de beide putten – aanvankelijk zowel in epilimnion als in hypolimnion afwezig – enigszins toenam. Door de accumulatie van mineralisatieproducten, met name CO₂, daalde de pH-waarde van het hypolimnion tot 7,7. De kunstmatige destratificatie had tot gevolg dat de overmaat aan koolzuur snel ontweek naar de atmosfeer, zodat de pH-waarde weer kon stijgen tot 8,1.

Het onderzoek betreffende de hydrobiologische en micro-biologische aspecten werd uitgevoerd door het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek te Yerseke. Daarbij bleek dat in de zuurstofloze hypolimnia geen levend fyto- en zoöplankton voorkwam en dat in zeer korte tijd grote hoeveelheden zwavelwaterstof werden gevormd. Door kunstmatige destratificatie werd in vier dagen alle zwavelwaterstof verwijderd, zonder dat daarbij schade werd toegebracht aan de visstand.

In de Put van Scharendijke werd langs natuurlijke weg in 72 dagen alle zwavelwaterstof verwijderd, eveneens zonder schade voor de visstand. Onmiddellijk na de kunstmatige destratificatie werd een normale verdeling van fyto- en zoöplankton over de verticaal waargenomen.

Aan het hierboven beschreven onderzoek kan als algemene conclusie worden verbonden dat met behulp van kunstmatige destratificatie onder gecontroleerde omstandigheden op verantwoorde wijze in korte tijd een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit in een diepe put kan worden bereikt. Een andere vraag is, of men vaak een beroep zal hoeven te doen op deze techniek. De natuur zelf blijkt, zij het iets langzamer, voor herstel van evenwicht te zorgen, ook in diepe troggen.

In de op 28 mei 1973 door de Minister-President uitgesproken regeringsverklaring is de volgende zinsnede opgenomen:

'De Minister van Verkeer en Waterstaat zal de Kamer op korte termijn een nota over alle aspecten van de Oosterscheldewerken voorleggen. In deze nota zal de instelling van een commissie worden voorgesteld die de mogelijkheid zal onderzoeken om de noodzakelijke bescherming tegen stormvloed in overeenstemming met het behoud van het natuurlijk milieu te brengen. De nota zal behalve over de taakomschrijving ook een voorstel doen over de samenstelling van de commissie.' Inmiddels is op 29 juni 1973 de 'Nota Oosterschelde' door de minister van Verkeer en Waterstaat aan de Kamer aangeboden. In deze nota wordt naast de huidige problematiek met betrekking tot de Oosterschelde tevens de taakopdracht en de functionele samenstelling van de commissie behandeld.

De commissie, die beperkt van omvang dient te zijn zal de Minister van Verkeer en Waterstaat rapporteren met betrekking tot alle veiligheids- en milieuaspecten die bij de Oosterscheldewerken in het geding zijn. De commissie zal de bestaande mogelijkheden moeten bestuderen en hieruit die oplossing dienen te kiezen die beide belangen – veiligheid en milieu – het beste dient.

De commissie zal de Minister van Verkeer en Waterstaat adviseren inzake de vraag of en in hoeverre het Deltaplan volgens zijn oorspronkelijke opzet zou kunnen of moeten worden aangepast en of en in hoeverre de Deltawet hiertoe zou moeten worden gewijzigd.

Het ligt in de bedoeling dat de commissie uiterlijk 6 maanden na haar installatie advies zal uitbrengen aan de Minister van Verkeer en

Waterstaat. Dit advies zal openbaar gemaakt worden.

Inmiddels hebben zich bereid verklaard in de Commissie zitting te nemen:

Mr. J. Klaasesz, oud-Commissaris van de Koningin in de provincie Zuid-Holland (Voorzitter);

Prof. ir. J. L. Klein, oud-buitengewoon hoogleraar in de waterbouwkunde te Delft en oud-hoofddirecteur van de provinciale waterstaat in Zuid-Holland,

Prof. dr. P. G. Fohr, hoogleraar in de waterzuivering te Wageningen;

Prof. dr. D. J. Kuenen, buitengewoon hoogleraar in de Milieubiologie aan de Rijksuniversiteit te Leiden en algemeen directeur van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer;

Prof. dr. P. Korringa, Directeur van het Rijksinstituut voor het Visserijonderzoek te IJmuiden;

ir. F. H. van der Linde van Sprankhuizen, directeur van de provinciale planologische dienst van Gelderland.

Er bestaat goede hoop dat zeer binnenkort eveneens de bereidverklaring om tot de commissie toe te treden zal worden ontvangen van een deskundige die de economische facetten van de problematiek zal behartigen.

Vorderingen

A. De werken van het Deltaplan

Volkerak

Derde sluis met overbrugging, inlaatsluis en jachtensluis

Omdat de werken voor het verlengen van de bestaande overbrugging in het najaar van 1973 moeten worden opgeleverd, wordt thans met man en macht gewerkt om het tijd-

schema aan te houden. De pijler en het landhoofd zijn inmiddels gereedgekomen, evenals de 28 voorgespannen liggers. In de bouwvakvakantie is begonnen met het plaatsen van deze liggers met behulp van een 500-tonskraan.

De bouw van de derde sluis verloopt zeer voorspoedig. De vloeren zijn gereed, terwijl inmiddels van 14 moten ook de wanden zijn gestort. De opbouw van het bovenhoofd is thans in volle gang.

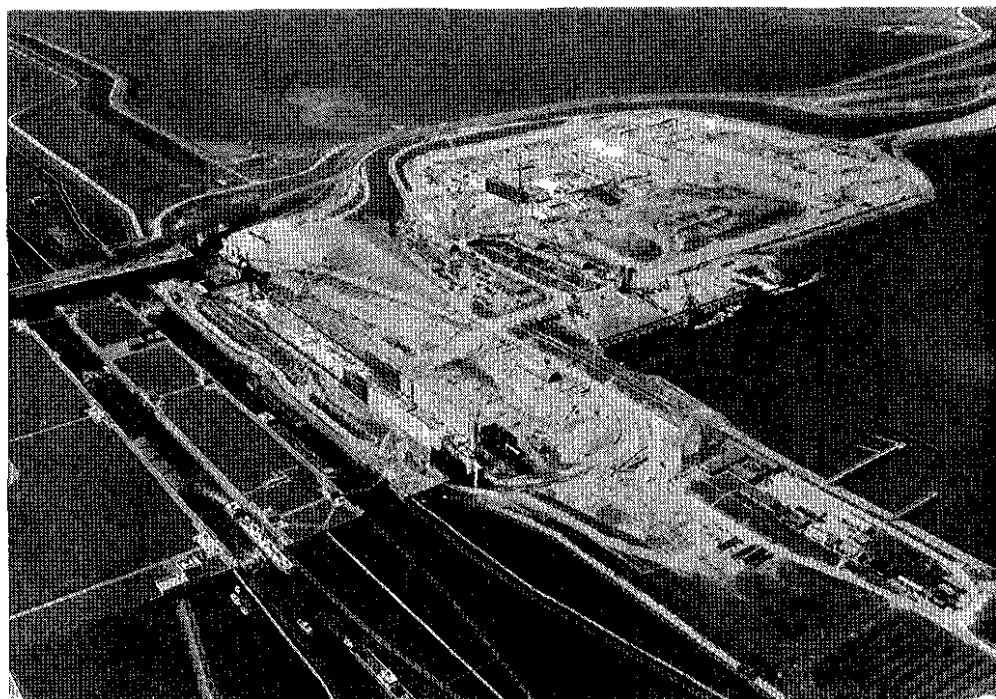
De vloerplaten van de pijlers van de inlaatsluis zijn nagenoeg gereedgekomen, terwijl er verder is gegaan met het maken

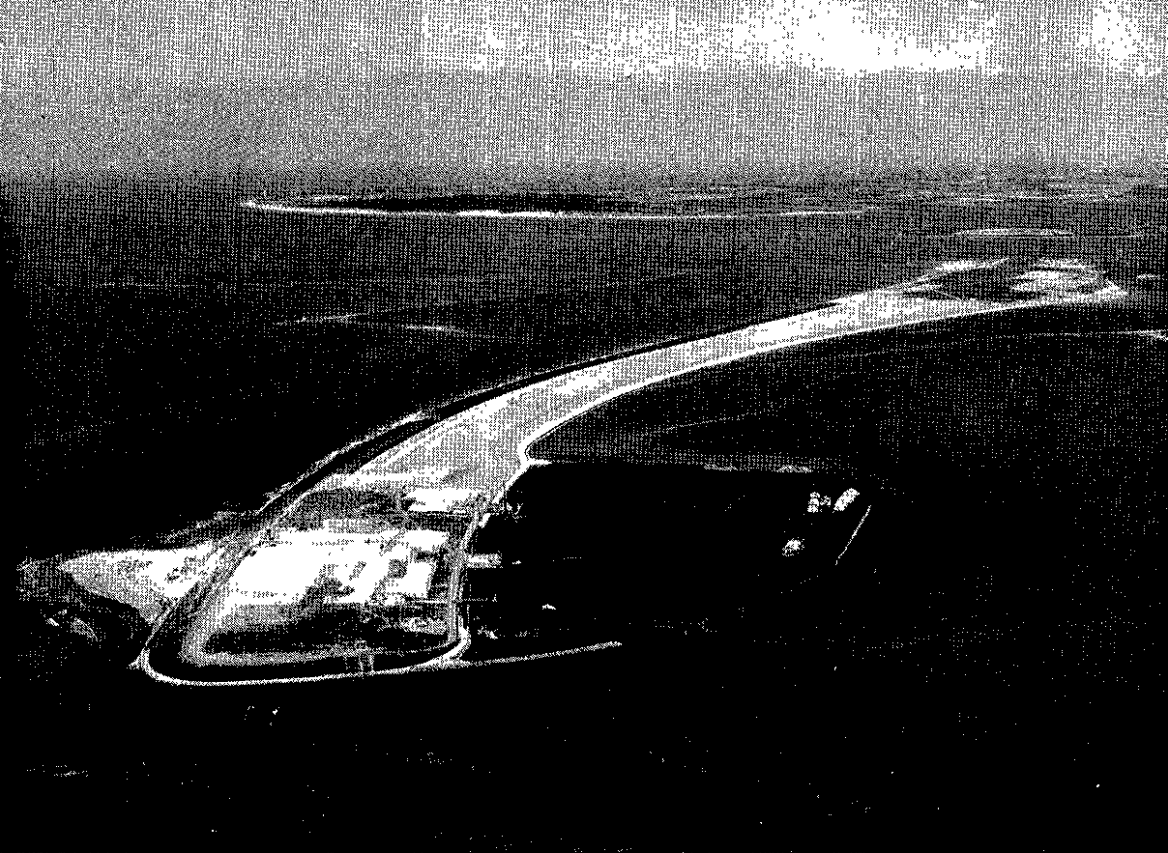
van de vloerplaten voor de vleugelwanden. Tussen de pijlervoeten van de overbrugging zijn inmiddels de vibropalen en de 1 m dikke vloeren van het stortebed aangebracht.

Nadat de schermwanden van de jachtensluis zijn aangebracht is daar begonnen met het maken van de werkvloeren. Thans is men bezig met het aanbrengen van het betonlizer voor de eerste vloermoot.

Voor de overbrugging van de inlaatsluis is het eerste gedeelte

Stand van de werkzaamheden in het Volkerak op 16 mei 1973





van de pijleropbouw van 2 pijlers gereedgekomen, van N.A.P. -8,00 m tot N.A.P. +5,00 m. Voor de overige pijlers is begonnen met het laatste gedeelte van de opbouw, van N.A.P. +5,00 m tot N.A.P. +17,00 m. Voortgegaan wordt met het maken van de voorgespannen liggers.

Oosterschelde

In de verslagperiode werd de aanvoer van zink- en stortsteen uit België naar het werkeiland Roggenplaat voortgezet. Daar werd de steen in depot opgeslagen. Ook naar de haven op het werkeiland Noordland werd materiaal aangevoerd en opgeslagen of rechtstreeks verwerkt. De aanvoer betrof hier in hoofdzaak fosforslakken en staalslakken. Naar de werkhaven Sophiapolder

op Noord-Beveland werd voornamelijk rijshout en filterdoek aangevoerd. Voor het maken van zinkstukken met vaste ballast van betonblokken werd een betonfabriek opgebouwd. Een gedeelte van deze werkhaven werd op diepte geculturd (N.A.P. -10 m). Het uitkomende zand werd tegen de duinen op het strand geperst nabij de damaanzet op Noord-Beveland. Het werk aan deze damaanzet en aan het damvak tussen de werkeilanden Noordland en Neeltje-Jans werd op 28 april 1973 voor de eerste keer opgeleverd.

Met het aanbrengen van een bodembescherming van zinkstukken in het sluitgat de Roompot werd een aanvang gemaakt. Er werden 21 stukken van 100 m lengte en 30 m breedte gezonken en bestort met fosforslakken.

In de Schaar van Roggenplaat en de Hammen werden kraagstukken aangebracht tegen de oevers van de werkeilanden en

De afsluitingswerken in de Oosterschelde, stand van het werk per 16 mei 1973

de kust van Schouwen. De stukken werden afgestort met stortsteen.

Daar waar te zijner tijd de pylonen voor de kabelbanen zullen worden geplaatst werd de reeds aangebrachte laag grind afgedekt met een laag staal- of loodslakken.

Met de voorbereidende werkzaamheden voor de bouwput ten behoeve van de sluis in het werkeiland Noordland werd een aanvang gemaakt. De eerder geplaatste loswal werd verwijderd en elders in de werkhaven herplaatst. Met de ontgraving van de bouwput werd in den droge begonnen. Het uitkomende zand werd gebruikt voor het

opbouwen van de onderste slag van de ringdijk van de bouwput. Enkele kraagstukken werden gelegd en bestort met stortsteen.

Een groot deel van de pylonen voor de kabelbanen werd te Dintelmond in onderdelen aangevoerd. Het aan elkaar lassen van deze secties kwam voor 30% gereed. Van de 13 torens, zijn er 6 aangevoerd te Dintelmond. De verwachting is dat begin september 1973 het hefeiland, dat speciaal gebouwd is voor het plaatsen van de pylonen, in de Oosterschelde arriveert. Daarna zal een aanvang worden gemaakt met het heien van de pylonen, te beginnen in het sluitgat Hammen.

In de verslagperiode werd het maaiveld van het werkeiland Roggenplaat verhoogd van ca. N.A.P. tot N.A.P. +5,0 m ten behoeve van het plaatsen van de vaste railgedeelten van de kabelbanen over de Schaar van Roggenplaat en de Hammen. Hiervoor werd 280 000 m³ zand gecutterd in de mond van de werkhaven Roggenplaat en rechtstreeks in het werk geperst. In een deel van de Westenschouwense inlaag werd, nadat

de klei was ontgraven, een aanvang gemaakt met het persen van zand. Op dit werkterrein zullen blokken voor de kabelbaansluiting van de Hammen worden opgeslagen.

B. De werken ten noorden van Hoek van Holland

Werkhaven en zeewaterbassin op Texel

De werkhaven en het zeewaterbassin zijn thans gereedgemaakt. Slechts is thans nog als bijkomend werk in uitvoering het maken van een peilmeetstation in de nieuwe werkhaven.

Inlaatsluis en uitlaatconstructie in de zeedijk aan het waterschap Texel

Dit werk was op 30 maart 1973 geheel voltooid.

Verantwoording van de foto's

Aero Camera	225	226	244
J. v. Bodegom	225		
B. Hofmeester	274	275	
Rijkswaterstaat	252	254	

