



Negende jaargang
11 maart 1976
verschijnt 14-daags

6/76

Tijdschrift voor watervoorziening en
afvalwaterbehandeling

Drs. R. Peelen en ir. R. Klomp: Natuurlijke en
kunstmatige destratificatie in de diepe
gedeelten van het Grevelingenmeer 106

Mededeling nr. 153 van het
Delta Instituut voor Hydro-
biologisch Onderzoek,
Yerseke.

149449

H₂O (9) 1976, nr. 6; 106
U.D.C. 556.555.4(282.244.11)

R. KLOMP, R. PEELEN

Natural and artificial destratification in deep parts of the Grevelingen basin

Due to the building of dams in the Grevelingen estuary the tidal influence has been eliminated and under the present conditions wind induced water circulation is the main cause of any water movement which is still taking place. In the south western part of this salt water basin in a period without wind and simultaneously a sharp rise in air temperature stratification in the water may occur in the deeper parts of the basin. When a thermocline has been formed, the exchange of water and oxygen between hypolimnion and epilimnion is being reduced considerably. Biological and chemical oxygen demand may then lead to oxygen depletion in the hypolimnion. This article shows that under controlled circumstances the water quality was considerable improved by artificial destratification. Special attention has been given to the physical, chemical and hydrobiological aspects.

Natuurlijke en kunstmatige destratificatie in de diepe gedeelten van het Grevelingenmeer

Inleiding

Nadat op 1 mei 1971 de laatste caisson in het noordelijk sluitgat van de Brouwersdam werd geplaatst en alle schuiven van de caissons gesloten werden, was in het zuidelijke sluitgat nog een getijdestroming vanuit zee door de blokkendam aanwezig. Gedurende deze maand werd de blokkendam geleidelijk verdicht. De getijdstroming nam daardoor langzaam af en in juni 1971 werd geen peilvariatie van betekenis meer waargenomen en was een zout semi-stagnant meer gevormd, waarvan de peilregeling



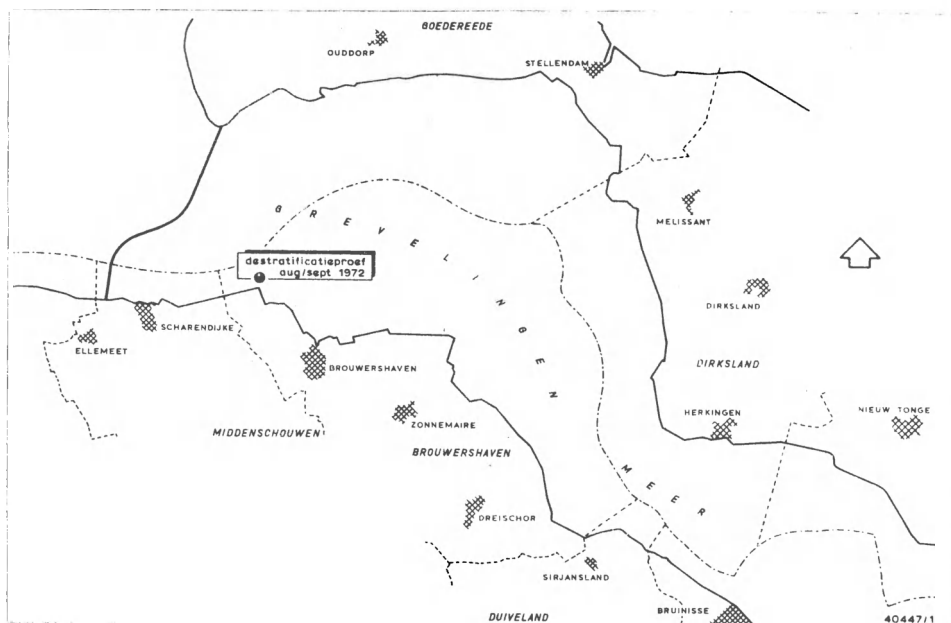
DRS. R. PEELEN
Delta Instituut voor
Hydrologisch Onderzoek



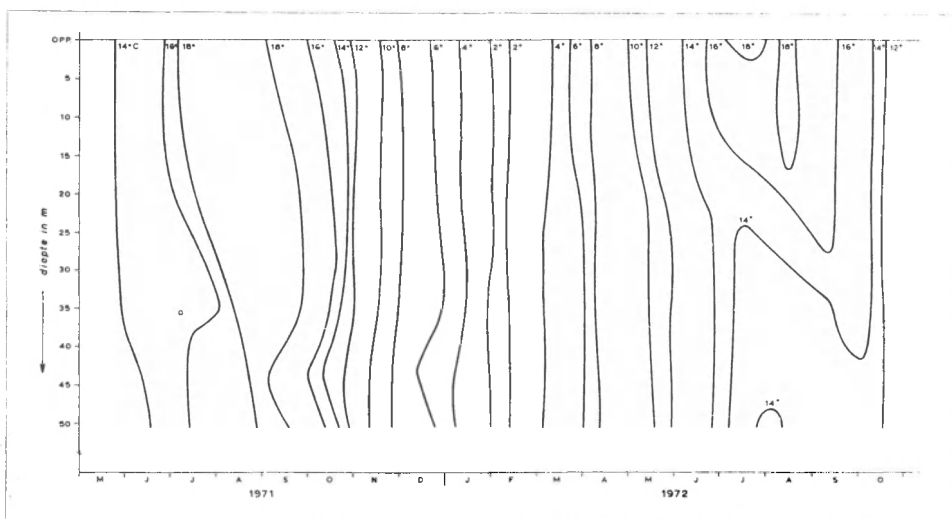
IR. R. KLOMP *
Deltadienst
Afdeling Milieu-Onderzoek

geschiedt via de schutsluis nabij Bruinisse. 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. 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

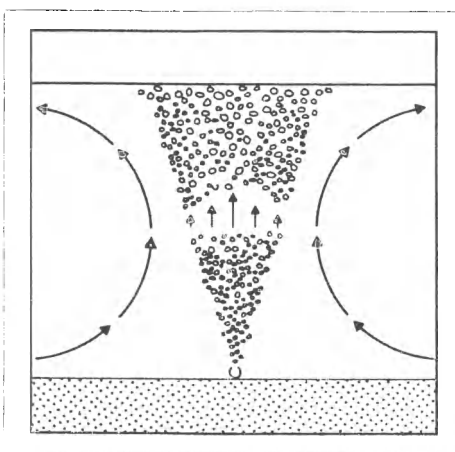
* Thans werkzaam bij het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.



Afb. 1 - Het Grevelingenmeer.



Afb. 2 - Verloop van de isothermen in de put van Scharendijke (1971-1972).



Afb. 3 - Stromingspatroon dat wordt opgewekt door het inbrengen van luchtballen via een geperforeerde buis nabij de bodem.

integendeel zelfs voordelen inhouden: zo verlopen de diffusieprocessen van nutriënten vanuit het hypolimnion naar het epilimnion onder invloed van thermische stratificatie langzamer. Een nadelig effect is echter de zuurstofloosheid ten gevolge van een groot zuurstofverbruik door grote hoeveelheden organische stoffen en nutriënten.

Direct na de afsluiting trad een periode in met rustig weer, maar de afname van de temperatuur over de vertikaal verliep geleidelijk. Een duidelijke spronglaag stelde zich dan ook niet in. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in de slechts langzaam afnemende uitwisseling met Noordzeewater tijdens het verdichten van de blokkendam. In oktober was het water echter weer nagenoeg isotherm.

De toestand in 1972 was geheel anders. 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 de Deltadienst afdeling Milieuonderzoek 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.

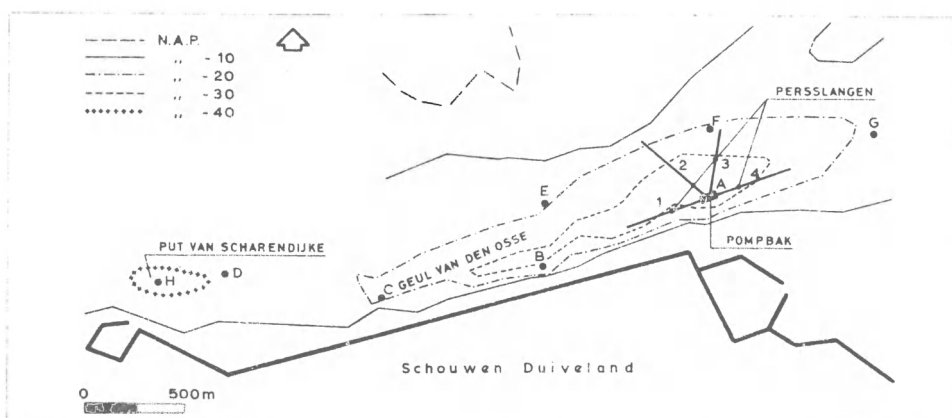
Het zuurstoftekort in de hypolimnia van zulke putten kan op twee manieren kunstmatig worden bestreden. Bij beide methodes wordt op de bodem van de trog lucht losgelaten door (geperforeerde) buizen. In het eerste geval is het de bedoeling dat er onder invloed van de passage der luchtbellen destratificatie 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 luchtbellen 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 niet verstoord wordt.

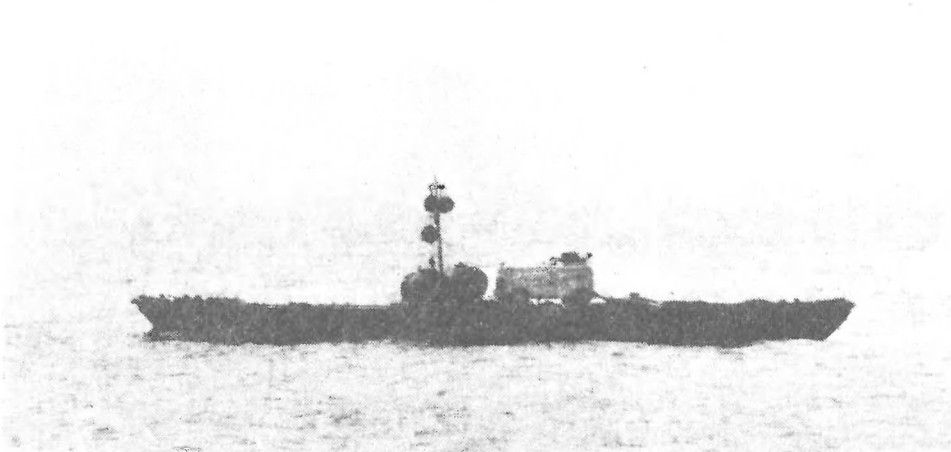
Menging over de verticaal treedt hierbij dus niet op. Het belangrijkste mechanisme is de overdracht van zuurstof vanuit de luchtbellen naar het zuurstofarme water. Gebruikmakend van de omstandigheid dat hier anaërobie optrad in twee dicht bijeengelegen putten onder overigens gelijke omstandigheden, heeft 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 proefneming in de andere.

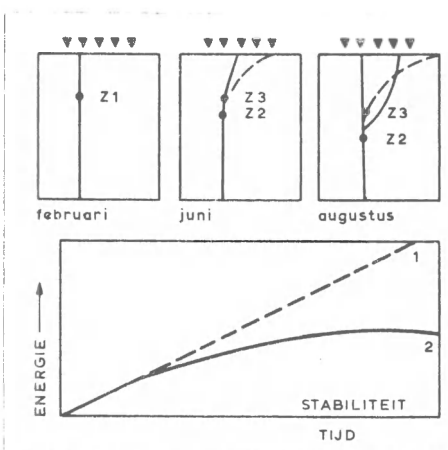
Mede op grond van operationele aspecten heeft men ervoor gekozen de kunstmatige destratificatie uit te voeren in de Geul van den Osse. Als argument voor deze keuze gold vooral dat er in het hypolimnion van de Geul van den Osse een toeneming was waargenomen van zwavelwaterstof en ammonium; tegelijkertijd werd geconstateerd dat het gehalte van een aantal elementen aanzienlijk toenam ten gevolge



Afb. 4 - De put van Scharendijke en de Geul van den Osse in het Grevelingenmeer.



De destratificatie-apparatuur op een zolderbak.



Afb. 5 - Schematische voorstelling van het verloop van een watermassa onder invloed van verwarming en wind.

van mobilisatie vanuit de bodem. Plotse omkering van juist deze geul, bijv. 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-apparatuur, geïnstalleerd op een zolderbak, bestond uit een compressor met een continu vermogen van 34 m³/min. bij 7 atmosfeer en twee olietanks; 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.

Hydraulische aspecten

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 theoretisch 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. Afb. 5 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.

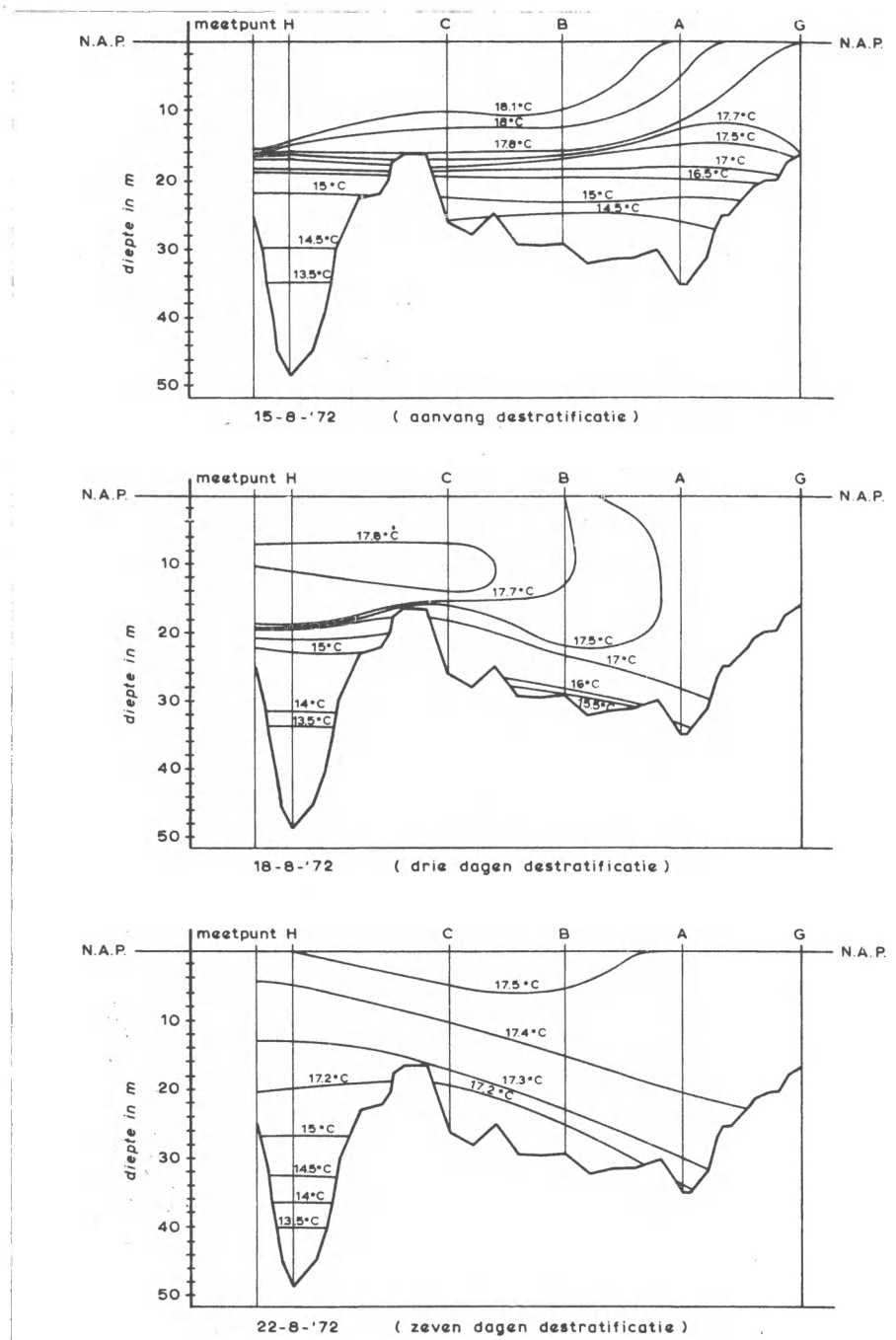
Toenemende verwarming van het water nabij het oppervlak veroorzaakt een temperatuurverloop, dat in het schema op twee manieren wordt weergegeven: de gebroken lijn geeft het verloop weer zoals zich dat ontwikkelt volgens de wet van Lambert, hetgeen inhoudt dat de geabsorbeerde langgolvlige straling exponentieel 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 Z2 (zwaartepunt zonder windinvloed) en Z3 (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 bijv. het opstijgen van gasbelletjes vanuit het bodemslib. De verhouding tussen de theoretische 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.

Chemische en biochemische aspecten

De opeenhoping van organisch materiaal in het hypolimnion heeft tot gevolg dat

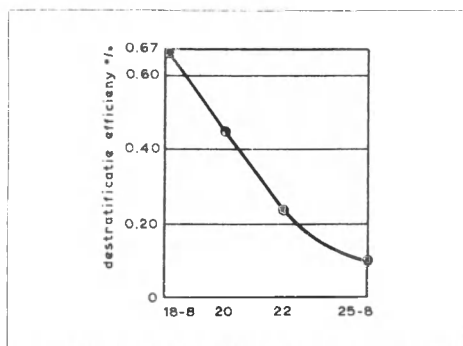


Afb. 6 - Het verloop van de isothermen in de bemonsteringsstations A, B, C, G en H in het Grevelingen Meer.

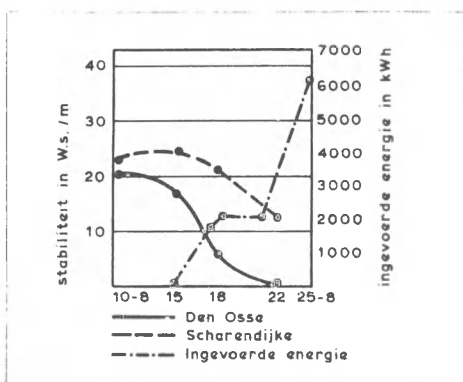
een massaal mineralisatieproces optreedt, dat een omvangrijke zuurstofonttrekking met zich brengt. Tegelijk wordt nitrificatie teweeggebracht door de bacteriën *Nitrosomonas* en *Nitrobacter*. Voor deze processen zijn zulke grote hoeveelheden zuurstof nodig, dat er zelfs zuurstofloosheid kan ontstaan. In de zuurstofloze toestand gaan zich dan een aantal bacteriologische processen ontwikkelen, zoals denitrificatie, nitraatreductie, sulfaatreductie en methaanfermentatie.

De belangrijkste reductieproducten zijn

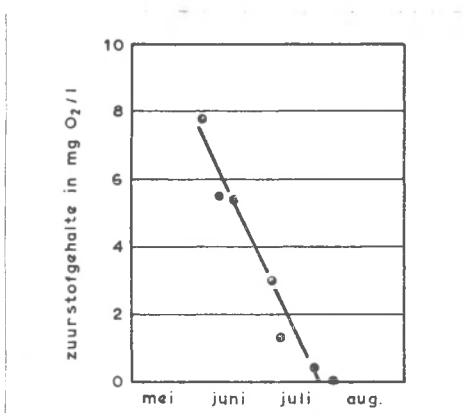
zwavelwaterstof (H_2S), methaan (CH_4), ammonium (NH_4^+), gasvormig stikstof (N_2) en het dissimilatie- en reductieproduct koolzuur (CO_2), dat een verlaging van de pH-waarde veroorzaakt. Dit zuurstofloze milieu raakt bij stratificatie dus opgesloten in de onderste waterlagen van een trog, en kan van daaruit een latente bedreiging van het leven in de bovenste waterlagen vormen. Een tijdige en niet te snel verlopende menging met andere waterlagen kan de dreiging echter opheffen, zoals in het vervolg zal worden getoond.



Afb. 7 - Verloop van de effectiviteit van de destratificatie tussen 18 en 25 augustus.



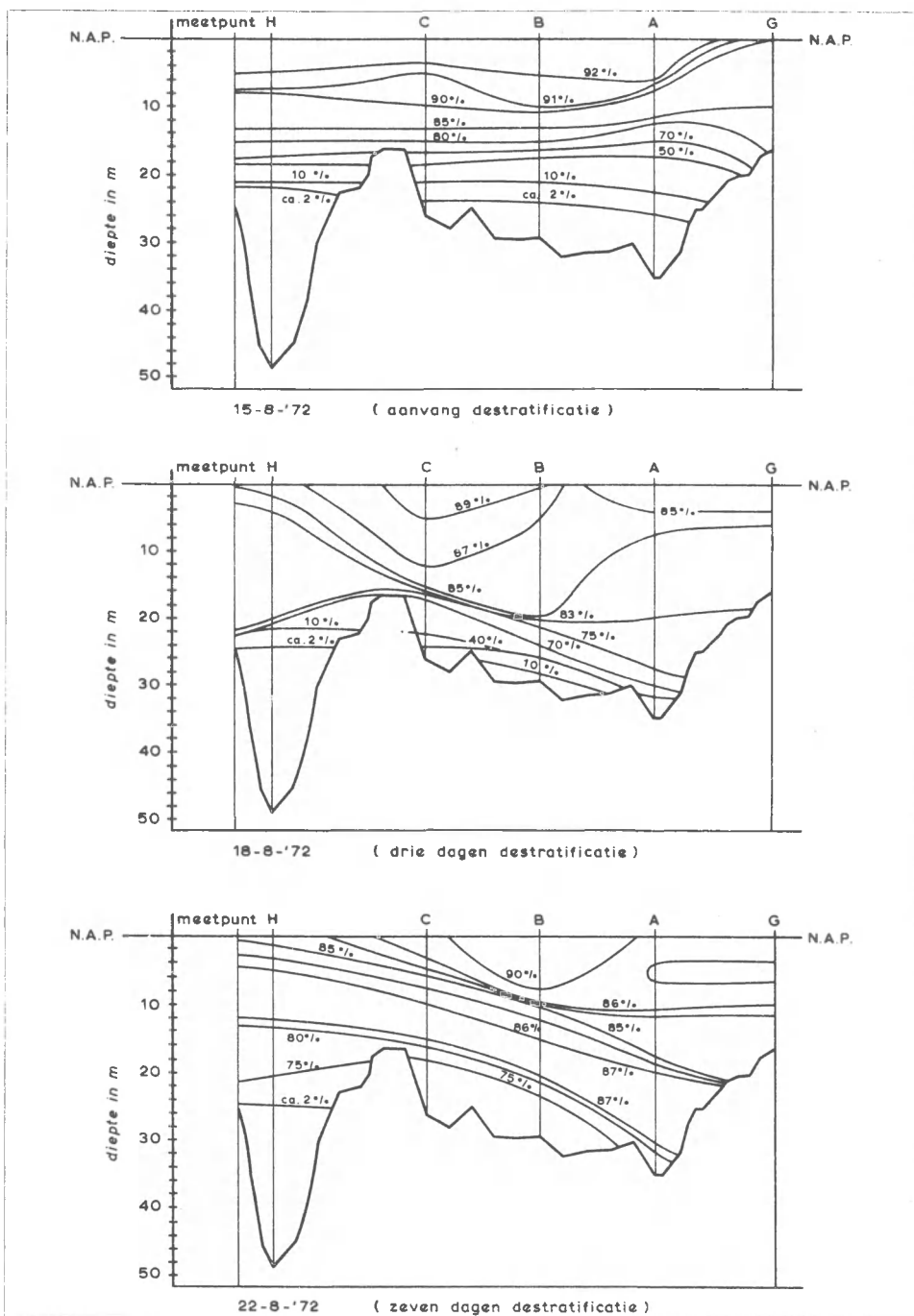
Afb. 8 - Verloop van de stabiliteit van het water in de twee putten tussen 10 en 25 augustus.



Afb. 9 - Het verloop van het zuurstofgehalte in het hypolimnion van de Put van Scharendijke.

Stabiliteit

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 en de



Afb. 10 - Het verloop van de zuurstof isopleten in de bemonsteringsstations A, B, C, G en H in het Grevelingen Meer.

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 efficiëntie sterk afnam naarmate de stabiliteit van de stratificatie verminderde. Het lijkt vanuit een oogpunt van rendement dan ook aantrekkelijk kunstmatige destratificatie 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 m³ 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 afb. 8 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.

Zuurstofhuishouding

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 destratificatie 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.

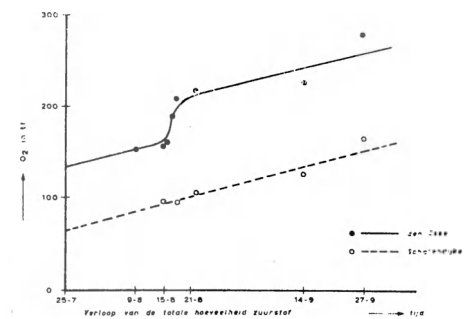
Het rendement van de destratificatie-installatie kan nader worden beschreven in termen van opgenomen hoeveelheid zuurstof per ingevoerde hoeveelheid energie. Bij de huidige proef was dat 1,15 kg O_2 per kwh, een heel behoorlijk resultaat.

Nutriënten

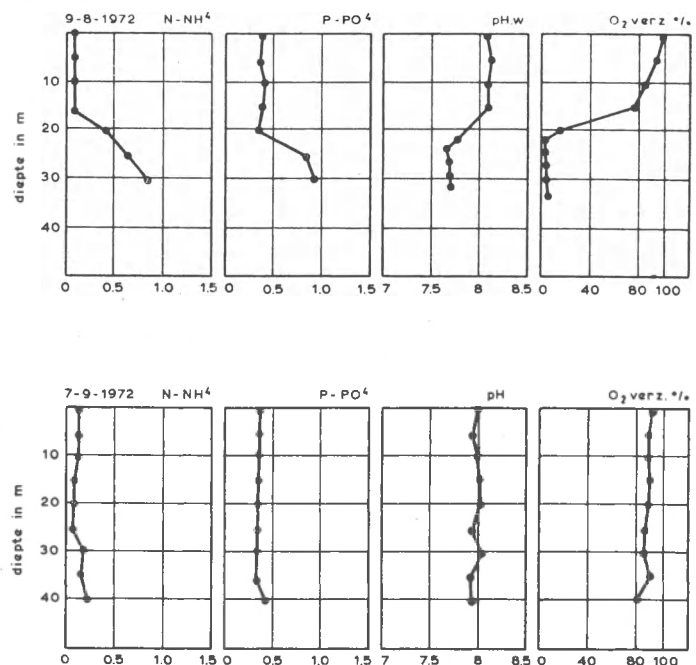
De mobilisatie van fosforverbindingen vanuit het bodemslib heeft zich op duidelijke wijze in de hypolimnia gemanifesteerd. Het gehalte aan orthofosfaat in het hypolimnion bleek driemaal zo hoog als dat in het epilimnion, hetgeen niet verklaard kan worden uit de lozingen van ongezuiverd afvalwater door 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.

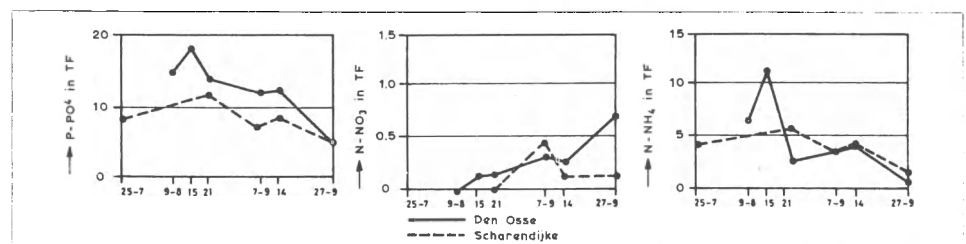
De voortgaande rotting onder anaërobe omstandigheden, die tijdens de stratificatie optrad, had eveneens tot gevolg dat mineralisatieproducten zoals ammonium, methaan en koolzuur in het hypolimnion toenamen. Het ammoniumgehalte in het hypolimnion



Afb. 11 - Verloop der totale hoeveelheid zuurstof.



Afb. 12 - Verloop van een aantal parameters over de verticaal gemeten op 9 aug. en 7 sept. 1972 in de Put van den Osse.



Afb. 13 - Verloop van een aantal parameters in de proefput en de controleput.

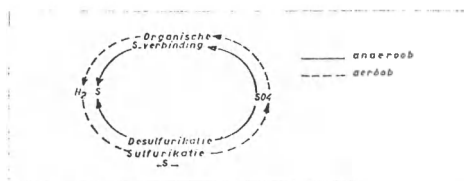
was op een gegeven moment tien keer zo groot als in het epilimnion! De kunstmatige destratificatie in de proefput had tot gevolg dat er weer een gelijkmatige verdeling van het ammonium over de diepte kwam, terwijl de absolute hoeveelheid ammonium tegelijkertijd zeer sterk afnam, voornamelijk ten gevolge 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 CO_2 , 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.

Hydrobiologische aspecten

In een aerob milieu hebben bacteriën zuurstof nodig voor mineralisatieprocessen, hierbij daalt de redox potentiaal Eh van het water. Bij 0,5 mg O₂/l gaan de bacteriën zuurstof onttrekken aan het nitraat, waardoor ammonia ontstaat. Het milieu is nu anaeroob geworden. Bij afnemende Eh wordt het sulfaat gereduceerd tot sulfide, terwijl het carbonaat tenslotte wordt gereduceerd tot methaan bij de laagste Eh. Een ontwikkeling van methaan in de beide putten werd waargenomen. De sulfaatreductie vindt plaats volgens het onderstaande schema.



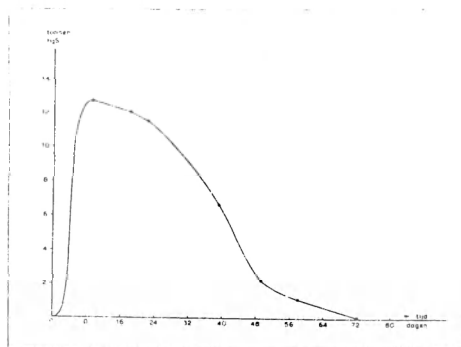
De desulfuricatie door *Desulfovibrio* aestuarii vond plaats onder anaerobe omstandigheden. Deze bacteriën werden vaak vergezeld van de sporenvormer *Desulfomaculum nigrificans*. Verder kwam de facultatief anaerobe bacterie *Pseudomonas zelinskii* voor.

In 8 dagen tijd hebben deze bacteriën 12,7 ton zwavelwaterstof in de Put van Scharendijke en 24,9 ton in de 'Put van Den Osse' geproduceerd. Dit proces vond aanvankelijk plaats op het grensvlak water/bodem.

Bij daling van het zuurstofgehalte werd het water als biotoop geschikt en gekoloniseerd. In vlokken organische stof afkomstig van anaeroob afvalwater ontwikkelden deze bacteriën zich eveneens; hierbij werden grote hoeveelheden zwavelwaterstof geproduceerd. Na enige tijd echter werd door de populatie geen overmaat zwavelwaterstof geproduceerd, aangezien wekenlang hetzelfde type concentratieverloop van de zwavelwaterstof werd geconstateerd.

Na deze periode nam de produktie in de diepere waterlagen weer toe. Uit een detail-onderzoek bleek onder de spronglaag veel witte zwevende stof van zwavelbacteriën (*Beggiatoa*- en *Thio-bacillus*soorten).

Door de kunstmatige destratificatie in de 'Put van Den Osse' werd een geheel ander verloop van de aanwezige hoeveelheid zwavelwaterstof geconstateerd. Direct na het aanzetten van de beluchting was de onmiskenbare zwavelwaterstofgeur aanwezig, als gevolg van het vrijkomen van



Afb. 14 - Het verloop van de hoeveelheid zwavelstof in het hypolimnion van de put van Scharendijke.

zwavelwaterstof uit de bellenbaan. Voorts werd ook zwavelwaterstof in opgeloste toestand met het water uit het hypolimnion omhoog gevoerd en vond een diffusief transport van de zwavelwaterstof tussen de luchtballen en het omringende water van het epilimnion plaats.

Nabij het wateroppervlak was de concentratie sulfide na een half uur 3,6 mg S₂⁻/liter.

Het effect van de beluchting op de hoeveelheid zwavelwaterstof wordt in sterke mate bepaald door de ligging van de spronglaag. Doordat bemonsterd is in de bellenbaan, is het moeilijk de exacte ligging van de

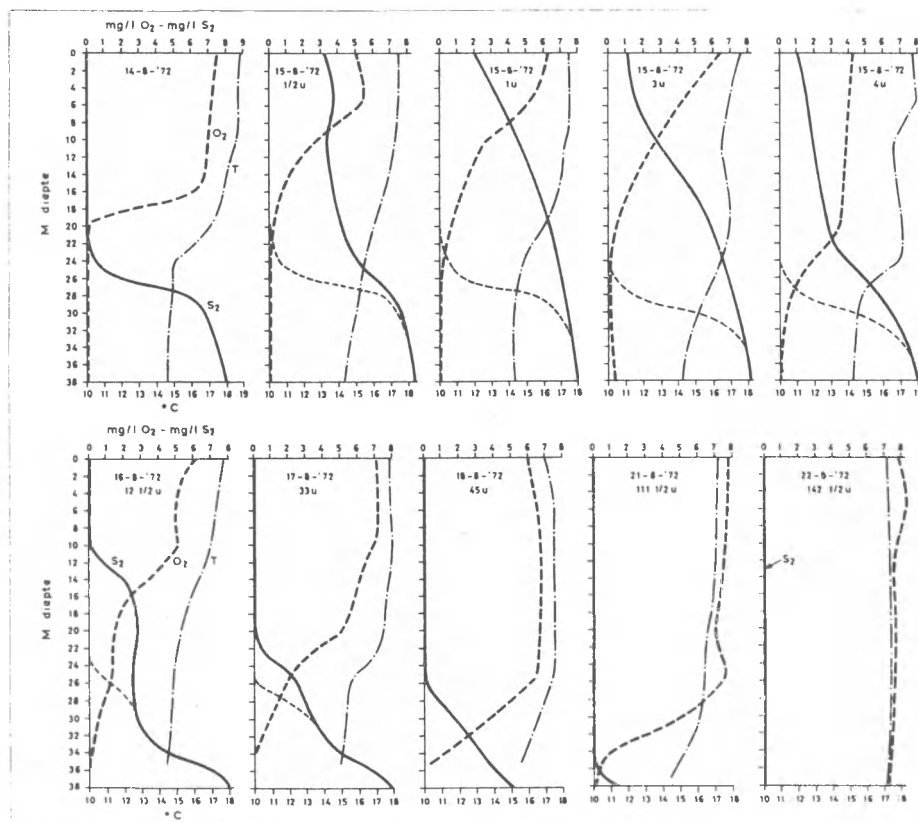
spronglaag te bepalen. Evenwel door de kromme van de diepste waterlagen door te trekken evenwijdig aan zijn oorspronkelijke verloop, kan een redelijke schatting gemaakt worden. De afname van het sulfideverloop blijkt nagenoeg logaritmisch te zijn. Na 3 uur is er nog maar de helft van de hoeveelheid sulfide over, na 33 uur nog een kwart van het totaal, na ongeveer 100 uur is het sulfide verdwenen.

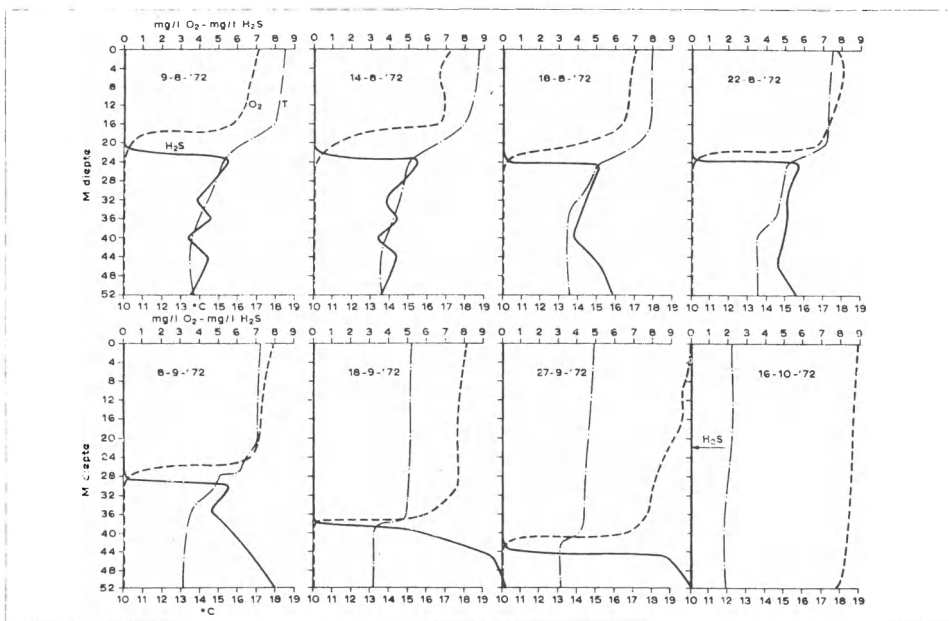
De planktoncyclus in het Grevelingenmeer bestaat uit een uitgesproken voorjaarsbloei, zomerbloei en najaarsbloei.

De voorjaarsopbloei van plankton bestaat voornamelijk uit plantaardig- of fytoplankton, kiezelwieren zoals *Rhizosolenia* spp., *Chaetoceros* spp., *Eucampia* zoëdiacus en *Lauderia borealis* komen in grote aantallen voor evenals de pantser-Dinoflagellaat, *Peridinium* spp. Het dierlijke- of zoöplankton bestaat uit de wimperdieren of Ciliaten, *Helicostomella subulata*, *Favella serrata* en de larven van de wormen (Vermes) *Polydora* spp. Dit plankton ging geleidelijk over in het zomerplankton met meer zoöplanktonen waaronder raderdieren (Rotatoria) *Synchaeta* spp., het roeipootkreeftje (Copepoda) *Acartia tonsa* en Harpacticiden.

Plankton in de diepe waterlagen tussen 40 en 50 meter — NAP zag er aanvankelijk in mei en juni goed uit en was vergelijkbaar

Afb. 15 - Verloop van het sulfidegehalte, zuurstofgehalte en de temperatuur in de put van Den Osse (14 tot 22 augustus 1972).





Afb. 16 - Verloop van het sulfide- en zuurstofgehalte en de temperatuur in de put van Scharendijke (9 augustus tot 16 oktober 1972).

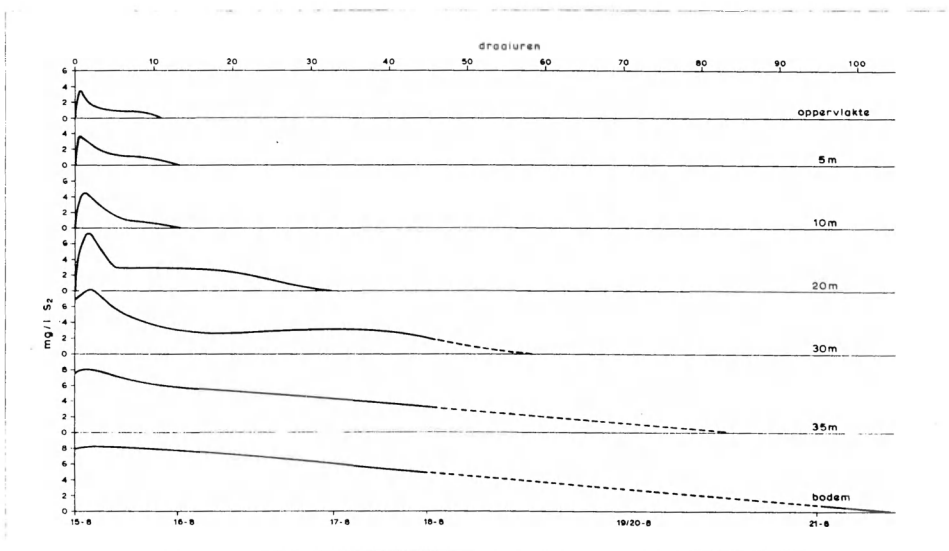
Op 22 augustus werden levende organismen aangetroffen waaronder verschillende Chaetocerossoorten.

Het water bevat geen sulfide meer en bevat weer een (geringe) hoeveelheid zuurstof.

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 behoeven te doen op deze techniek. De natuur zelf blijkt, zij het iets langzamer, voor herstel van evenwicht te zorgen, ook in diepe troggen.

● ● ●



Afb. 17 - Beluchting den Osse (15-22-8 1972). Verloop van het sulfide-gehalte in de bellenbaan.

met dat van het oppervlaktewater. In juli daarentegen bestond het plankton bij een zuurstofgehalte van 5 % in hoofdzaak uit *Polydora*-larven. In augustus was het plankton, op enkele exemplaren van *Chaetoceros*soorten en *Thalassiosira rotulana*, dood bij een zuurstofgehalte van 0 %. Ook de enkele gevonden levende exemplaren maakten geen vitale indruk. Op 22 augustus werden wel organismen gevonden, allen waren echter dood. Op 18 september werd één levende *Polydora*-larve gevonden en een Harpacticide bij 0 % zuurstofverzadiging. Op 16 oktober werd, bij een normaal zuurstofgehalte, weer een gangbaar planktonbeeld aangetroffen met veel levend fytoplankton

en ook enkele zoöplanktonten.

De situatie bij Den Osse is in de oppervlaktelagen en nabij de bodem bestudeerd van 15 augustus tot 18 september.

Aanvankelijk bestond het plankton aan de oppervlakte wat betreft het fytoplankton uit de Diatomeeën: *Rhizosolenia* spp., *Chaetoceros* spp., *Asterionella japonica* en de Dinoflagellaat *Peridinium* spp. Het zoöplankton bestond uit de Rotatoria *Synchaeta* spp., de Ciliaten: *Noctiluca scintillans* (zeevonk), *Favella serrata*, de Copepoden: *Acartia tonsa* en Harpacticiden spp. en *Polydora* spp. (Vermes).

Voor aanvang van de destratificatie proef werden in het water nabij de bodem geen levende organismen aangetroffen.