

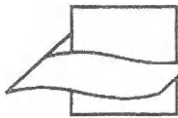
Delta-Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek  
Yerseke

MILIEU EN PLANKTON VAN HET VEERSE MEER,  
EEN TIEN JAAR OUD BRAKWATERMEER IN  
ZUIDWEST-NEDERLAND

C. BAKKER

Overdruk uit:  
Mededelingen van de Hydrobiologische Vereniging,  
jaargang nr. 6, jaar 1972, blz. 15 tm. 38.





MILIEU EN PLANKTON VAN HET VEERSE MEER,  
EEN TIEN JAAR OUD BRAKWATERMEER IN  
ZUIDWEST-NEDERLAND \*)

Vlaams Instituut voor de Zee, Bakker  
*Flanders Marine Institute*

(Delta-Instituut voor Hydrobiologisch  
Onderzoek, Yerseke)

Inhoud

1. Inleiding
2. Enkele morphometrische en waterhuishoudkundige gegevens
3. Het chloridegehalte
4. Het fosfaatgehalte
5. De zuurstof- en chlorophyllgehalten
6. De helderheid van het water, gemeten met de secchischijf
7. Het plankton
8. Discussie
9. Summary
10. Literatuur

1. Inleiding

In april 1961 ontstond uit een zeearm in Zuidwest-Nederland een zoutwatermeer, het Veerse Meer, toen een dijk werd gelegd tussen de eilanden Walcheren en Noord-Beveland. Een dam met een sluis was een jaar tevoren gelegd door de zandkreek tussen Zuid- en Noord-Beveland (fig. 1 en 2). Reeds in 1962 was het zoutgehalte (tijdelijk) tot beneden  $10\text{‰}$  Cl' gedaald. Eerder werd een beschrijving gegeven (BAKKER, 1964) van de overgang van het oorspronkelijk van de Oosterschelde (fig. 1) deel uitmakende mariene getijdengebied in een brakwatermeer.

In onderstaand artikel wordt een globaal overzicht gegeven van de fluctuaties van enkele milieufactoren gedurende de jaren 1961-1971 en de invloeden hiervan op het plankton.

2. Enkele morphometrische en waterhuishoudkundige gegevens

Het Veerse Meer heeft een lengte van ongeveer 24 km. De breedte varieert van 250 à 300 m (tussen Kortgene en Wolphaartsdijk; fig. 2) en 1500 à 1600 m (in het noordwesten). De gemiddelde diepte is slechts ca. 4,5 m daar de diepere delen (de oude getijgeulen) geflankeerd worden door uitgestrekte ondiepe stukken (de voormalige door het getij overspoelde slik- en zandplaten). De geulen bereiken op verschillende plaatsen een diepte van meer dan 20 m. Drie van deze diepe putten, de punten Dijkhuis, Weegbrug en Caisson (fig. 2) worden maandelijks bemonsterd.

Het waterpeil bevindt zich des zomers op 0 m N.A.P., 's winters daarentegen op 0,70 m minus N.A.P. Het oppervlak van het meer bedraagt 22 km<sup>2</sup> bij zomerpeil en 17,7 km<sup>2</sup> bij winterpeil. In het

\*) Meded. no. 100 van het Delta Inst. v. Hydrobiol.Ond., Yerseke.

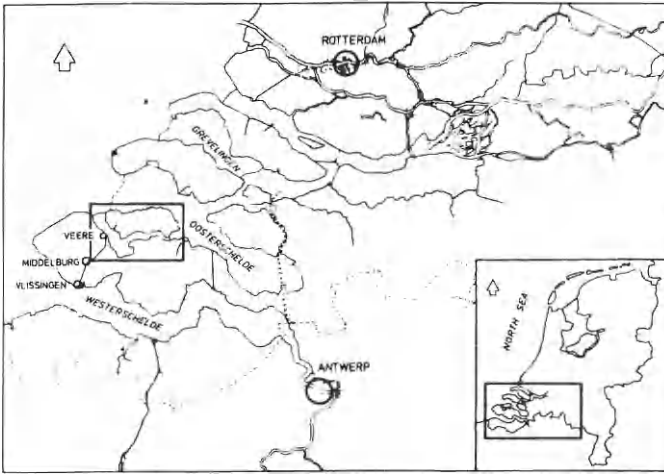


Fig. 1. Topografie van het Deltagebied (Z.W.-Nederland)

Map of the S.W.-Netherlands. Lake Veere is situated between the Oosterschelde (a sea-arm) and the Westerschelde (an estuary).

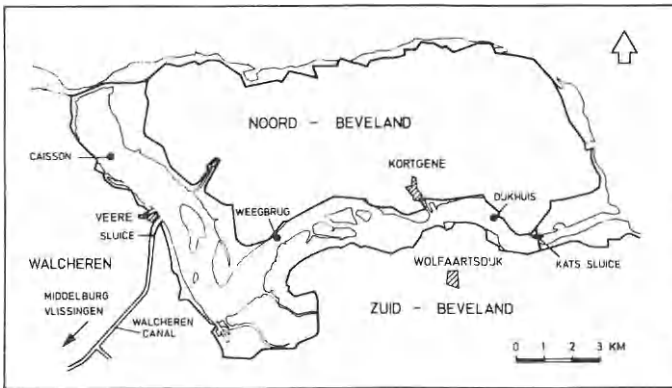


Fig. 2. Topografie van het Veerse Meer met ligging der monsterpunten.

Map of Lake Veere with sampling localities (black dots).

voorjaar wordt gebruik gemaakt van Oosterscheldewater (via de sluis te Kats) en/of van regen- en polderwater om het meer op zomerpeil te brengen. In het najaar wordt eenzelfde hoeveelheid water geloosd op de Oosterschelde.

De inhoud van het meer bedraagt  $96 \times 10^6 \text{ m}^3$  bij zomerpeil en  $82,8 \times 10^6 \text{ m}^3$  bij winterpeil. De bovenste 5 m water beslaan, vanwege de boven reeds genoemde geringe gemiddelde diepte van het meer, ongeveer 2/3 van de inhoud bij zomerpeil, de bovenste 10 m zelfs 90% van deze inhoud.

Het meer ontvangt veel zeewater uit de Oosterschelde ten behoeve van de realisering van het zomerpeil in het voorjaar maar de hoeveelheden die binnenkomen via het schutten bij Kats zijn nog aanzienlijk groter. Via de sluizen te Veere dringt water binnen vanuit het Kanaal door Walcheren (fig. 2); meestal is dit water zouter dan dat van het Veerse Meer ten gevolge van de invloed van de Westerschelde via Vlissingen (fig. 1), soms ook zoeter door de lozing van Walcherse polderwater op dit kanaal. Tenslotte komen relatief grote hoeveelheden polderwater in het Veerse Meer, m.n. via de gemalen op Zuid- en Noord-Beveland. Vergelijking tussen relatief droge en relatief natte jaren wijst uit dat het water in het meer 1,5-2 maal per jaar ververscht wordt. (De waterbalans zal in een volgende, in dit opzicht meer gedetailleerde, publicatie worden gegeven).

### 3. Het chloridegehalte

Fig. 3 geeft de jaarcurven van het  $\text{Cl}^-$ -gehalte van het water van de bovenste 5 m van het Veerse Meer op de 3 genoemde stations gedurende 1964 en 1965. Het jaar 1964 was tamelijk droog: de cijfers liggen bijna alle boven  $10^0$  /oo  $\text{Cl}^-$ , in tegenstelling tot die van 1965, waarin deze waarde het gehele jaar niet bereikt werd. Volledigheidshalve dient vermeld te worden dat de extreem hoge Rijnafoeren in 1965 ook de Oosterschelde beïnvloedden zodat het zoutgehalte van het ingelaten Oosterscheldewater lager was dan in vorige jaren (BAKKER, 1967b). Naast de grote hoeveelheid polderwater in 1965 is derhalve ook de Rijn oorzaak geweest van het sterk verlaagde zoutgehalte van het Veerse Meer in dat jaar. De geringe hoeveelheid neerslag en polderwater gedurende 1964 komt tevens uit in de regelmaat in het verloop van het chloridegehalte. In winter en voorjaar zijn de zoutgehalten het laagst maar ze stijgen geleidelijk in zomer en najaar t.g.v. het verdampingoverschot en de grotere hoeveelheden binnentredend Oosterscheldewater. In 1965 daarentegen komen af en toe vrij scherpe dalingen van het chloridegehalte voor, vooral in het oostelijke en centrale meer-gedeelte waarop juist de meeste gemalen afwateren. Daar in het oostelijke gedeelte tevens het meeste zeewater binnenkomt zijn hier meestal grote verschillen tussen het zoutgehalte van de oppervlakkige en diepere waterlagen aantoonbaar (BAKKER, 1967b). Van biologisch gezichtspunt uit is het milieu in het oostelijke deel van het Veerse Meer instabiel. Het noordwestelijke deel mist zowel de grote polderwaterafvoer als de regelmatige zoutwaterpenetratie en heeft derhalve het meest stabiele milieu.

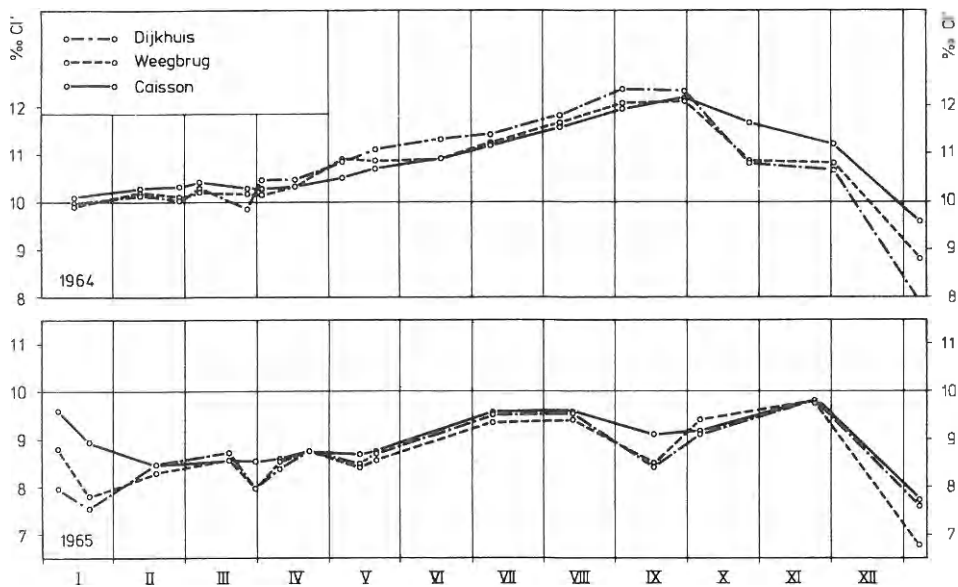


Fig. 3. Maandelijkse chloridegehalten van het Veerse Meer op 0 - 5 m diepte op 3 monsterpunten (fig. 2) in 1964 en 1965.

Chlorinity of Lake Veere water (depth 0 - 5 m) measured once a month during the years 1964 and 1965. For location of the sampling points Dijkhuis, Weegbrug and Caisson see fig. 2.

In fig. 4B wordt een overzicht gegeven van de loop van het chloride-gehalte van de bovenste waterlagen gedurende 1961-1971. Om de jaarlijkse fluctuaties zo goed mogelijk te laten uitkomen is ieder jaar weergegeven door twee punten, een voorjaarsminimum en een najaarsmaximum. Bovenaan (fig. 4A) zijn voor de jaren 1964-1969 de hoeveelheden uitgeslagen polderwater aangegeven. De invloed van de natte jaren 1965 en 1966 op het chloridegehalte van het Veerse Meer is duidelijk merkbaar; in die jaren bleef het najaarsmaximum nog beneden de 10 ‰ Cl<sup>-</sup>-grens.

Toen in 1961 het Veerse Meer ontstond was het zoutgehalte nog hoog: tussen de 16 en 17 ‰ Cl<sup>-</sup>, dus geheel vergelijkbaar met dat van de oorspronkelijke zeearm. De goede zomer van dat jaar deed door verdamping het zoutgehalte binnen het meer zelfs nog enigszins stijgen. Gedurende het najaar 1961 en de winter 1961-'62 echter daalde het zoutgehalte tot beneden de 10 ‰ Cl<sup>-</sup> en bleef verder, afgezien van de bijzondere jaren 1965-'66, min of meer rond deze waarde schommelen. Voor 1971 valt op te merken dat in genoemd jaar de hoogste chloridecijfers geregistreerd zijn sinds

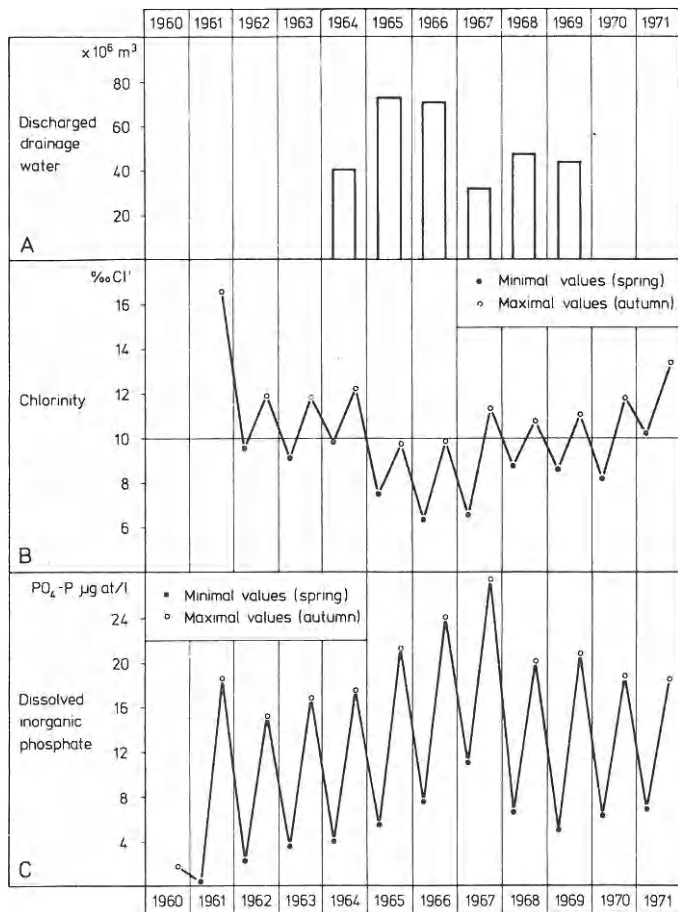


Fig. 4. Polderwaterhoeveelheden, chloride- en fosfaatgehalten van het Veerse Meer gedurende de jaren 1961-1971. A. Hoeveelheden uitgeslagen polderwater. B. Hoogste en laagste chloridegehalten op 0-5 m diepte. C. Hoogste en laagste fosfaatgehalten op 0-5 m diepte.

Amounts of drainage water, chlorinities and phosphates in Lake Veere during the period 1961-1971. A. Amounts of drainage water (sewage included) B. Maximal and minimal chlorinities, depth 0-5 m. C. Maximal and minimal phosphate concentrations, depth 0-5 m.

1962: voor het eerst zakten de voorjaarswaarden niet beneden de  $10^0/00$  en stegen de najaarswaarden boven de  $13^0/00$ .

Op de betekenis van het zoutgehalte voor de kwaliteit van het plankton zal onder (7) worden ingegaan.

#### 4. Het fosfaatgehalte

Op dezelfde wijze als voor het chloridegehalte, is in fig. 4C een beeld gegeven van de schommelingen van het gehalte aan opgelost anorganisch fosfaat van de bovenste waterlagen. Wederom zijn steeds twee punten per jaar, een voorjaarsminimum en een najaarsmaximum, gegeven. In het voorjaar daalt het fosfaatgehalte tot een minimale waarde door de altijd zeer krachtige voorjaarsopbloei van het fytoplankton in het Veerse Meer. In de loop van de zomer en het najaar worden de opgenomen fosfaten weer gemineraliseerd en worden zeer hoge maxima (tot boven de  $25 \mu\text{g}$   $\text{PO}_4\text{-P}$  per liter in 1967) bereikt.

De lage waarden voor het najaar 1960 en het voorjaar 1961 goldeden voor het voormalige getijdengebied Veersche Gat-Zandkreek. Deze cijfers ( $0\text{-}2 \mu\text{g}$   $\text{PO}_4\text{-P}$  per liter) waren gelijk aan die van de huidige Oosterschelde. Duidelijk is dat het fosfaatgehalte reeds tijdens het eerste halfjaar na de sluiting (in de zomer van 1961) zeer sterk steeg. Deze toename vond plaats, terwijl het zoutgehalte nog steeds hoog was (fig. 4B), doordat polderwaterinvloeden nog nauwelijks een rol speelden. We moeten hier denken aan twee belangrijke invloeden. In de eerste plaats de afsterving van de getijdgebonden soorten van littoraal en benthos. Het merendeel van de organismen op de drooggevalle dijkvlooiingen en slikken stierven af. (Hetzelfde gebeurde in 1971 in de Grevelingen na de afsluiting). De mineralisatie van het dode organische materiaal heeft gedeeltelijk de stijging van het fosfaatgehalte veroorzaakt. De tweede factor van betekenis is geweest het continueren van de lozing van (ongezuiverd) afvalwater van de stad Middelburg op het Veerse Meer ter hoogte van Veere. Men had besloten deze lozing te beëindigen vóór het moment van sluiting van het Veersche Gat maar de geplande rioolleiding naar de Westerschelde kwam eerst een jaar later tot stand. Vergelijking met de Grevelingen leert dat in dit bekken het ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )-gehalte na de sluiting in 1971 opliep tot  $7\text{-}10 \mu\text{g}$  per liter (VEGTER, 1972), d.i. nog niet de helft van het ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )-gehalte van het Veerse Meer na de sluiting van 1961. Het grootste deel van de stijging van het fosfaatgehalte van het Veerse Meer komt dus op rekening van het rioolwater van Middelburg. In het plankton kwam de sterke toename van de concentratie aan nutriënten o.a. tot uiting in het massaal voorkomen (plaatselijk aan het oppervlak tot  $10 \cdot 10^6$  cellen per liter) van dinoflagellaten van het geslacht *Prorocentrum*, en wel vooral *P.cf.redfieldi* (*P.micans*, de gewone soort voor ons gebied, was veel minder abundant aanwezig). Zoals bekend is periodieke dominantie van één of enkele soorten karakteristiek voor sterk eutroof of verontreinigd zoet, brak of zout water. In zee zijn het vooral dinoflagellaten die 's zomers onder omstandigheden van windstil en zonnig weer gebruik kunnen maken van de toevoer van nutriënten, in zoet water



met name blauwwieren. In 1961 trad de Prorocentrum-bloei ook op in de monden van de Westerschelde, Oosterschelde en Grevelingen (hoewel minder dicht dan in het Veerse Meer) en bleek in juli verantwoordelijk voor het optreden van mosselvergiftiging (KOR-RINGA en ROSKAM, 1961).

Tijdens het voorjaar van 1962 kon het fytoplankton het fosfaat slechts consumeren tot een niveau van ca. 2  $\mu\text{g}$ at per liter (fig. 4C). Het najaarsmaximum lag duidelijk beneden dat van 1961. Een evenwicht was echter, blijkens het verloop gedurende de volgende jaren, nog niet ingetreden: van 1962-1967 werden zowel de voorjaarsminima als de najaarsmaxima hoger. De sterkste stijging trad op van 1965-1967 (voor 1967 met name in het voorjaar), de jaren waarin de grootste hoeveelheden polderwater werden geloosd (verg. de fig. 4A, B en C). Vanaf 1968 lijkt een evenwichtssituatie te zijn ingetreden met voorjaarsminima van 5-7 en najaarsmaxima van 18-20  $\mu\text{g}$ at  $\text{PO}_4\text{-P}$  per liter.

Ondanks de fosfaatconsumptie door het fytoplankton is de concentratie van het fosfaat in het voorjaar hoofdzakelijk afhankelijk van de hoeveelheid geloosd polderwater gedurende die tijd. Daar de hoeveelheden polderwater niet voor alle jaren precies bekend zijn, maar wel de hierdoor beïnvloede zoutgehalten, zijn de laatste waarden in fig. 5 uitgezet tegen de fosfaatgehalten. Ruw-

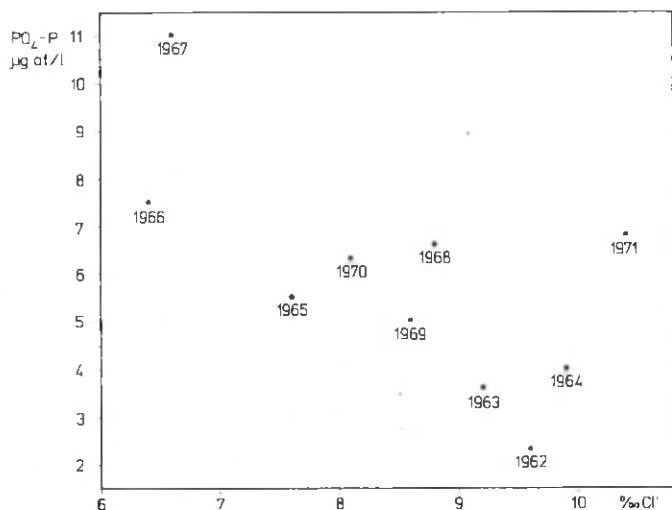


Fig. 5. Minimum chloridegehalten versus minimum fosfaatconcentraties in het voorjaar gedurende 1962-1971. Vergelijk met fig. 4B, C.

Minimal values of chlorinity and phosphate concentration in spring during the period 1962-1971. Compare with fig. 4B, C.

weg blijkt dat bij een dalend zoutgehalte het fosfaatgehalte toeneemt en omgekeerd. Uiteraard speelt de intensiteit van de voorjaarsbloei van het fytoplankton hierbij een belangrijke rol: deze was in 1971 gering zodat hierdoor de extreme ligging van dit punt in fig. 5 verklaard wordt.

De P-belasting van het Veerse Meer vindt plaats via het polderwater en wordt veroorzaakt (a) door afvalwater en (b) door uitspoeling van landbouwgronden.

a. Indirect worden op het meer momenteel ca. 20.000 inwcnerequivalenten geloosd (mondelinge mededeling M.A.van Dijk, Prov. Waterstaat van Zeeland), afkomstig van woonkernen en campings rond het meer. Men kan rekening houden met het vrijkomen van 4 gram P per hoofd van de bevolking per dag, t.w. 2 gram afkomstig van faeces c.a. en 2 gram uit wasmiddelen (BEEK, 1971). Het oppervlak van het meer bedraagt 2000 ha, hetgeen een belasting oplevert van

$$\frac{20.000 \times 4 \times 365 \text{ (g/jr)}}{20.000.000 \text{ (m}^2\text{)}} = 1,46 \text{ g P/m}^2\text{/jr.}$$

Deze waarde is wellicht iets aan de hoge kant omdat het om indirecte lozingen gaat.

b. De gemiddelde fosfaatspoeling van landbouwgronden wordt door KOLENBRANDER (1971) voor Nederland geschat op 0,6 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jr, d.i. 0,26 kg P/ha/jr. Het totale areaal van de op het Veerse Meer lozende gronden is relatief bijzonder groot en bedraagt 14.492 ha (Anonymus, 1971a). De P-belasting vanuit de landbouw bedraagt dan

$$\frac{14.492 \times 0,26 \times 1000 \text{ (g/jr)}}{20.000.000 \text{ (m}^2\text{)}} = 0,19 \text{ g P/m}^2\text{/jr.}$$

Deze waarde is waarschijnlijk aan de lage kant omdat geen rekening gehouden kon worden met de in dit gebied overigens niet zo intensieve veehouderij.

De totale P-belasting van het Veerse Meer zou derhalve in de orde van grootte van 1,5 - 2 g P/m<sup>2</sup>/jr. liggen (1,46 + 0,19 = 1,65). Deze waarde benadert die voor de Loosdrechtse Plassen: ca. 2 g P/m<sup>2</sup>/jr. (GOLTERMAN, 1965).

Het Veluwerandmeer krijgt 2-3 g P/m<sup>2</sup>/jr. toegevoegd (GOLTERMAN, 1970). Het IJsselmeer heeft een belasting van omstreeks 5 g P/m<sup>2</sup>/jr. (POSTMA, 1967; DE KLOET, 1971). Het zwaarst geëutrofiëerde water in Nederland is hoogstwaarschijnlijk het Brielse Meer, waarvan de belasting ca. 15 g P/m<sup>2</sup>/jr. bedraagt (mondelinge mededeling, R.Klomp, Rijkswaterstaat).

De P-belasting van het Veerse Meer blijkt, in vergelijking met bovenstaande cijfers en gezien de hoog oplopende (PO<sub>4</sub>-P)-concentraties gedurende de wintermaanden, dus nog betrekkelijk klein te zijn. Ter oriëntatie moge nog dienen, dat VOLLENWEIDER (1968), in zijn vergelijkend overzicht van diepere meren, belastingen van 0,2-0,5 g P/m<sup>2</sup>/jr. noemt als grenswaarden waarboven eutrofiëring optreedt. Door de geringe diepte van onze laaglandmeren, waarbij binding van fosfaat aan het bodemslib optreedt, zijn Vollenweiders afgrenzingen niet zonder meer op de situatie in Nederland toe te passen. Dat het aan het slib gebonden fosfaat weer voor algen beschikbaar kan komen en aldus kan bijdragen tot een interne P-belasting (internal loading, Vollenweider l.c.) werd door GOLTERMAN c.s. (1969) aangetoond. Hierop gaan we niet verder in.

Fosfaat is dus sinds het bestaan van het Veerse Meer steeds in overmaat aanwezig geweest. Dit geldt niet van de N-verbindingen waarvan slechts gedurende de laatste 3 jaren metingen verricht zijn. VEGTER (1972) vond een maximum ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )-gehalte van 1,55 mg per liter, dit is hoogstens het dubbele van wat in de Oosterschelde wordt aangetroffen. Tijdens winters waarin weinig polderwater wordt uitgeslagen (1970-'71) kunnen de ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )-gehalten van Veerse Meer en Oosterschelde zelfs nagenoeg gelijk zijn (i.c. 0,7 mg per liter). Gedurende de voorjaarsbloei fungeert het nitraat derhalve als minimumfactor en wordt nagenoeg geheel opgebruikt.

##### 5. De zuurstof- en chlorophyll-gehalten

De sterke ontwikkeling van het fytoplankton in het voorjaar is oorzaak van sterke zuurstofoververzadiging gedurende die tijd. Afbraak van het afstervende materiaal in de voorzomer bij stijgende watertemperatuur veroorzaakt een duidelijke daling van het zuurstofgehalte. In fig. 6B worden de zuurstofcijfers in beeld gebracht, wederom door twee punten per jaar, het voorjaarsmaximum (synchroon met het laatste gedeelte van de exponentiële fase van de fytoplanktongroei) en het voorzomerminimum. Deze waarden representeren de gemiddelden voor het totale volume van het noordwestelijke meergedeelte (monsterpunt Caisson, fig. 2).

Het eerste jaar (1961) kenmerkte zich door een niet zo hoog voorjaarsmaximum van 120% verzadiging (nog gemeten in het getijdengebied) en een niet zo laag zomerminimum van 80%. (In een mariene getijdengebied daalt het zuurstofgehalte meestentijds niet beneden de 90%, zie tabel I). In volgende jaren zijn veel lagere minima gemeten: 1962, 1963, 1970. Het water had tijdens het zomerhalfjaar na de sluiting in 1961 nog een hoog zoutgehalte (fig. 4B) en er leefden dan ook nog steeds vele mariene fytoplankters (m.n. diatomeeën van het genus *Chaetoceros* en de reeds vermelde dinoflagellaat *Prorocentrum*), die voor een goede zuurstofvoorziening bleven zorgen. In 1962 veranderde de situatie sterk voor wat betreft de zuurstofonttrekking in het zomerhalfjaar. Door het sterk gedaalde zoutgehalte (beneden de  $10^5/100 \text{ Cl}^{\prime}$ ; fig. 4B) waren de meeste mariene soorten geëlimineerd. Er had zich in het voorjaar een nieuwe gemeenschap gevormd van diverse flagellatensoorten, kokkoïde  $\mu$ -cellen, diatomeeën (reeds aanwezige soorten zoals *Skeletonema costatum*, nieuw optredende soorten zoals *Chaetoceros mulleri*) en de ciliaat *Mesodinium pulex*, voorzien van zoöxanthellen (BAKKER 1966, 1967a). Ten behoeve van de afbraak van het organische materiaal van deze soorten werd veel zuurstof aan het water onttrokken zonder dat het zuurstofgehalte in de zomer weer tot het verzadigingspunt kon worden aangevuld. Bovendien kwam gedurende langere tijd warm weer voor met dalende barometerstand zodat het zuurstofgehalte in juli-augustus in de diepere gedeelten tot nul daalde en het gemiddelde zuurstofpercentage beneden de 40 lag. Een ernstige vissterfte trad op waarbij niet alleen veel bodemvissen betrokken waren maar ook pelagische vis, speciaal blik.

Hoewel nog vaker zeer lage gemiddelde zuurstofverzadigingspercentages gevonden werden (1963: ca. 45; 1970: ca. 50) werd vissterfte op grote schaal niet meer geconstateerd. In 1964, 1965 en 1966 lagen de minimale zuurstofverzadigingspercentages veel hoger (85-95), hetgeen voor wat betreft de laatste twee ja-

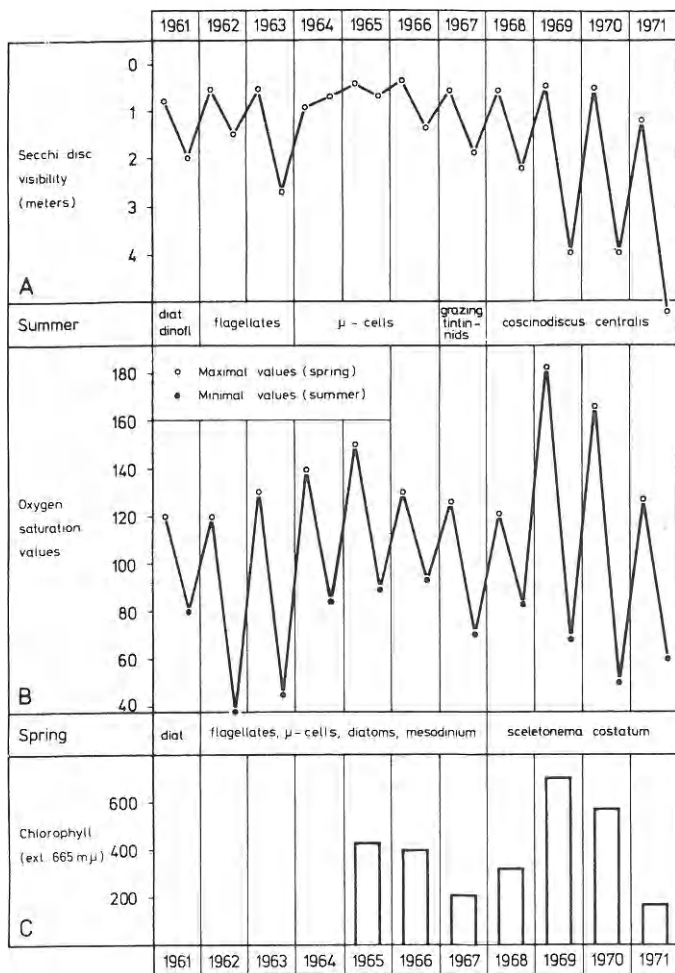


Fig. 6. Transparantie, zuurstof- en chlorophyll-gehalten van het Veerse Meer gedurende de jaren 1961-1971. A. Maximale en minimale helderheid van het water in meters zichtdiepte gemeten met de Secchi-schijf. B. Hoogste en laagste zuurstofverzadigingspercentages, berekend als gemiddelde waarden voor het totale volume van het Noordwestelijke meerge-deelte (Caisson). C. Maximale waarden voor het chlorophyll-gehalte in het voorjaar, bepaald uit monsters van 1 liter.

Transparency, oxygen- and chlorophyll contents of Lake Veere during the period 1961-1971. A. Maximal and minimal values of Secchi disc visibility (meters). B. Maximal and minimal values of oxygen saturation, estimated as average values of the total volume of the northwestern part of the lake (Caisson). C. Maximal values of chlorophyll content in spring determined in 1 liter samples.

ren vooral veroorzaakt werd door natte winderige zomers waardoor veel atmosferische zuurstof in het water gebracht werd. Tijdens de goede zomer van 1967 lag de minimumwaarde dan ook weer lager (beneden de 70%). De hoeveelheid afbreekbaar materiaal, afhankelijk van de intensiteit van de voorjaarsopbloei, is dus, door de belangrijke invloed van het verloop van de zomertemperatuur en de mate van verticale menging van de waterkolom t.g.v. de wind, niet de enige factor die de zomerse zuurstofminima beïnvloedt.

Een duidelijk samenvallen van de gemiddelde maximum standing crops aan chlorophyll in het voorjaar met de gemiddelde zuurstofverzadigingsminima in de zomer treedt dan ook niet op, zoals duidelijk wordt uit de vergelijking van fig. 6B en C, nader weergegeven in fig. 7. De zuurstofverzadigingspercentages in het voorjaar daarentegen, hangen samen met de grootte van de standing crops aan fytoplankton (fig. 7).

## 6. De helderheid van het water, gemeten met de Secchischijf

Gedurende de voorjaarsbloei worden ook in het mariene getijdengebied geringe zichtdiepten gemeten: ca. 80 cm in 1961, vlak voor het ontstaan van het Veerse Meer (fig. 6A). In de Oosterschelde varieert de zichtdiepte tussen ca. 1 m in het voorjaar en 5-6 m in zomer en nazomer (tabel I). De minimale en maximale zichtdiepten van het Veerse Meer water in voorjaar resp. nazomer zijn afgezet in fig. 6A. De voorjaarsminima liggen meestal op een 50-70 cm, de najaarsmaxima lopen sterk uiteen. Gedurende 1961-'63 traden er maxima op van 1,5-2,7 m. In 1964 en 1965 daarentegen was de situatie geheel verschillend van de voorgaande jaren. In 1964 was de zichtdiepte des zomers zelfs nog kleiner dan in het voorjaar en ook in 1965 was deze waarde kleiner dan 1 m. De oorzaak hiervan was de sterke ontwikkeling in het meer van kokkoïde  $\mu$ -cellen die gedurende deze jaren in concentraties van 0,5-10.10<sup>6</sup> cellen per ml voorkwamen (BAKKER, 1967b). Deze organismen kunnen vooral in sterk geëutrofiëerde milieu's voorkomen en blijken tevens minder gevoelig voor sterke fluctuaties in het zoutgehalte. Er is vrij veel onderzoek gedaan over dergelijke organismen (voor enige literatuurverwijzingen, zie BAKKER, 1967b); RYTHER (1954) b.v. trof veel  $\mu$ -cellen aan in Great South Bay, een door eendenfarms sterk verontreinigde baai ter hoogte van New York en constateerde een optimale groei op  $NH_4$  als substraat. In het Veerse Meer plegen ze dan ook in grote getale voor te komen vlak na de voorjaarsbloei van het fytoplankton. In de zomer van 1964 traden ze voor het eerst massaal op en ze persisteerden in het natte jaar 1965 in voorjaar en zomer. In 1966 en 1967 traden ze geleidelijk minder op de voorgrond, waarbij vooral in de zomer van 1967 een sterke reductie van het aantal optrad t.g.v. grazing door *Tintinnida*. In 1968 nam de helderheid nog verder toe tot beneden 2 m; in 1969 en 1970 werden waarden van bijna 4 m bereikt en in 1971 5-6 m. Waarschijnlijk begunstigd door de toenemende helderheid van het water en het vanaf 1967 steeds boven de 10/100 stijgende chloridegehalte deed de mariene diatomee *Coscinodiscus centralis* zijn intrede in het meer en is sinds 1968 de aspectbepalende zomersoort.

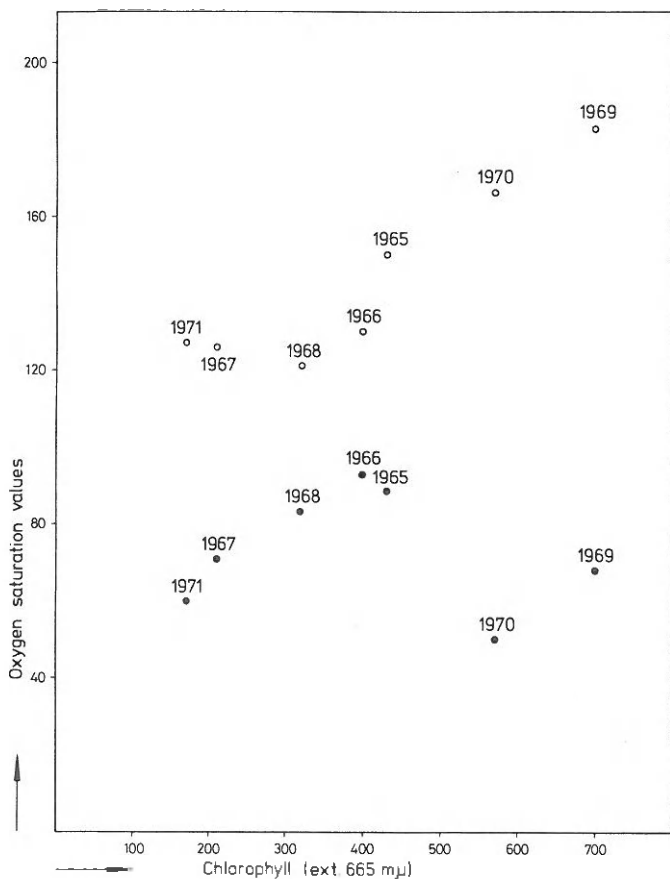


Fig. 7. Gemiddelde zuurstofgehalten in het voorjaar (o = maximale waarden; verg. fig. 6B) en gemiddelde zuurstofgehalten in de zomer (• = minimale waarden; verg. fig. 6B) versus maximale chlorofyllgehalten in het voorjaar (verg. fig. 6C). Veerse Meer, periode 1965-1971.

Average oxygen contents in spring (o = maximal values, compare with fig. 6B) and in summer (• = minimal values, compare with fig. 6B) against maximal values of chlorophyll content in spring (compare with fig. 6C). Lake Veere, period 1965-1971.

## 7. Het plankton

Uit het geschetste verloop van zoutgehalte, fosfaatgehalte, zuurstofverzadigingscijfers en zichtdiepte van het Veerse Meer bleek dat deze factoren alle een sterke jaarlijkse fluctuatie vertonen. Dergelijke sterke schommelingen zijn kenmerkend voor een nog jong soortenarm oecosysteem (ODUM, 1969). Het oorspronkelijk gebied maakte deel uit van de Oosterschelde, een soortenrijk marien getijdgebied. In tabel I worden enkele planktongegevens en daarmee samenhangende chemisch-fysische factoren van Oosterschelde en Veerse Meer naast elkaar gezet. Van het fytoplankton van de Oosterschelde wordt het aspect bepaald door de diatomeeën. (Hierbij zijn zuiver benthische soorten, meestal pennate vormen, die door opwerveling van bodemmateriaal in het plankton terecht kunnen komen niet in rekening gebracht). Ook het zoöplankton van de Oosterschelde is veel rijker dan van het Veerse Meer. De diversiteit van de benthos-fauna (Polychaeta wormen b.v.) van een zee-arm met water van hoog zoutgehalte (zoals de Oosterschelde) komt ook in het plankton tot uitdrukking daar de meeste van deze soorten pelagische larvestadiën bezitten (meroplankton). Jonge oecosystemen die bovendien nog, zoals het Veerse Meer, sterk geëutrofiëerd zijn, zijn tevens productiever dan meer vol-groeide oecosystemen. De standing crops zijn dan ook veelal enkele tot vele malen groter dan in de Oosterschelde, zoals uit enkele cijfers van tabel I blijkt. Een verdere bewerking van de kwantitatieve gegevens zal overigens in een volgende publicatie plaats vinden. In het navolgende zal speciaal een kwalitatieve benadering van de ontwikkeling van het plankton in het Veerse Meer gedurende de jaren 1961-1971 worden gegeven.

Voor enkele groepen planktonorganismen is nagegaan welke soorten in de loop der jaren zijn opgetreden of verdwenen. Hiertoe werden gekozen van het fytoplankton de diatomeeën (tabel II) en van het zoöplankton de raderdieren en Crustacea (tabel III). Voor wat betreft de diatomeeën zijn ook enkele benthisch-littorale soorten opgenomen (*Melosira moniliformis* en *M. nummuloides*) omdat deze periodiek zeer sterk het planktonbeeld kunnen bepalen. In tabel III is tevens opgenomen de turbellaar *Alaurina composita*, een holoplanktische worm. Meroplanktonische organismen (polychaeten- en molluskenlarven) zijn niet opgenomen. Onderaan de tabellen II en III zijn de soorten verdeeld in meso-polyhalobe (brakwater-) soorten en poly-euhalobe (mariene) soorten. Als een soort, hetzij een brakwatersoort of een mariene soort, van jaar tot jaar werd aangetroffen dan werd deze autochtoon genoemd. Dit betreft derhalve soorten die binnen het meer een jaarcyclus voltooien. Werd een soort nu en dan gezien of voor de eerste maal aangetroffen dan werd deze incidenteel genoemd. Dit betreft dus soorten die in het meer geïntroduceerd werden, zich tijdelijk (en soms massaal) konden ontwikkelen maar het volgende jaar niet meer werden gezien. De tabellen werden samengesteld uit gegevens afkomstig van de monsters van het westelijke punt Caisson. Dit is belangrijk omdat op dit punt nooit een directe penetratie van Oosterscheldewater (zie onder (2) en (3) en fig. 2) en dus evenmin een directe introductie van mariene organismen kan optreden (behalve ui-

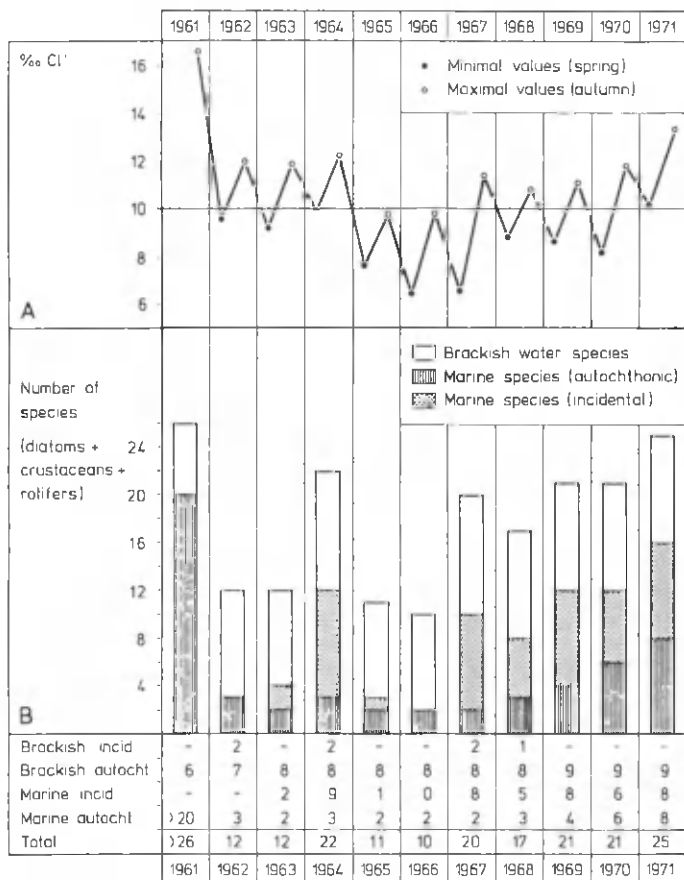


Fig. 8. Chloridegehalte (A) en aantallen soorten van enkele groepen plankton-organismen (B) van het Veerse Meer gedurende de jaren 1961-1971. Zie verder de tekst.

Chlorinity (A) and numbers of species of some groups of planktonic organisms (B) of Lake Veere during the period 1961-1971. For further explanation see text of the summary.



teraard via vogels). Via het oostelijke punt Dijkhuis worden met het schutwater regelmatig Oosterscheldesoorten in het meer gebracht. Dit punt kan dus, voor wat betreft zijn soortensamenstelling, niet als normatief voor het meer gelden. Als deze soorten zich kunnen handhaven en uitbreiden in het brakke meerwater dan moet dit blijken uit hun voorkomen in meer westelijke richting, vandaar de keuze van het noordwestelijke monsterpunt om de ontwikkeling van het plankton in het meer te kunnen demonstreren.

Uit de tabellen II en III blijkt dat in 1961 (het meer was juist ontstaan) verreweg de meeste soorten nog van mariene oorsprong waren: diverse Chaetoceros-soorten en verschillende copepoden. Vele diatomeeën uit het voormalige getijdengebied bleken, ondanks het nog hoge zoutgehalte, niet meer in het Veerse Meer te kunnen floreren. Voor zwaar beschaalde vormen is het wegvallen van het getij voldoende om deze soorten uit te schakelen: ze zinken naar de bodem en worden nauwelijks meer geresuspendeerd. Tevens zullen diverse soorten door de direct na de afsluiting inzettende eutrofiëring ongunstig in hun ontwikkeling zijn beïnvloed. Door de resterende soorten (tabel II) kon de sterke nutriëntenbelasting dus klaarblijkelijk, althans aanvankelijk, verdragen worden. Eerst in 1962, het volgende jaar, bleken ook deze laatste mariene soorten verdwenen te zijn als gevolg van de sterke daling van het zoutgehalte. Neritische diatomeeën, levend in het poly-euhalobe kustwater zijn qualitate qua euryhalien (BAKKER, 1967b). Kleinere fluctuaties van het zoutgehalte in het polyhaliene bereik kunnen dus heel wel verdragen worden. Ook de geleidelijke verlaging van het zoutgehalte, zoals die optreedt in de brakwaterzone van een estuarium, kan door diverse euryhaliene mariene soorten worden getolereerd en zelfs geprefereerd (DE PAUW, 1971; BAKKER, jaarverslag Delta Instituut 1970). Sterke fluctuaties daarentegen, en met name snelle continue dalingen tot beneden de 10‰/oo Cl', blijken funest te zijn voor verreweg de meeste soorten. Uitzonderingen vormden de bekende sterk euryhaliene kustdiatomeeën *Skeletonema costatum* (in tabel II als B=brak geclassificeerd) en *Nitzschia closterium* (idem). *Thalassiosira nordenskiöldi* bleef de eerste jaren na de sluiting optreden. De mariene copepoden verdwenen in 1962 alle, behalve *Acartia tonsa* die sinds die tijd ieder jaar 's zomers abundant aanwezig is. Terstond in het voorjaar 1962 trad de holeuryhaliene brakwatercopepode *Eurytemora affinis* op. De soort werd via het op het meer geloosde polderwater aangevoerd en is sindsdien steeds in het voorjaarsplankton aanwezig. In 1963 werd hieraan een tweede *Eurytemora*-soort, *E.americana*, toegevoegd. Deze euryhaliene mariene soort is nieuw voor de nederlandse fauna. Ze is het Veerse Meer binnengekomen via de Oosterschelde of zat reeds in het meer ten tijde van de sluiting. De soort is door WILLIAMS (1906) beschreven voor de Amerikaanse oostkust en door GURNEY (1933) aangetroffen in het Kanaal onder Plymouth. Op deze vondst werd door REDEKE (1935) de aandacht gevestigd met het oog op het kunnen voorkomen van deze *Eurytemora* in onze kustwateren. Tot op heden heeft *E.americana* zich in het meer gehandhaafd.

Van de raderdieren is de mesohalobe *Synchaeta littoralis* sinds 1962 talrijk in het voorjaarsplankton aanwezig. De brakwatervormen *Brachionus plicatilis* en *Testudinella spec.* worden af

	Lake Veere	Oosterschelde
diatoms: number of species	< 30	> 100
: vol.% standing crop of phytoplankton	10-90	70-99
: plankton volumes (mm <sup>3</sup> /l)	1-75	0,1-20
other phytoplankton org.: number of species (= $\mu$ -cells, green flagellates, chrysoph., cryptoph., dinoflagellates)	ca.50	ca.50(dinofl.)
: vol.% standing crop of phytoplankton	10-90	1-30
: plankton volumes (mm <sup>3</sup> /l)	5-50	0,1-2
coccolid $\mu$ -cells: number/ml	0,5-10.10 <sup>6</sup>	-
zooplankton: number of species	ca.50	150
chlorophyll content/l (ext. 665 mu)	5-700	2-200
average oxygen saturation values	50-180	90-150
surface pH	7,9-9,1	7,9-8,4
Secchi disc visibility (m)	0,5-5,5	1,0-5,5

Tabel I. Enkele planktongegevens en daarmee samenhangende chemisch-fysische factoren van Veerse Meer en Oosterschelde (gewijzigd naar Bakker 1967b).

Table I. Some data about plankton and chemical-physical parameters of Lake Veere and Oosterschelde.

en toe in het meer geïntroduceerd via het polderwater resp. het kanaal door Walcheren, maar hebben zich tot op heden niet in het meer kunnen ontwikkelen.

In de jaren 1962 en 1963 was het totaal aantal aangetroffen soorten van de in tabel II en III vermelde groepen laag in vergelijking met 1961 als direct gevolg van de afsluiting. In 1964 bleek het soortenaantal duidelijk te zijn toegenomen door de entree van een serie euryhalie mariene vormen: de raderdieren *Trichocerca marina marina*, *Synchaeta vorax* en *S.triophthalma*, de turbellaar *Alaurina composita* en de diatomeeën *Nitzschia longissima*, *Rhizosolenia setigera*, *Detonula confervacea*, *Biddulphia sinensis* en *Ditylum brightwelli*. De natte jaren 1965 en 1966 daarentegen lieten weer een drastische vermindering van het aantal mariene soorten zien. Slechts de mesohalobe brakwatersoorten handhaafden zich. De sterke daling van het zoutgehalte tijdens het voorjaar (tot waarden beneden de 7‰ Cl<sup>-</sup> in 1966) was oorzaak dat de gebruikelijke stijging van het chloridegehalte gedurende de zomermaanden niet tot waarden boven de 10‰ leidde. Ongetwijfeld is de eliminatie van de euryhalien-mariene soorten in die jaren hiervan het gevolg geweest.

De zeer goede zomer van 1967 resulteerde ondanks het lage chloridegehalte in het voorjaar tot waarden boven de 10‰. Prompt bleken zich wederom een aantal mariene soorten in het meer te kunnen vestigen. Vanaf 1967 kon iedere zomer de 10‰ Cl<sup>-</sup>-grens overschreden worden en sinds die tijd komen dan ook ieder jaar populaties van de raderdieren *Synchaeta triophthalma* en *S.vorax* tot ontwikkeling alsmede de watervlo *Podon polyphemoides* en de turbellaar *Alaurina composita*. De laatstgenoemde soort heeft zich tijdens juni 1971 massaal ontwikkeld. Opmerkenwaard is dat dit destijds ook het geval was in de voormalige Zuiderzee (HOFKER, 1930). Van de kiezelwieren dienen vermeld te worden *Coscinodiscus centralis* die sinds 1968 en *Nitzschia seriata* die sinds 1969 tot de re-

Diatom species	'61	'62	'63	'64	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71
<i>Chaetoceros debile</i>	+										+
<i>decepiens</i>	+							+			+
<i>didymum</i>	+										+
<i>wighamii</i>								+			
<i>holsteticum</i>							+				
<i>anastomosans</i>	+		+								
<i>affine</i>	+										
<i>mulleri</i> (B)			+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Coscinodiscus excentricus</i>							+				
<i>radiatus</i>											+
<i>centralis</i>								+	+	+	+
<i>gigas praetexta</i>											+
<i>Skeletonema costatum</i> (B)	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia longissima</i>				+							+
<i>seriata</i>									+	+	+
<i>sigma</i> (B)	.	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+
<i>closterium</i> (B)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhizosolenia setigera</i>	+			+			+			+	
<i>Detonula confervacea</i>				+	+						
<i>Biddulphia regia</i>											+
<i>sinensis</i>				+						+	
<i>Melosira moniliformis</i> (B)	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>nummuloides</i> (B)	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>granula</i> (B)				+							
<i>Bellerophon malleus</i>										+	
<i>Ditylum brightwellii</i>				+			+		+		+
<i>Lithodesmium undulatum</i>										+	
<i>Thalassiosira nordenskioldi</i>	+	+	+	+							
<i>Bacteriastrium hyalinum</i>	+										
<i>Leptocylindrus danicus</i>	+										
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	+										
Brackish (autochthonic)	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Brackish (incidental)	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Marine (autochthonic)	10	1	1	1	-	-	-	-	1	2	2
Marine (incidental)	-	-	1	5	1	-	4	3	5	3	7
Total	15	6	8	13	7	6	10	9	12	11	15

Tabel II. Diatomeeën-plankton van het Veerse Meer gedurende de jaren 1961-1971  
(B) = brakwatersoort; . = spaarzaam; + = talrijk; zie verder tekst

Table II. Diatom-plankton of Lake Veere during the period 1961-1971  
(B) = brackish water species; . = sparsely; + = abundantly.

gelmatig optredende zomerplankters van het Veerse Meer behoren. Opvallend was dat in 1971 dezelfde *Chaetoceros*-soorten in het meer tot bloei kwamen die ook tijdens de zomer van 1961, onder omstandigheden van een hoog zoutgehalte gecombineerd met sterke eutrofiëring, optraden. Voor *Coscinodiscus centralis* geldt dat na de zomerse opbloei nog voldoende vitale cellen in het water achterblijven (die gedurende herfst, winter en voorjaar in het plankton aantoonbaar zijn) om tijdens de volgende zomer weer een nieuwe populatie te vormen. Tijdens de winter- en voorjaarsperiode kunnen de overblijvende cellen van deze zomerdiatomee dus kennelijk de ongunstige daling van het zoutgehalte tot beneden de  $10/1000 \text{ Cl}^-$  weerstaan. In dat geval mag de soort dus autochtoon genoemd worden. Voor soorten als *Ditylum brightwellii* ligt in de noodzakelijke overbrugging van de winterperiode met water van laag zoutgehalte wellicht een onoverkomelijke drempel om blijvend te kunnen aanslaan. Dergelijke soorten zouden dus steeds opnieuw via de Zandkreeksluis moeten worden aangevoerd tijdens het zomerhaljaar om zich in het Veerse Meer tijdens de voor hen gunstige periode te kunnen ontwikkelen.

Zooplankton species	'61	'62	'63	'64	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71
<i>Synchaeta littoralis</i>	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>triphthalma</i>	+			+			+		+	+	+
<i>curvata</i>								+	+	+	+
<i>vorax</i>	+			+			+	+	+	+	+
<i>tavina</i>										+	
<i>Keratella cruciformis</i>											
<i>eichwaldii</i> (B)				+			+				
<i>Brachionus plicatillis</i> (B)		+					+				
<i>Testudinella spec.</i> (B)		+									
<i>Trichocerca marina marina</i>	.			+			+		+		+
<i>Centropages hamatus</i>	+										
<i>Temora longicornis</i>	+										
<i>Pseudocalanus min. elongatus</i>	+										
<i>Paracalanus parvus</i>	+										
<i>Acartia clausi</i>	+										
<i>tonsa</i>	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Eurytemora affinis</i> (B)		.	.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>americana</i>			+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Podon polyphemoides</i>										+	+
<i>Auxina composita</i>				.			.	.	.	.	+
Brackish (autochthonic)	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
Brackish (incidental)	-	3	-	1	-	-	2	1	-	-	-
Marine (autochthonic)	10	2	1	2	2	2	2	3	3	4	6
Marine (incidental)	-	-	1	4	-	-	4	2	3	3	1
Total	11	6	4	9	4	4	10	8	9	10	10

Tabel III. Zoöplankton (raderdieren, copepoden, cladoceren, turbellariën) van het Veerse Meer gedurende de jaren 1961-1971. (B) = brakwatersoort; . = spaarszaam. + = talrijk; zie verder tekst.

Table III. Zooplankton (rotifers, copepods, cladocerans, turbellarians) of Lake Veere during the period 1961-1971. (B) = brackish water species; . = sparsely; + = abundantly.

In fig. 8B worden de soortenaantallen diatomeeën, crustaceeën en raderdieren in de vorm van blokdiagrammen gepresenteerd. Duidelijk komt naar voren dat het aantal sterk eurhaliene brakwatersoorten nagenoeg constant is gebleven maar dat het aantal eurhaliene mariene soorten toeneemt bij een zoutgehalte boven de  $10^{\circ}/\text{oo Cl}'$ . Komen de zomere zoutgehalten niet boven de  $10^{\circ}/\text{oo Cl}'$  dan treden er nauwelijks mariene soorten op. Stijgt het zoutgehalte een eindwegs boven de  $10^{\circ}/\text{oo Cl}'$  dan blijken in die tijd mariene soorten te kunnen aanslaan. Wanneer enkele goede zomers op elkaar volgen blijkt er een zeker cumulatief effect op te treden: verschillende nieuwe soorten blijken nu van jaar op jaar voor te komen en dus tot de autochtone soorten van het Veerse Meer te gaan behoren terwijl er ieder jaar enkele soorten voor het eerst of opnieuw in het meer aanslaan.

## 8. Discussie

Vóór de afsluiting van het Veerse Meer maakte het betreffende water deel uit van de Oosterschelde, een zeearm met een hoog zoutgehalte en een relatief laag nutriëntengehalte. Hierin komt een zeer rijke en uitgebalanceerde levensgemeenschap voor. Na de afsluiting viel het getij weg en begon het water sterk te eutrofiëren terwijl na een half jaar het zoutgehalte tot beneden de  $10^{\circ}/\text{oo Cl}'$  daalde. De gemiddelde jaarlijkse zoutgehaltefluctuatie bedraagt bijna  $3^{\circ}/\text{oo Cl}'$ , waarbij in de regel in het voorjaar het zoutgehal-

te beneden en 's zomers boven een niveau van  $10^0/100$  Cl' ligt. Dit factorencomplex transformeerde het aanvankelijk stabiele mariene milieu in een instabiel brakwatermeer. De soortenrijke levensgemeenschap maakte plaats voor een biocoenose arm aan soorten met een tijdelijk (en wel tijdens het voorjaar) grote productiviteit. De sterk euryhaliene (poly-mesohalobe) diatomee *Skeletonema costatum*, die tolerant blijkt voor zoutgehalten dalend tot  $6^0/100$  Cl', vormt de grootste standing crops in het voorjaar. Diverse minder sterk euryhaliene mariene diatomeeën die tolerant blijken voor zoutgehalten die niet dalen beneden de  $10^0/100$  Cl' (polyhalobe soorten) komen in de zomer voor: *Ghaetoceros*-soorten, *Coscinodiscus entralis*, *Nitzschia seriata*, *Ditylum brightwellii*.

In een brakwater-biotop als het Veerse Meer is aan de hand van de verschuivingen die optreden in het plankton duidelijk te demonstreren welke factoren leiden tot grotere milieustabiliteit en toenemende biologische diversiteit en welke het omgekeerde effect tot gevolg hebben. Het zoutgehalte is de overheersende milieu-factor, zowel wat het absolute niveau betreft als de fluctuaties ervan. Wil zich in een stagnant zoutwaterbiotop een stabiele mariene soortengemeenschap (een polyhalobe biocoenose) handhaven dan zal het zoutgehalte blijvend boven de  $10^0/100$  Cl' moeten liggen. Om te voorkomen dat de in een dergelijk biotop nooit geheel te vermijden fluctuaties in zoutgehalte desastreus voor de gemeenschap worden zal ter wille van het behoud van de stabiliteit gestreefd dienen te worden naar een niveau van  $14-16^0/100$  Cl'. Hoe kleiner de fluctuaties in zoutgehalte zullen zijn hoe beter. HEERBOUT (1970) toonde aan dat de littorale fauna van 19 binnendijkse brakke plassen in Z.W.-Nederland des te rijker was naarmate het mediane zoutgehalte hoger was en de fluctuaties in zoutgehalte kleiner. De planktongegevens van deze plassen waren hiermee in overeenstemming (BAKKER, ongepubliceerd). Als daarenboven het eutrofiëringsproces kan worden afgeremd zal het milieu zich nog verder kunnen stabiliseren. Met name zullen de kansen op het massaal voorkomen van (eventueel giftige) flagellaten worden verminderd. Binnen de oecologische successie die het Veerse Meer de laatste jaren doormaakt blijkt een geleidelijke vergroting van de biologische diversiteit te kunnen plaatsvinden ondanks een hoog nutriëntengehalte.

Zoals bekend is meent de regering dat in het kader van de uitvoering van de Deltawet de Oosterschelde in 1978 afgesloten moet worden. De oorspronkelijke bedoeling was om het dan ontstane Zeeuwse Meer met rivierwater (van Rijn en Maas) te doorspoelen en op den duur te verzotten. Gezien de huidige, zeer slechte kwaliteit van het Rijnwater is deze bestemming biologisch en milieuhygiënisch uitermate verwerpelijk. Biologisch vanwege de algehele verdwijning van een rijk gevarieerde biocoenose waarvoor (zelfs op langere termijn gerekend) nauwelijks iets waardevols in de plaats komt; milieuhygiënisch o.m. vanwege de ongetwijfeld optredende zomerse massale opbloei van blauwalgen met alle gevaren van dien voor recreatie en visstand. In een recent rapport (Anonymus, 1971b) wordt dan ook, indien de afsluiting van de Oosterschelde om waterstaatkundige redenen onvermijdelijk wordt geacht, sterk gepleit voor compartimentering van het Zeeuwse Meer. En dit dan in dier

voege dat, d.m.v. het leggen van een secundaire dam van Schouwen naar Zuid-Beveland, een westelijk bekken kan worden gevormd dat zout water blijft bevatten. Het valt buiten het bestek van dit artikel een en ander hier nader uit te werken. Volgens Rijkswaterstaat is de technische realisering (inclusief bepaalde mogelijkheden van doorstroming ter handhaving van een hoog zoutgehalte-niveau) zonder meer mogelijk. In dit verband is het voldoende om, in het licht van de gegevens die 10 jaren Veerse Meer onderzoek hebben opgeleverd, de betekenis van een dergelijk zout, stagnant bekken te onderstrepen. Biologisch gezien mag in een dergelijk uniek milieu een rijk gevarieerde planktonische levensgemeenschap worden verwacht. Milieuhygiënisch gezien moet de waarde van het bekken hoog worden aangeslagen omdat het inferieure rivierwater wordt buitengesloten. Bovendien treedt zomerse opbloei van blauwalgen in zout water niet op, zelfs niet bij sterke eutrofiëring, zoals het onderzoek in het Veerse Meer heeft uitgewezen. Als bovendien het te lozen afvalwater geheel wordt gezuiverd (of eventueel tijdelijk kan worden afgeleid naar elders) is in ieder opzicht een goede prognose voor een dergelijk gebied te geven.

## 9. Summary

### ENVIRONMENT AND PLANKTON OF THE BRACKISH LAKE VEERE, A PREVIOUS SEA-ARM IN THE S.W.-NETHERLANDS (A GLOBAL ACCOUNT OF TEN YEARS OF INVESTIGATION).

Some morphometrical data about the lake.

Length: 24 km; width: 0.25-1.5 km; surface area ca. 20 km<sup>2</sup>; depth of the old tidal gullies: 6-20 m; average depth: 4.5 m; lake volume: 96 millions m<sup>3</sup> in summer, 83 millions m<sup>3</sup> in winter. In spring the water level is raised to N.A.P. (Dutch Ordnance Level), partly by seawater flowing in from the Oosterschelde via the sluice of Kats (fig. 2), partly by drainage from the surrounding polders. During autumn a comparable amount of brackish water is discharged on the Oosterschelde resulting in a winter level of 0.70 m minus N.A.P.

Three stations (Dijkhuis, Weegbrug and Caisson; fig. 2) are sampled once a month. The fluctuations of some environmental factors are discussed.

#### Chlorinity.

Chlorinity decreases during winter to minimal values in spring and increases during summertime (fig. 3). In fig. 4B the chlorinity fluctuations during 1961-1971 are shown. Spring values are lower, summer values are higher than 10 ‰ Cl<sup>-</sup>, except for the years 1965 and 1966 when large amounts of drainage water caused lower chlorinity values throughout the year.

#### Phosphate.

Dissolved inorganic phosphate contents are exceptionally high, rising to levels of ca. 20 µgat PO<sub>4</sub>-P/l (fig. 4C). Decreasing chlorinities coincide with increasing phosphate concentrations (fig. 5). During the first months (spring 1961) of existence of the newly created lake littoral-benthic tide-bound organisms died in great numbers. Moreover, direct discharge of raw sewage of the town of Middelburg (fig. 1) was continued after the closure of the

sea-arm during a full year. These factors combined caused a sharp rise in  $(PO_4-P)$ -contents (from  $<1>18 \mu\text{g}/\text{l}$ ; fig 4C). In the course of 1962 the sewage discharge of Middelburg was shifted towards the Westerschelde (fig. 1) but large P-concentrations persisted during the following years depending on the relatively very large quantities of drainage water (fig. 4A). This drainage water moreover received raw or partly purified sewage of several little towns, villages and campings around the lake. A total amount of ca. 20.000 I.E. is indirectly discharged on the lake, causing in combination with P washed out from the polders a P-loading of 1.5-2 g P/m<sup>2</sup>/year. Strong blooming of phytoplankton populations in spring (f.i. *Skeletonema costatum*) is only able to consume the phosphates to a level of 5-7  $\mu\text{g}/\text{l}$   $PO_4-P/1$  (fig. 4C: 1968-1971). During the summer of 1961 the rapidly continuing eutrophication of the lake was accentuated by the abundant occurrence in the plankton of *Proocentrum* species (notably *P.cf.redfieldi*).

#### Oxygen.

In connection with the spring blooms of phytoplankton average oxygen values (of the northwestern sampling point Caisson; fig. 2) always show strong supersaturation (fig. 6B, 7). Mineralization of the dying algal cells leads to oxygen consumption to low averages. Severe mortality of fish has been observed in the summer of 1962. Transparency.

Minimal Secchi disc visibilities in spring are 0.5-0.7 m. Transparencies generally increase during summer and did reach values of 4-6 m last years (1969-1971; fig. 6A). The low transparencies during the summers of 1964 and 1965 were caused by strong development of coccoid  $\mu$ -cells occurring in concentrations of  $0.5-10 \times 10^6$  cells/l. These organisms are able to tolerate environments strongly fluctuating in salinity, coupled with high nutrient loading. In Lake Veere  $\mu$ -cells are always abundant immediately after the spring bloom of phytoplankton. During relatively dry summers when salinity of the lake water is rising the numbers of these organisms tend to diminish.

#### Plankton.

Before the closure of the previous sea-arm the area under investigation formed a part of the Oosterschelde characterized by high salinities and relatively low nutrient concentrations. In this undisturbed coastal seawater rich communities of plankton and benthos occurred. Immediately after the closure (1961) the tides disappeared, the water received agricultural drainwater with sewage and during the next year (1962) chlorinity fell below  $10^{\circ}/\text{oo}$ . In this way the originally stable marine environment was transformed into an unstable brackish water lake. A balanced community, rich in species, was replaced by a poor biocoenosis with temporarily great productivity (notably in spring).

Marine phytoplankton is characterized by diatoms; in the brackish water plankton of Lake Veere flagellates,  $\mu$ -cells and *Mesodinium pulex* (with zoöxanthellae) came to dominance during the first 5 years after the closure (fig. 6). In table I some planktonic and chemical-physical data of the Oosterschelde and Lake Veere are compared. Plankton communities have been studied since the origin of the lake. Especially diatoms (table II), rotifers and copepods

(table III) of the westernmost station (Caisson) have been investigated. Total numbers of species are presented in fig. 8B, divided in brackish water species, autochthonic marine species and incidentally occurring marine species. A species was called autochthonic when it was possible for the species to perform its life cycle within the lake every year. The incidental marine species are regularly and frequently carried into the lake by Oosterschelde water flowing in via the Kats sluice (fig. 2). Most of the latter forms soon die in the lakewater but some may spread in western direction and maintain themselves in the northwestern part. An "incidental" species becomes "autochthonic" when it persists from one year to the next year in this location. Tables II and III show that Lake Veere harboured many marine species in 1961, the year of origin. Several species, however, disappeared: the heavy silicified diatoms owing to the finished tidal movement; others presumably as a result of the onset of eutrophication. During 1962 most marine species vanished, doubtless because of the strongly decreased salinity. In 1964 more marine species were found again, but during the wet years 1965-'66 only 2-3 marine species succeeded to remain. Salinity proves to be the master factor regulating the species diversity of the lake. When in summer chlorinities reach values higher than 10<sup>0</sup>/oo, conditions are suitable for euryhaline marine species. As dry summers prevailed during the period 1967-'71 the number of autochthonic marine species steadily increased during these years (fig. 8B). Strong fluctuations of salinity showed negative effects on marine species diversity. The number of brackish water species on the other hand remained fairly constant. The very euryhaline diatom *Skeletonema costatum* proves tolerance as to chlorinities decreasing to 6<sup>0</sup>/oo and produces big standing crops in spring. Moderately euryhaline marine species predominate in summer under conditions of relatively high salinity and high transparency of the lake water; *Coscinodiscus centralis* for instance, a species characterizing the summerplankton since 1968. The ecological succession within Lake Veere tends to increasing species diversity when salinities become higher than 10<sup>0</sup>/oo Cl' in spite of high nutrient levels.

The significance of the given data is discussed in relation to the situation arising after a closure of the Oosterschelde (planned in 1978). Flushing of the complete future "Oosterschelde-lake" with Rhine-water of inferior quality is highly undesirable. Division in compartments is studied. From a biological point of view it is preferable to create one or two compartments filled with seawater. Maintenance of high salinity levels is possible. Environmental hygiene is favoured, too, as severe cyanophycean blooms, originating in polluted fresh water fail to develop in seawater.

## 10. Literatuur

ANONYMUS, 1971a. Beschrijving van de provincie Zeeland behorende bij de Waterstaatskaart. Dir. Alg. Dienst Rijkswaterstaat. Staatsuitg. den Haag.



- ANONYMUS, 1971b. De biologische consequenties van de afsluiting van de Oosterschelde. Rapport van de Studiegroep Milieubeheer van de Oecologische Kring en het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek te Yerseke.
- BAKKER, C., 1964. Planktonuntersuchungen in einem holländischen Meeresarm vor und nach der Abdeichung. Helgol.Wissensch. Meeresunters., 10, (1-4): 456-472.
- BAKKER, C., 1966. Een protozoo in symbiose met algen in het Veerse Meer. De Levende Natuur, 69: 180-187.
- BAKKER, G., 1967a. Massale ontwikkeling van ciliaten met symbiontische algen in het Veerse Meer. De Levende Natuur, 70: 166-173.
- BAKKER, C., 1967b. Veranderingen in milieu en plankton van het Oosterscheldegebied. Vakblad voor Biologen, 47: 181-192.
- BEEK, W.J., 1971. Wat is de omvang van de milieuverontreiniging? In: Toekomstbeeld der techniek. Mens en milieu, prioriteiten en keuze. pg. 11-47.
- GOLTERMAN, H.L., 1965. Hydrobiologische problemen van de Vechtplassen. Akademiesdagen, 17: 23-36.
- GOLTERMAN, H.L., C.C. BAKELS and J.JAKOBS-MÜGELIN, 1969. Availability of mud phosphates for the growth of algae. Verh.Internat. Verein Limnol., 17: 467-479.
- GOLTERMAN, H.L., 1970. Mogelijke gevolgen van de fosfaat-eutrofiëring van het oppervlaktewater. H<sub>2</sub>O, 3, (10): 1-7.
- GURNEY, R., 1933. British Fresh Water Copepoda III. London.
- HEEREBOUT, G.R., 1970. A classification system for isolated brackish inland waters, based on median chlorinity and chlorinity fluctuation. Neth.J.Sea Res., 4, (4): 494-503.
- HOFKER, J., 1930. Faunistische Beobachtungen in der Zuidersee während der Trockenlegung. III. Die Turbellarien der Zuidersee. Meded. Zuiderzeezie. Afl. 2.
- KLOET, W.A.de, 1971. Het eutrofiëringsproces van het IJsselmeergebied. Meded. Hydrobiol.Ver., 5, (1): 23-38.
- KOLENBRANDER, G.J., 1971. De eutrofiëring van oppervlaktewater door de landbouw en de stedelijke bevolking. Stikstof, 6, (69): 384-395.
- KORRINGA, P. and ROSKAM, R.Th., 1961. An unusual case of mussel poisoning. I.C.E.S., C.M. Shellfish Committee, no. 49.
- ODUM, E.P., 1969. The strategy of ecosystem development. Science, 164: 262-270.
- PAUW, N., 1971. Milieu en plankton in de Westerschelde. Meded. Hydrobiol.Ver., 5, (1): 3-16.
- POSTMA, H., 1967. Observations on the hydrochemistry of inland waters in the Netherlands. In: Chemical environment in the aquatic habitat. Proc. I.B.P. Symp. 1966. Ed. by H.L.Golterman and R.S.Clymo. N.V. Noord-Holl. Uitg.Mij Amsterdam 1967. pg. 30-38.
- REDEKE, H.C., 1935. Acartia (Acanthacartia) tonsa Dana ein neuer Copepode des niederländischen Brackwassers. Arch.Neêrl. de Zool., 1, (3): 315-329.
- RYTHER, J.H., 1954. The ecology of phytoplanktonblooms in Moriches Bay and Great South Bay, Long Island, New York. The Biol.Bull., 106: 198.
- VEGTER, F., 1972. In: Jaarverslag 1971 Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke pg. 2-4.

VOLLENWEIDER, R.A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus in eutrophication. O.E.C.D.-report.

WILLIAMS, L.W., 1906. Notes on marine copepoda of Rhode Island. Amer. Nat., 60: 639-660.



B.1093