

de Wolf

De invloed van de Rijn op het Fytoplankton van de
Nederlandse kustwateren

Supplement:

Autoradiografie en primaire Produktie,
mogelijkheden en Technieken

door

Jan Kuiper

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN:

nummer 1973-9

1304

De invloed van de Rijn op het Fytoplankton van de
Nederlandse kustwateren

Supplement:

Autoradiografie en primaire Produktie,
mogelijkheden en Technieken

door

Jan Kuiper

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN:

nummer 1973-9

Rechten voorbehouden

Van interne verslagen zijn nadruk of aanhalingen slechts toegestaan met uitdrukkelijke toestemming van het NIOZ.

De invloed van de Rijn op het Fytoplankton van de
Nederlandse kustwateren

door

Jan Kuiper

Intern verslag

Inhoud:

I. Summary	1
Samenvatting	3
II. Inleiding	5
III. Materiaal en methodiek	8
IV. Resultaten	13
1. Hydrografie, chemie	13
2. Fytoplankton	14
V. Discussie en conclusies	21
VI. Literatuur	36
Supplement: autoradiografie en primaire produktiemetingen	47

I. SUMMARY

In this report a description and analysis is given of hydrographical and biological data obtained during a one-week cruise in Dutch coastal waters with R.V. "AURELIA"; the cruise was held in the summer of 1972, in the framework of a series of investigations into the effect of eutrophication by the Rhine on the phytoplankton of the Southern Bight. It is difficult to draw firm conclusions from the present work, because so few data are available on the original non-polluted situation, and because our understanding of the ecology of the phytoplankton is far from complete. Nor was it possible with our research methods to distinguish between stimulating effects of organic compounds, nutrients, etc. on the one hand, and productivity - curbing effects of oil rests,

chlorinated hydrocarbons, heavy metals etc. on the other hand. Only the overall effect could be established. Much research will be necessary to evaluate the many factors that play a role.

We could draw the following conclusions from our data:

1. Enrichment with nutrients (eutrophication) of Dutch coastal waters, which is mainly caused by the Rhine, does not necessarily lead to a higher primary production. Only in an area close to the Rhine mouth the production per m^3 of surface water was found to be slightly higher. The primary production per m^2 is higher in less eutrophic areas than in the very eutrophic region near the Rhine mouth. One major causative factor is the high turbidity of the water; light (or rather the energy budget) is a limiting factor to primary production in Dutch coastal waters.
2. Eutrophication probably influences the species composition of algal populations and the seasonal succession in Dutch coastal waters. Associations of enriched, eutrophic water with certain species as found in the literature, were also encountered in the Dutch coastal region. Because of the increased concentrations of phosphate and nitrate, silicate has began to play a role in the determination of the species composition and distribution. Above a concentration of $0,5 \text{ mg SiO}_2/\text{ liter}$ the species composition of the populations seems to be affected by the total level of nutrients; below this concentration the influence of silicate may be most important.

3. Phytoplankton species diversity is not a good indicator of ecosystem maturity in Dutch Coastal Waters, and could not be correlated with degree of eutrophication. Algal diversity is probably a good maturity indicator only when diversity is calculated of photosynthetically active cells only. In Dutch Coastal Waters, where different types of water meet and mix, diversity of photosynthetic activity probably gives more information on algal communities than taxonomic diversity. Autoradiography (see appendix to the present report) could clear up this question.
4. The Noctiluca red tide off Scheveningen developed there because of the large food supply (does the sewage discharge of the Hague play a role?). The very high concentrations of Noctiluca were mainly caused by mechanical concentration of the cells under the influence of weather conditions (calm; weak winds), not directly by eutrophication.

SAMENVATTING

Al enige tijd doet Dr. W.W.C. Gieskes op het NIOZ onderzoek naar de invloed van de eutrofiëring van het Nederlandse kustwater o.i.v. de Rijn op het fytoplankton. Dit rapport is het verslag van een vaartocht, die in het kader van dit onderzoek gehouden werd in de zomer van 1972. De resultaten hiervan zijn vergeleken met die van vorige tochten, en met literatuur.

Doordat er zo weinig gegevens over de niet-verontreinigde basistoestand beschikbaar zijn en ook omdat ons begrip van de ecologie van fytoplankton van zowel verontreinigd alsook van niet-verontreinigd water nog verre van volmaakt is, is het onmogelijk

om eenduidige conclusies te geven. Ook was het met onze onderzoeksmethode niet mogelijk om de stimulerende effecten van bepaalde organische verbindingen, van nutriënten, etc. te scheiden van eventuele remmende effecten van olieresten, gechloreerde koolwaterstoffen, zware metalen, etc. Wij hebben alleen het overall effect kunnen constateren. Zeer veel onderzoek zal noodzakelijk zijn om de vele in het spel zijnde factoren op hun waarde te schatten.

Aan de hand van de waarnemingen van de zomertocht 1972, uit de resultaten van vorige tochten van het onderzoek van Gieskes, alsmede door vergelijking met literatuur, konden we de volgende conclusies trekken:

1. De verrijking met voedingsstoffen (eutrofiëring) van het Nederlandse kustwater, die hoofdzakelijk veroorzaakt wordt door de Rijn, heeft niet noodzakelijkerwijze een grotere primaire produktie tot gevolg. Alleen in een gebied vlak bij de Rijnmond is de produktie per m^3 in het oppervlaktewater iets groter. De primaire produktie per m^2 is in het minder eutrofe gebied groter dan in het zeer eutrofe gebied bij de Rijnmond. Dit wordt in de eerste plaats veroorzaakt door de grote troebelheid van het water, waardoor het lichtregime beperkend is voor de grootte van de primaire produktie in het Nederlandse kustwater.
2. De eutrofiëring is vermoedelijk van grote invloed op de soortensamenstelling en het verloop van de jaarlijkse successie in het Nederlandse kustwater. Uit de literatuur bekende combinaties van voedselrijk water en voorkomen van bepaalde soorten werden bevestigd. Vermoedelijk heeft door de toegenomen hoeveelheden fosfaat en nitraat silicaat een rol gekregen in het bepalen van de soortensamenstelling. Boven de $0,5 \text{ mg SiO}_2/1\text{-grens}$ lijkt de soortensamenstelling hoofdzakelijk bepaald te worden door het

totaal niveau van voedingsstoffen, beneden deze grens is mogelijk de invloed van silicaat overwegend.

3. Diversiteit van soorten fytoplankton is in het Nederlandse kustwater geen goede maat voor de rijpheid van het systeem, en loopt niet parallel met nutriëntenconcentraties. Heel anders zou de zaak wel eens kunnen komen te liggen als de diversiteit berekend werd aan de hand van alleen de fotosynthetisch actieve cellen. In het Nederlandse kustwater, waar verschillende soorten water zich met elkaar mengen, geeft diversiteit van fotosynthetische activiteit vermoedelijk meer informatie over de algengemeenschappen dan taxonomische diversiteit. Autoradiografie (zie supplement van dit verslag) zou klaarheid kunnen brengen in deze kwestie.
4. Het Noctiluca red tide voor de kust bij Scheveningen is tot ontwikkeling kunnen komen door het grote voedselaanbod ter plaatse. De zeer grote concentraties van Noctiluca ter plaatse werden in de eerste plaats veroorzaakt door mechanische concentratie van de cellen o.i.v. het weer (rustig weer, zwakke wind) en niet direct door eutrofiëring.

II. INLEIDING

De laatste jaren is de hoeveelheid afvalstoffen die altijd al van het land in zee terecht is gekomen, enorm toegenomen. Het gaat hierbij om een scala van stoffen (DUINKER 1972); van zware vergiften (persistente organochloorverbindingen als DDT's en PCB's) en zware metalen, tot onschuldig lijkende degradeerbare organische afvalstoffen en anorganische zouten (o.a. KETCHUM 1969; WEBER & KRAAY 1972).

Het effect van deze stoffen op mariene ecosystemen is nog onvoldoende bekend, uitgezonderd enige spectaculaire en duidelijke gevallen van vervuiling, zoals de kopersulfaatlozing van 1965 bij Noordwijk, die bijna de mosselcultuur in de Waddenzee vernietigde

(ROSKAM, 1969; 1970) en de telodrinlozingen van de Shell in het Waterweggebied, die de populatie van grote sterns in de Waddenzee decimeerden (KOEMAN, 1968). Het zijn echter niet dit soort "ongelukken" die het belangrijkste zijn. Gevaarlijker is de trend van de haast aan de aandacht ontsnappende toename in eutrofiëring en in hoeveelheden geloosde afvalstoffen, waardoor het water in kustgebieden en estuaria op kortere termijn bezien onmerkbaar langzaam verandert en verslechtert. Juist deze gebieden worden over de hele wereld het meest bedreigd (KORRINGA, 1968), wat o.m. zo alarmerend is omdat deze gebieden voor de levensgemeenschap van de zee als geheel zeer belangrijk zijn (SCEP, 1972; KETCHUM, 1969). Het Nederlandse kustwater, waar bovengenoemde voorbeelden aan ontleend zijn, vormt internationaal gezien helaas geen uitzondering; het wordt belast met een toenemende hoeveelheid stoffen, die vooral via de Rijn aangevoerd worden.

Reeds enige tijd loopt er aan het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) een door W.W.C. Gieskes bemand onderzoek naar de gevolgen van de eutrofiëring door het sterk vervuilde Rijnwater voor de fytoplanktongemeenschappen van de zuidelijke Noordzee. Dat er eutrofiëring (in de zin van verrijking met voedingsstoffen als fosfaten, nitraten, etc. LUND, 1967) plaats vindt in het Nederlandse kustwater, en wel voornamelijk omdat hier de menging tot stand komt met het zwaar belaste Rijnwater, is voldoende bekend. Wat de invloed hiervan is op de samenstelling en de grootte van de

algenpopulaties en hoe nutriënten en primaire produktie¹⁾ elkaar in deze wateren beïnvloeden is, ondanks het feit dat de Noordzee één der best onderzochte zeeën ter wereld is (JOHNSTON, 1971), nagenoeg onbekend. Alleen De KROON, (1971) heeft in deze wateren een studie in deze richting verricht. Hij keek echter naar de potentiële produktie en deze is waarschijnlijk eerder gecorreleerd met het chlorofylgehalte dan met de in situ primaire produktie. Dat er überhaupt zo weinig bekend is van de processen die zich in zee afspelen, komt o.a. door de zeer hoge kosten van oceanografisch onderzoek.

Het doel van het onderzoek is het inzicht te verdiepen in de problematiek van de eutrofiëring van (mariene) aquatische ecosystemen, in het bijzonder van het Nederlandse kustwater, om zodoende in de toekomst in staat te zijn op grond van de kennis van deze processen voorspellingen te doen over ongewenst hevige planktonbloei, massaal optreden van toxische flagellaten (zg. red tides), etc., waarna een poging gedaan zou kunnen worden om het eutrofiëringsproces onder controle te brengen.

In de kader van mijn ingenieursstudie voor het vak waterzuivering aan de landbouwhogeschool te Wageningen kreeg ik van Prof. Dr. P.G. Fohr de kans om drie maanden in het onderzoek van Dr. Gieskes mee te draaien. Onderliggend rapport is hiervan het verslag. Hierin is opgenomen het verslag van de zomertocht 1972 (29 juli-4 augustus).

¹⁾ onder primaire produktie verstaat men de produktie van plantaardig materiaal onder invloed van zonlicht. Dit fotosynthetisch proces is in waterige milieus in principe identiek aan de produktie op het land. Het meest in het oog lopende verschil is dat in aquatische ecosystemen de primaire produktie tot stand komt door microscopisch kleine, ééncellige plantjes, het fytoplankton, dat hierom ook wel het "gras van de zee" wordt genoemd (zie bv. RUSSELL-HUNTER, 1970).

Aan de hand van de resultaten van deze tocht, de gegevens van vorige tochten, alsmede aan de hand van literatuuronderzoek zal in de eerste plaats getracht worden een antwoord te geven op de volgende vragen:

- in hoeverre heeft de toename aan voedingsstoffen een grotere biomassa van fytoplankton ten gevolge, m.a.w. wat is het effect op de primaire produktie.
- wat is de invloed van de toename aan voedingsstoffen op de samenstelling van de algenpopulaties.

Daarnaast zal aandacht geschonken worden aan een bij Scheveningen aangetroffen red tide van Noctiluca miliaris (zeevonk). Tenslotte zal in een supplement kort aandacht besteed worden aan het mogelijk gebruik van autoradiografie bij onderzoek op het gebied van primaire produktie.

Het feit dat ik drie maanden m.i. bijzonder effectief heb kunnen werken is niet in de laatste plaats te danken aan de intensieve begeleiding van mijn onderzoekleider; hem wil ik dan ook vooral hartelijk bedanken voor de vele tijd die hij mij gegeven heeft, o.a. in de vele diskussies. Verder wil ik de bemanning van de Aurelia, het Noordzeeonderzoekingschip van het NIOZ, bedanken voor de goede zorgen gedurende het monstereen, Nico Bakker voor de hulp bij het monstereen en voor chemische bepalingen, en verder vele medewerkers van het NIOZ voor hun uitleg van apparatuur en voor de verhelderende diskussies die ik met hen had, in of buiten de koffiepauzes.

III. MATERIAAL EN METHODIEK

Het Nederlandse kustwater ontstaat door vermenging van twee water-soorten en wel oceanisch water uit het Engels Kanaal en zoet water dat aangevoerd wordt door de rivieren (LEE, 1970; van BENNEKOM, 1972; e.a.). Hiervan is de Rijn met zijn jaarlijkse afvoer van gemiddeld

70 km³ verreweg de grootste (ROSKAM, 1970, alle rivieren die uitmonden in de Noordzee leveren samen ongeveer 100 km³ per jaar, TIJSSEN pers. Comm.). Gedurende elk getij wordt ongeveer 0,1 km³ op zee geloosd. De menging van dit zoete water met zeewater geschiedt voornamelijk onder invloed van het tij.

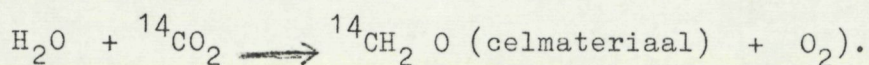
Het Rijnwater stroomt niet waaiervormig de Noordzee in, maar buigt o.i.v. het reststroompatroon in de zuidelijke Noordzee bij Hoek van Holland direkt naar het noorden en stroomt in een smalle strook langs de kust (ter illustratie: ter hoogte van IJmuiden bestaat het water dicht bij de kust nog voor 20% uit Rijnwater, tweederde deel van het Rijnwater bevindt zich daar (het is dan al een paar weken in de Noordzee!) binnen 10 km van de kust (TIJSSEN zie DUINKER 1972, zie ook zoutisoplethen in Fig. 2). In ongeveer een maand tijd komt het inmiddels met zeewater gemengde Rijnwater ter hoogte van Den Helder waarna het zijn invloed kan gaan uitoefenen op de Waddenzee (o.i.v. het tij gaat Rijnwater vier tot vijf keer door de Waddenzee, TIJSSEN pers. comm.).

Wil men een indruk krijgen van de invloed van de Rijn op de Noordzee dan zal men dus zijn onderzoekgebied in eerste instantie kunnen beperken tot het Nederlandse kustwater. De opzet van het onderzoek van Gieskes is om vier maal per jaar (ieder seizoen) gedurende een tocht van een week een net van monsterpunten af te varen, gelegen tussen Hoek van Holland en Texel in een strook met een breedte van maximaal 50 km, teneinde zo een indruk te krijgen van het verloop van de primaire produktie in een jaar en de successie van de verschillende fytoplanktongemeenschappen in de tijd, alsmede van de invloed van de Rijn hierop.

De monsterpunten van de zomertocht 1972 zijn aangegeven in Fig. 1 (nummers 1-47, A-G). De exacte positie is aangetekend in Tabel I.

Op elke monsterpunten werd de temperatuur gemeten van het oppervlakte-water, werd de troebelheid gemeten m.b.v. een Secchi-schijf en werden watermonsters genomen om op het lab het silicaat-, chlorofyl- en zoutgehalte te bepalen. Ook werd overal een planktonmonster genomen (het plankton werd direkt gefixeerd met een azijnzure Lugol oplossing). De oppervlakte-monsters werden genomen met een plastic emmer, teneinde een toxische invloed van metaalionen te voorkomen. Teneinde na te gaan of er sprake was van enige vorm van stratificatie, die overigens, behalve bij Texel, niet te verwachten was (LEE, 1970), werden er ook enige dieptemonsters genomen met een HydroBios waterschepper van vijf liter inhoud (punten B₂, D₂, G₂, 30₂).

Op de punten A t/m G werd de primaire produktie bepaald met de ¹⁴C-methode (STEEMANN NIELSEN, 1952) met gebruikmaking van een simulatie- in-situ techniek. De ¹⁴C-techniek is tot nu toe de enige gebruikelijke methode¹⁾ die geschikt is voor deze wateren, omdat andere methodes zoals bv. de lichte-donkere-flesjes-methode, die gebaseerd is op zuurstofproduktie gedurende de fotosynthese niet gevoelig genoeg zijn (zie bv. De KROON, 1971). In principe berust de ¹⁴C-techniek op het volgende aan een bepaalde hoeveelheid zeewater wordt een bekende hoeveelheid radioactief koolstof toegevoegd. Na een bepaalde incubatietijd wordt gemeten hoeveel hiervan in de fytoplanktoncellen geïncorporeerd is (vereenvoudigde fotosynthese reactie:



1) door de vele beperkingen en nadelen die ook de ¹⁴C-methode heeft, wordt er onderzoek gedaan naar een exactere methode, die gebruik maakt van een Coulter-counter (SUTCLIFFE, 1970 e.a.).

In ons geval werd 50 cc zeewater in een glazen flesje gebracht samen met een zekere hoeveelheid radioactief $\text{H}^{14}\text{CO}_3^-$ (4 μ Ci-ampullen verschaft door het internationaal agentschap voor ^{14}C -bepaling, Charlottenlund, Denemarken), waarna de monsters geïncubeerd werden gedurende zes uur voor en zes uur nadat de zon zijn hoogste punt bereikt had in een incubator zoals JITTS, (1963) die beschreven heeft. De zijkanten en de bodem van de compartimenten van de incubator waren dofzwart gemaakt teneinde reflectie tegen te gaan en zo de toestand in zee zo goed mogelijk te simuleren (CUSHING, 1957). De compartimenten werden bedekt met grijze glasfilters die eenzelfde hoeveelheid licht doorlieten als aanwezig was op de diepte waarmee vergeleken werd (resp. 100, 80, 30 en 6% van de lichtintensiteit aan de oppervlakte). In alle flesjes werd oppervlaktewater gebracht. Hierbij werd aangenomen dat het fytoplankton door verticale menging homogeen over de waterkolom verdeeld was (controle met dieptemonsters). Teneinde de temperatuur constant te houden werd er voortdurend oppervlaktewater door de incubator gepompt. De monsters bezonken niet in de flesjes door de bewegingen van het schip. Na incuberen werden de fytoplanktoncellen verzameld op 0,45 μ membraanfilters. Deze werd niet zoals gebruikelijk behandeld met zoutzuurdamp omdat aangetoond is dat dit een groot deel van de tevoren ingebouwde ^{14}C kan verwijderen (ALLEN, 1971). De filters werden direkt in 20 ml Packard vaatjes met scintillatievloeistof volgens ANDERSON & ZEUTSCHEL (1970) gedaan en opgeborgen bij kamertemperatuur, teneinde in het laboratorium geteld te worden op een Nuclear Chicago vloeistofscintillatieteller. Hierbij werd de correctie voor doving voor de bepaling van het telrendement bepaald met de kanalenverhoudingsmethode.

Ook werd nagegaan hoe groot het deel van de primaire produktie

was wat als oplosbaar organische materiaal buiten de cellen terecht kwam. Dit werd gedaan door 5 ml van het filtraat, nadat dit tot pH - 2,8 aangezuurd was met 0,1 N zoutzuur en nadat 15 minuten lucht doorgeleid was teneinde de CO₂ uit te drijven, over te brengen in een Packardvatje bij 15 ml scintillatievloeistof, om ook dit door te meten in de vloeistofscintillatieteller.

De berekening van de produktie aan organisch materiaal werd gedaan volgens DOTY & OGURI (1957) met een correctie voor isotoopdiscriminatie (¹⁴C wordt namelijk moeilijker opgenomen door de cellen, STRICKLAND 1960) en voor de ampulactiviteit (deze bleek bij vorige metingen niet de door het international agentschap voor ¹⁴C-bepaling opgegeven 4 μ Ci te zijn maar 3,5 μ Ci).

Het zoutgehalte werd gemeten met een inductief gekoppelde saliniteitsmeter. Het silicaatgehalte evenals het chlorofylgehalte werd bepaald volgens STRICKLAND & PARSONS (1968). Om een indruk te krijgen van de hoeveelheid dode plantepigmenten werd de concentratie aan phaeopigmenten, afbraakprodukten van chlorofyl, bepaald volgens LORENZEN (1967).

Identificatie van de planktonsoorten die in de monsters werden aangetroffen, alsmede tellingen van de fytoplankters werden uitgevoerd door van elk monster 5 ml door te kijken m.b.v. een Zeiss fasecontrast omkeermicroscoop (ÜTERMOHL, 1958). Soms werden de soorten slechts tot op het genus gedetermineerd, omdat verdere determinatie moeilijk en uiterst dubieus geweest zou zijn. De taxonomie van het mariene fytoplankton laat nog zeer veel te wensen over (BRAARUD 1962). In de vele twijfelgevallen die er in de literatuur bestaan moeten alle verschillen boven genus-niveau beschouwd worden als persoonlijke opinies van de auteur (WOOD, 1967). Alle "ankervormige" Ceratiums hebben we C. tripos genoemd, alhoewel we soms vormen vonden die meer

op C. horridum en C. longipes leken. C. tripos is de meest voorkomende soort in dit deel van de Noordzee en hij kan nogal variabel van vorm zijn (ROBINSON, 1965).

IV. RESULTATEN

1. Hydrografie, chemie

De gevonden waarden zijn verzameld in Tabel I.

Zoutgehalte

Figuur 2 geeft een overzicht van het zoutgehalte van het Nederlandse kustwater. Het patroon van isohalines is het gebruikelijke patroon van aan de kust evenwijdige isoplethen, waaruit blijkt hoe slecht het Rijnwater vermengt met het Noordzeewater (vergelijk bv. TIJSSSEN 1968, 1969, 1970). Opvallend is het feit dat dicht bij de monding van de Rijn (punten 12 en 13) het zoutgehalte aanmerkelijk hoger is dan ter hoogte van Den Haag. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de invloed van het tij en door het feit dat het Rijnwater buiten de pieren van Hoek van Holland direkt afbuigt naar het noorden.

Een ander afwijkend punt is punt D. Dit punt heeft een lager zoutgehalte dan ter plaatse verwacht mocht worden. Als bronnen van zoet water blijken de Rijn, het Noordzeekanaal en de Waddenzee direkt te herkennen. Van deze drie is de Rijn (uiteraard) verreweg het belangrijkste.

Troebelheid

Figuur 3 geeft de isoplethen van de Secchi-waarden; ook hier een patroon van aan de kust evenwijdig lopende lijnen met in het minst zoute water (in de buurt van Den Haag) de grootste troebelheid.

Opvallend was de in vergelijking met andere jaren (TIJSSSEN 1968, 1969, 1970; VISSER 1970) relatief grote helderheid op het merendeel van de stations. In 1967, 1968 en 1969 hadden de meeste monsterpunten

een Secchi-waarde kleiner dan 5 meter en bij de kust zelfs kleiner dan 1 meter. Het schijnt dat de lage afvoer van de Rijn van dit jaar (1972) samen met een stroomsnelheidsvertragend effect op de Rijn door de deltawerken in deze "verhelderend" werkt, doordat veel meer gesuspendeerde deeltjes de kans krijgen te bezinken (ir. Klomp van het Deltainstituut in de Volkskrant van 15-8-72). Dergelijke gevallen zijn ook uit de literatuur bekend (SIMMONS & THOMAS 1962).

Reactief silicaat

Figuur 4 geeft de isoplethen van het reactief silicaat. Zeer duidelijk blijkt hier weer de invloed van de Rijn. In het zuidelijk deel van het onderzoeksgebied werden in het minst zoute water de hoogste concentraties gevonden. Ook hier weer het te verwachten patroon van aan de kust evenwijdige lijnen met nabij de kust de hogere waarden. Ook hier valt punt D buiten het patroon.

Temperatuur

De temperatuur van het oppervlaktewater was dicht bij de Rijn en dicht bij de kust of m.a.w. in het ondiepere water waar de landinvloed groter was, zoals te verwachten viel, hoger dan ver op zee.

2. Fytoplankton

Chlorofyl

Figuur 5 geeft de isoplethen van het levend chlorofyl. Het algemene patroon van aan de kust evenwijdige lijnen en dicht bij de Rijn de hogere concentraties zit er wel in, maar de chlorofylverdeling valt zeer zeker niet samen met het zoutpatroon.

Figuur 6 geeft de verdeling van de phaeopigmenten. Vooral bij de zeer lage concentraties moeten interpretaties zeer voorzichtig zijn, aangezien de bepalingsmethode dan niet betrouwbaar is (bv. wordt storing door andere kleurstoffen in het water dan relatief

belangrijker). Bij de kust en bij de uitmondingen van zoet water komen de hogere concentraties voor.

Duidelijker laat Fig. 7 dit zien, waarin het percentage dood chlorofyl is uitgezet. Uit het patroon valt hier een groot gebied in de buurt van punt D (nl. de punten D, 28, 31) waar een hoog percentage dood chlorofyl voorkomt, terwijl de tendens is dat hoe verder op zee hoe lager het percentage phaeopigmenten. Het diepe monster bij punt D (D_2) paste wel in het patroon.

Wat betreft zoutgehalte, silicaatgehalte en het percentage phaeopigmenten valt punt D buiten het aldaar te verwachten patroon. Een interpretatiemethodiek waar hier verder niet op zal worden ingegaan (zie GIESKES, nog in bewerking) leidt tot de conclusie, dat we hier vermoedelijk te maken hebben met een "bel" Rijnwater.

Primaire produktiemetingen

Figuur 8 geeft de produktieprofielen voor de stations A, B, C en D, Fig. 9 die van E, F en G. Hierbij is de dagproduktie berekend uit de gemeten produktie door vermenigvuldiging met twee. Hierbij maken we weliswaar een kleine fout, maar groter nauwkeurigheid heeft geen zin door allerlei foutenbronnen van de ^{14}C -methode (zie bv. RODHE, 1958; WOOD, 1967) en de monstermethode (zie bv. CASSIE 1961, 1962). De diepte van de eufotische zone (dat is het gebied waar de netto-produktie groter of gelijk is aan de respiratie) werd berekend m.b.v. de formule van VISSER (1970): $Z_{0,01} = 3 \times \text{Secchi}$, d.w.z. de diepte van de eufoyische zone is gelijk aan drie maal de Secchi-waarde. Hierbij werd aangenomen dat de eufotische zone reikt tot een diepte tot waar 1% van het aan het wateroppervlak aankomende licht doordringt. De andere dieptes werden uitgaande van dezelfde Secchiwaarden berekend uit het percentage licht dat de glasfilters van de incubator doorlieten m.b.v. de extinctiecurven die bepaald werden m.b.v. de

formule van POOLE & ATKINS (ANDERSON, 1964).

Alle gevallen, behalve punt D, voldoen redelijk aan het ideaal geval waarbij de produktie in de bovenste waterlagen geremd wordt door teveel licht (UV-straling), de produktie een optimum heeft op enige diepte (bij redelijk helder water 1 á 2 m) en daarna exponentieel afneemt met de beschikbare hoeveelheid licht (zie bv. RUSSELL-HUNTER, 1970; FOGG, 1968). Punt A op de Waterweg lijkt een uitzondering, maar hier veroorzaakt waarschijnlijk de zeer grote troebeling van het water dat zelfs in de bovenste lagen geen lichtremming optreedt.

Dat eutroof water niet per se identiek is met hoog produktief water (BEETON & EDMONDSON, 1972) blijkt ook uit onze profielen. De produktie per m^3 in het oppervlaktewater is op de stations in het meer voedselrijke water dicht bij de Rijn (punten B, C, D) geenszins hoger dan die op de stations in het minder eutrofe water (punten E, F, G). Alleen punt A heeft dicht bij het wateroppervlak een duidelijk grotere produktie per m^3 dan de andere stations. Kijken we naar de produktie over de waterkolom (de produktie per m^2) dan blijken de minder eutrofe stations in het heldere water een aanzienlijk grotere produktie te hebben dan de eutrofe stations. Dit laatste was op vorige tochten ook gevonden (GIESKES in press). Het komt voornamelijk omdat in het helderder water, verder van de kust, het licht tot op groter diepte doordringt (d.i., eufotische zone reikt dieper), waardoor primaire produktie ook op relatief grote diepte kan plaats vinden.

Fytoplankton, samenstelling en grootte van de populaties

Figuur 10 geeft een overzicht van de aangetroffen en onderscheiden soorten fyto- en microzoöplankton. Tot het microzoöplankton worden de tintinniden, huisjesbouwende protozoen gerekend alsmede de dino-flagellaat Noctiluca miliaris; het voedsel van tintinniden bestaat

uit diatomeëen, bacteriën, naakte flagellaten, Peridinium-achtigen, detritus, etc. (ZEITSCHHEL, 1966; VITIELLO, 1964), Noctiluca miliaris is een effectieve diatomeëengrazer (WIMPENNY, 1966; STEIDINGER & WILLIAMS, 1970; PRATJE, 1925). De term microzoöplankton wordt gebruikt om ze te onderscheiden van veel groter zoöplankton zoals copopoden, enz.

In Tabel II is per monsterpunt de grootte en de samenstelling van de verschillende populaties aangegeven. Er is een poging gedaan de monsterpunten zoveel mogelijk in op grond van overeenkomst in de aanwezige algenpopulaties samenhangende groepen in te delen. Ook de soorten fytoplankton zijn, als zij in verschillende gebieden voor kwamen zoveel mogelijk bij elkaar gezet. Wij zullen nu aan de hand van de gegevens van Tabel II het verspreidingsgebied beschrijven van de diverse soorten.

Ceratium fusus komt ten zuiden van Zandvoort bij de kust niet of nauwelijks voor, hoe verder van dit gebied af en hoe meer naar het noorden hoe meer hij voorkomt. Ten noorden van Zandvoort is het het meest talrijke organisme. In dit noordelijke gebied is er een tendens dat hij dichter bij de kust in grotere aantallen voor komt dan ver op zee, alhoewel heel dicht bij de kust de aantallen weer zakken en andere soorten als pennate diatomeëen zijn plaats gaan innemen. C. furca en C. tripos komen beide alleen voor in combinatie met C. fusus. Ook Rhizosolenia hebetata en R. shrubsolii komen vrijwel alleen voor in combinatie met Ceratium. Van deze twee soorten is R. hebetata kenmerkend voor het kustplankton (vooral in de buurt van de Waddenzee kwam hij tot grote ontwikkeling) terwijl R. shrubsolii vooral voorkomt in het plankton wat verder van de kust.

Nitzschia closterium komt net als de andere pennate diatomeëen tot grote ontwikkeling in het turbulente kustwater. Hij heeft een

duidelijk optimum in het voedselrijke water ter hoogte van Den Haag en in het Waddenzeeplankton. N. seriata heeft eenzelfde verdeling als N. closterium alhoewel hij zijn optimum misschien wat verder van de kust heeft. Van N. pungens hebben we alleen enkele exemplaren gevonden in het Waddenzee.

Coscinodiscus concinnus hebben we zo nu en dan in kleine aantallen aangetroffen in het Ceratium-gebied, nooit ver op zee. De kleine Coscinodiscus soorten hebben we op punten verspreid over het hele monstergebied zo nu en dan gevonden.

Thalassiosira vonden we vooral in het kustplankton. Van Biddulphia regia vonden we een zich delend exemplaar in het Waddenzeeewater.

Guinardia flaccida komt vooral voor in open zee in het Ceratium-gebied en in de overgang daar naar toe (in de literatuur genoemd als kustsoort). De flagellaten Peridinium sp. Dinophysis sp. en Rhodomonas sp. vonden we verspreid over het gehele gebied zo nu en dan, waarbij de eerste een voorkeur leek te hebben voor de voedselrijkere punten en de laatste duidelijk minder voorkomt bij de kust. Mu-flagellaatjes vonden we overal in wisselende aantallen.

Phaeocystis sp. kwam voor op de grens van het zeer voedselrijke water en het wat minder voedselrijke water (tussen de optima van Skeletonema costatum en Chaetoceros socialis in, zie verder).

Lauderia borealis komt niet of nauwelijks voor in het kustplankton, verder overal wel. Hij heeft zijn optimum in het gebied van Chaetoceros socialis (zie verder).

Tintinniden kwamen overal voor, het meest echter op plaatsen waar veel diatomeën voor kwamen. We vonden soorten van de geslachten Tintinnopsis en Badayiella.

Eucampia zoodiacus is duidelijk een soort van het zeer voedselrijke water.

Van Thalassionema nitzschoides werden te weinig exemplaren gevonden om er wat zinnigs van te kunnen zeggen, misschien komt hij wat meer voor aan de kust.

Bacteriastrum sp. heeft een duidelijk optimum in het meer voedselrijke water. In het Ceratium-gebied komt hij niet of nauwelijks voor.

Chaetoceros socialis heeft zijn optimum in het overgangsgebied tussen het meest voedselrijke water en het oligotrofe water van het Ceratium-gebied.

Skeletonema costatum had duidelijk zijn optimum in het zeer voedselrijke kustwater, waar hij in zeer grote aantallen voorkwam (bij Scheveningen, punt D en in de Waddenzee). Hij komt in de andere gebieden, behalve bij de kust, niet of nauwelijks voor.

Van Chaetoceros sp. vonden we verschillende soorten. De grote soorten vonden we ver op zee en ook wel in het Ceratium-gebied, dit in tegenstelling tot de kleine soorten die zeer belangrijk waren in het eutrofe water voor de kust bij Den Haag.

Asterionella japonica is een soort met hetzelfde verspreidingspatroon als Skeletonema costatum.

Noctiluca miliaris kwam overal voor, de aantallen namen toe naarmate men dichterbij de kust kwam en er was een zeer duidelijk optimum op de punten 8 en 8a in het zeer eutrofe water. Op punt 8a kon een red tide van Noctiluca waargenomen worden, in strepen voorkomende Noctiluca's kleurden de zee hier roodbruin.

Zoetwaterplankton (Asterionella formosa, Pediastrum sp., Scenedesmus sp., en een draadvormig wier waarin we een Oscillatoria soort meenden te herkennen) vonden we in een groot gebied uitgaande van de monding van de Rijn langs de kust naar het noorden tot voorbij Katwijk, verder in een gebiedje bij IJmuiden bij de monding van het

Noordzeekanaal en tenslotte in het Waddenzeeplankton (dit laatste naar alle waarschijnlijkheid afkomstig uit het IJsselmeer).

Op grond van het al dan niet voorkomen van bepaalde soorten en de frequentie van voorkomen is het Nederlandse kustwater m.b.v. de gegevens uit Tabel II te verdelen in een vijftal gebieden met duidelijk verschillende fytoplanktongemeenschappen (zie Fig. 11 en Tabel III).

In het zeer voedselrijke water voor de kust bij Den Haag en ook op punt D bevond zich een gemeenschap die gekarakteriseerd werd door het in grote hoeveelheden voorkomen van Skeletonema costatum en kleine Chaetoceros-soorten (gebied I in Fig. 11). In de overgang van dit eutrofe water naar het minder eutrofe water noordelijker in ons onderzoekgebied bevond zich een overgangsgemeenschap, waarvoor Chaetoceros socialis kenmerkend was (gebied II). In het minder eutrofe water ten noorden van IJmuiden werden de gemeenschappen gedomineerd door drie Ceratium-soorten en wel de uit deze wateren bekende (BRAARUD, GAARDER & GRØNTVED 1953) Ceratium fusus, C. furca en C. tripos, waarvan de eerste verreweg in de grootste aantallen voor kwam. Dit gebied kon onderscheiden worden in een kuststrook (gebied III) en een gebied meer naar zee (gebied IV). In het kustwater waren pennate diatomeën en Rhizosolenia hebétata belangrijke componenten, ook hier bleef Ceratium het belangrijkste in aantal. In gebied V gaat het om Waddenzee water (punten 46, 47). Hier bestond de gemeenschap voor het grootste deel uit Skeletonema costatum en pennate diatomeën zoals Nitzschia closterium e.a.

Teneinde een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid van onze telling is in Fig. 12 het aantal getelde eenheden (ketens of cellen) uitgezet tegen het chlorofylgehalte. De correlatiecoëfficiënt was 0,5677, d.w.z. de relatie is significant op 1% niveau. Aangezien het chlorofylgehalte in het Nederlandse kustwater een goede maat is voor

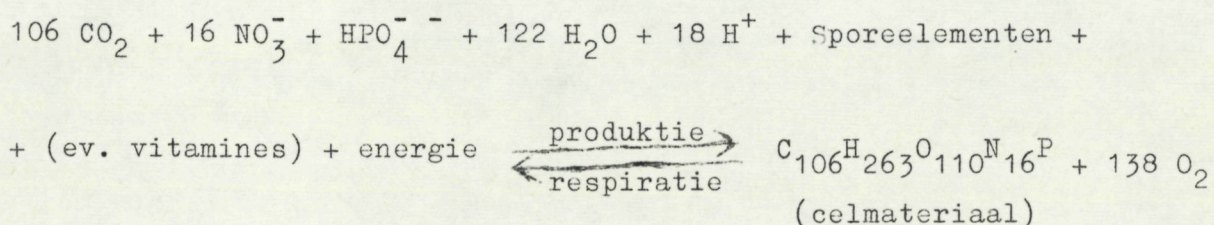
de biomassa aan fytoplankton (GIESKES in press) kunnen we concluderen dat onze manier van tellen ook een goede maat geeft voor de biomassa.

V. DISKUSSIE EN CONCLUSIES

In het eerste deel van de discussie zullen er de grootte en samenstelling van de fytoplanktongemeenschappen bekijken, daarna zullen we aandacht besteden aan het bij Scheveningen aangetroffen red tide van Noctiluca miliaris.

Grootte en samenstelling van de fytoplanktonpopulaties

De kern van de primaire produktie in zee is dat door het fytoplankton organisch materiaal gevormd wordt o.i.v. licht als energiebron uit water en koolzuur. Gedurende dit proces zijn ook allerlei andere stoffen noodzakelijk zoals anorganische voedingszouten (nitraat, fosfaat, enz.), sporelementen als Ca, Mn, B, Zn, enz., die noodzakelijk zijn als onderdeel van allerlei enzymen die door de cel geproduceerd worden, alsmede organische verbindingen als vitamines, die niet door de cel zelf geproduceerd kunnen worden (50-70% van de bekende algensoorten is auxotroof, d.w.z. heeft één of meer vitamines kant en klaar nodig, WOOD 1967; FOGG, 1965). Van de laatste groep stoffen zijn vit. B12, thiamine en biotine bekende voorbeelden. We kunnen het proces samenvatten in de volgende reactievergelijking (STUMM & STUMM-ZOLLINGER, 1972):



De genoemde factoren (macronutriënten, sporelementen, organische stoffen, licht) alsmede in wisselwerking hiermee andere fysische

factoren als turbulentie, wind, temperatuur, enz. hebben hun invloed op grootte en samenstelling van fytoplanktonpopulaties. Elk van deze factoren kan in principe de groei van het fytoplankton of van bepaalde soorten fytoplankton beperken.

Dit beperkende-factoren-concept, voor het eerst samengevat door Liebig in zijn bekende wet, is handig om een eerste indruk te krijgen van de situatie in een watermassa maar de zaak wordt er wel door gesimplificeerd (o.a. GOLDMAN, 1965). Vele stoffen zijn van invloed op de groei en de groeisnelheid van de verschillende organismen en er bestaat een sterke interactie tussen de diverse factoren. In natuurlijke situaties zijn beperkende factoren niet alleen relatief, maar bovendien zeer dynamisch en in het totale systeem veranderen hun effecten op de groei van hét fytoplankton steeds (LUND, 1964; WETZEL, 1965). M.a.w. een uitspraak als "beneden een concentratie van x mg PO_4 -P/l is de produktie van fytoplankton beperkt door fosfaatgebrek" zal zo algemeen gesteld weinig hout snijden, of x moet zo laag gesteld zijn, dat men met de regel in een concrete situatie niet kan werken. Dit soort uitspraken wordt meestal gedaan na eenvoudige verrijkingsexperimenten. MENZEL, HULBURT & RYTHER (1963) toonden echter aan dat de uiteindelijk bereikte populatiegroei met verschillende verrijkingen een functie van de tijd is; uit proeven van drie dagen werden andere conclusies getrokken dan uit proeven met hetzelfde water die negen dagen duurden. Elke situatie is weer anders en zal apart onderzocht en beoordeeld moeten worden.

Desondanks zullen wij de factoren, die invloed kunnen hebben op de primaire produktie achtereenvolgens de revue laten passeren en hun mogelijke invloed op de samenstelling en de grootte van de algenpopulatie in het Nederlandse kustwater bespreken, teneinde een poging te doen tot een antwoord te komen op de vraagstelling van het

onderhavige onderzoek. Het zal bij een poging moeten blijven aangezien er zo weinig gegevens over de niet verontreinigde basistoestand beschikbaar zijn en ook omdat ons begrip van de ecologie van fytoplankton van zowel verontreinigd als ook van niet verontreinigd water nog verre van volmaakt is (zeer veel deskundigen (o.a. MITCHELL, 1972) wijzen hier steeds weer op).

Macronutriënten

In zeer veel publikaties, die er tot nu toe verschenen zijn over met eutrofiëring samenhangende problemen (LUND, 1970 spreekt al van meer dan duizend) wordt de nadruk gelegd op het belang van fosfor en stikstof als belangrijke elementen t.a.v. de primaire produktie (LUND, 1970; MITCHELL, 1972). Ook CO_2 wordt wel eens genoemd als de verbinding die de groei van het fytoplankton in de eerste plaats beperkt, maar in de gevallen dat dit angetoond is, ging het altijd om extreme pH's waar het koolzuurevenwicht in water zeer ten nadele van de CO_2 en HCO_3^- concentratie verschoven is (ALLEN, 1972; KEENEY, HERBERT & HOLDING, 1972; SHAPIRO, 1970). In het Nederlandse kustwater komt deze situatie niet voor.

KETCHUM, (1939) toonde al aan dat er een sterke interactie bestaat tussen fosfaat en nitraat, de vormen van fosfor en stikstof waar het in het water meestal om gaat. Bij onderzoek in zoetwater-ecosystemen bleek heel vaak fosfaat de primaire beperkende factor te zijn (MITCHELL, 1972; FUHS, 1972; MALONEY, 1972; POWERS, 1972; EDMONDSON, 1972; en vele anderen). Pas bij een flinke fosfaatvervuiling kan nitraat hier beperkend worden.

Hoewel in zee ook zeer lage concentraties fosfaat voorkomen is over het algemeen hier nitraat beperkend in eerste instantie (KEENEY, HERBERT & HOLDING, 1971; RYTHER & DUNSTAN, 1971; ANON., 1971; e.a.). Dit is iets waar ontwerpers van zuiveringsinstallaties

terdege rekening mee zouden moeten houden. Een derdetrapszuivering waarbij het fosfaat uit het effluent wordt verwijderd zou bij lozing van dit effluent in nitraat-beperkt zeeewater niet het gewenste resultaat hebben. Vervanging van fosfaat in detergenten door nitraat houdende stoffen als NTA zou in zee in het algemeen eerder een negatief dan een positief effect hebben (RYTHER & DUNSTAN, 1971). Dat fosfaat, ondanks het feit dat het in zeer lage concentraties voorkomt, niet beperkend wordt en nitraat wel, wordt veroorzaakt door het feit dat de regeneratiesnelheid van fosfaat veel groter is dan die van nitraat (ANON., 1971).

Bij lozing op zee van rioolwater en bij de uitmondingen van zwaar met nutriënten belaste rivieren als de Rijn is er een grote aanvoer van fosfaten, nitraten, ammonium-zouten, etc., hetzij in de vorm van anorganische zouten, hetzij in de vorm van allerlei organische verbindingen, waaruit de nutriënten pas na biologische oxidatie vrij komen. Dit vrij komen van voedingsstoffen na oxidatie noemt men secundaire vervuiling. De op deze manier aan het ecosysteem toegevoegde nutriënten kunnen soms een organische produktie door algen bewerkstelligen, die veel groter is dan de oorspronkelijke belasting met organisch afval. Indien al het fosfaat dat via de Rijn in de Noordzee komt, omgezet zou worden in algenmateriaal zou er een hoeveelheid organische stof ontstaan gelijk aan een belasting met afvalwater van $100 \cdot 10^6$ inwonerequivalenten. Zou dit gebeuren dan zouden anaerobe toestanden, die soms optreden in het Nederlandse kustwater na een fytoplanktonbloei (Coscinodiscus-bloei van 1964 (ROSKAM, 1970), Coscinodiscus-bloei van zomer 1972 (GIESKES, 1973) en waarschijnlijk ook de "koelucht" die V.D. ENDE (1849) beschreef) regel i.p.v. uitzondering zijn. Dat dit niet gebeurt wijst er al op dat in het Nederlandse kustwater de grootte van de primaire produktie door

andere factoren dan fosfaat beperkt wordt.

Alhoewel het fytoplankton een stevige aanslag doet op het nitraatgehalte van het Nederlandse kustwater wordt de produktie van organische stof hier doorgaans niet beperkt door nitraat, omdat er, ook bij de grootste bloei, altijd nog een zekere hoeveelheid nitraat aantoonbaar is¹⁾ (TOLLENAAR, 1969; Van BENNEKOM, 1972; GIESKES, 1972). Of dit al een gevolg is van de toenemende eutrofiëring is mogelijk ui te maken. De laatste tien jaar was de toename van de fosfaatconcentratie ongeveer 300%, die van nitraat 75% (DYRSSEN, 1972; DUINKER, 1972). Gezien de lage concentraties die overblijven en mede gelet op de grotere helderheid van het water vroeger (zie verder), bestaat de indruk van wel.

De omvang van de produktie wordt dus niet in eerste instantie bepaald door de aanwezige hoeveelheid fosfaat en nitraat. Wel van invloed is vermoedelijk het niveau van macronutriënten in het Nederlandse kustwater op de soortensamenstelling van de aanwezige algenpopulaties. Samenhang tussen niveau en verhouding van nutriënten en soortensamenstelling wordt algemeen gevonden (HOLLAND & BEETON, 1972; MENZEL, HULBURT & RYTHUR, 1963; SÖDERSTRÖM, 1971; e.s.). Zo werden bv. bij onderzoek in het eutrofe water van de Middellandse Zee bij de Nijlmonding na de vloed van de rivier dezelfde soorten gevonden als wij aantreffen in gebied I (ALEEM, 1972; HALIM, 1960); ook bij de monding van de Mississippi werd de populatie gedomineerd door Skeletonema en Chaetoceros (vooral in de jaren dat de rivier troebel

1) Doordat uit de waarnemingen bij vorige tochten bekend was dat P en N nooit in beperkende concentraties voor kwamen, werden de concentraties van deze nutriënten deze tocht niet bepaald.

water aanvoerde, in jaren met een lage afvoer werd naast deze soorten ook Asterionella belangrijk, SIMMONS & THOMAS, 1962). Ook in het zeer vervuilde water bij de haven van Oslo waren de soorten van gebied I belangrijk (BRAARUD, 1945).

Normaal beweegt de jaarlijkse successie zich via de voorjaarsbloeisoorten, die de aanwezige nutriënten uitputten, naar de met minder voedingsstoffen genoegen nemende soorten, die echter wel vaak hogere voedingseisen stellen t.a.v. vitamines e.d. (FOGG, 1965). In onze wateren begint de successie met een populatie die in hoofdzaak uit diatomeën bestaat (zoals Skeletonema costatum, etc.), terwijl in de loop van het jaar dinoflagellaten (Ceratium sp.) belangrijker worden (ROBINSON, 1965; BRAARUD, GAARDER & GRØNTVED, 1953). ODUM, 1969; 1971) en MARGALEF, (1967; 1968) beschrijven de ontwikkeling van ecosystemen via verschillende rijpheidsstadia, waarbij de meest rijpe stadia bereikt worden aan het eind van de successie. Hoe rijp een ecosysteem in de loop van de tijd kan worden, hangt af van de situatie ter plaatse (mate van verstoring, klimaat, enz.). Nu zijn de soorten die we in gebied I vinden volgens MARGALEF (1967); 1968) kenmerkend voor zeer onrijpe systemen, terwijl de dinoflagellaten en ook diatomeë als Rhizosolenia kenmerkend zijn voor een rijpere situatie. De constante toevloed van nutriënten maakt dat het systeem in het gebied bij de Rijnmond niet in evenwicht kan komen en dus onrijp blijft. De normale successie van eutroof naar oligotroof wordt door de eutrofiëring verstoord.

ODUM en MARGALEF geven beiden als kenmerk van een rijp systeem een grote diversiteit. Wij vonden op de minst rijpe punten (bv. punten A en D) inderdaad een lage diversiteit, maar ook op de rijpere stations in het minder eutrofe water in het Ceratium-gebied (bv. de punten 40, 41, 28, 29) vonden we met onze telmethode een lage

diversiteit. Het meest divers zijn die stations die liggen op punten waar twee watermassa's zich met elkaar vermengen, zoals de Waddenzee-waterstations 46 en 47 (20 soorten), station 33 (grens gebieden II en IV en III en IV, ook 20 soorten) en ook stations in het onrijpe gebied I. Diversiteit berekend uit de soorten die wij onderscheiden hebben, is in het Nederlandse kustwater geen maat voor de rijkheid van het systeem. Heel anders kon de zaak wel eens komen te liggen als we de diversiteit berekenden aan de hand van de fotosynthetisch actieve cellen. WATT, (1971) vindt dat in het algemeen de fotosynthetische diversiteit minder informatie geeft dan de taxonomische diversiteit. In het Nederlandse kustwater, waar verschillende soorten water zich met elkaar vermengen, is dit waarschijnlijk net andersom. Zoetwaterplankton in gebied I draagt daar bij tot een grotere taxonomische diversiteit, maar het is de vraag hoe actief die cellen daar nog zijn. Onderzoek hiernaar m.b.v. autoradiografie (zie supplement) zou een antwoord kunnen geven op deze vragen.

Dat het nutriëtniveau een belangrijke rol speelt bij de soortensamenstelling wordt aannemelijk gemaakt door onderzoek van DUGDALE e.a. (DUGDALE, 1967; MAC ISAAC & DUGDALE, 1972; EPPLEY, ROGERS & MAC CARTHY, 1969; GOERING, 1972; e.a.). Dit onderzoek heeft aangetoond dat de opnamesnelheid van voedingsstoffen bij toenemende substraatconcentratie voldoet aan Michaelis-Menten-kinetica. Omdat zij in zee werkten bekeken zij de NO_3^- -N en NH_4^+ -N opname. In het algemeen wordt de opname van voedingsstoffen beschreven door een formule van de vorm:

$$v = \frac{v_{\max}}{1 + \frac{K_T}{(S)}} \quad , \text{ waarin } v \text{ de actuele opnamesnelheid is,}$$

v_{\max} de maximaal mogelijke opname-snelheid, (S) de nutriëntenconcentratie en K_T de Michaelis-Mentenconstante. Deze K_T is gelijk aan de

substraatconcentratie bij die snelheid waarbij $v = 1/2 v_{\max}$ (zie bv. MAHLER & CORDES, 1970). Deze Michaelis-Mentenconstante blijkt een voor de diverse planktonsoorten karakteristieke grootte te zijn. Aan de hand van Fig. 13 kan gemakkelijk gezien worden dat soorten met een lage K_T -waarde in water met lage nitraat-(=nutriënt)concentratie in het voordeel zijn boven soorten met een hoge K_T -waarde. De laatste zijn door hun hogere v_{\max} in het voordeel in water met een hoge nitraatconcentratie. M.a.w. de K_T -waarden geven aan in hoeverre een organisme in staat is gebruik te maken van lage concentraties aan nutriënten (EPPLEY, ROGERS & MAC CARTHY, 1969). De weinige K_T -waarden die tot nu toe gemeten zijn aan de diverse soorten lijken de theorie te bevestigen. Zo vinden wij Chaetoceros inderdaad in het voedselrijke water en Rhizosolenia in het minder eutrofe. Laboratoriumproeven met de soorten uit het Nederlandse kustwater zullen noodzakelijk zijn om zekerheid te krijgen.

De verschillende fytoplanktongemeenschappen in het Nederlandse kustwater zijn wellicht eveneens geassocieerd met het silicaatgehalte. Silicium dat voor diatomeën een macronutriënt is (40-50% van het drooggewicht kan worden ingenomen door silicium (PARSONS, 1961), is voor andere algen een micronutriënt (bij diatomeën is silicium namelijk niet alleen noodzakelijk voor de skeletbouw, maar is het ook essentieel bij levensprocessen als de opbouw van DNA, AREHART, 1972). Uit de literatuur is bekend dat silicaat beperkende factor kan zijn voor diatomeëngroei. LUND (1950) vond voor cultures van Asterionella formosa, dat beneden concentraties van $0,5 \text{ mg SiO}_2/1$ ($= 8,3 \mu\text{gat}/1$) de groei van deze diatomee beperkt werd door siliciumgebrek. SCHELLEN & STOERMER (1971) noemen als grens waar beneden diatomeëngroei onmogelijk is $0,1 \text{ mg SiO}_2/1$ ($1,6 \mu\text{gat}/1$).

De eerste concentratiegrens valt bij ons ongeveer samen met

gebied I (Fig. 11) waarin ook de aan de zoetwater soort A. formosa verwante A. japonica zijn optimum heeft. De grens van $1,6 \mu\text{g}/\text{l}$ als limiet voor het voorkomen van diatomeën is bij ons niet zo duidelijk. Bekijken we het verloop van het silicaatgehalte verder dan blijkt bij de wat lagere silicaatgehaltenes in het overgangsgebied II Chaetoceros socialis belangrijk te worden. Dit is in overeenstemming met onderzoek van RYTHER (1971) die in het van nature voedselrijke water bij de opwellende stromen voor de kust van Peru ook vond dat in de tijd dat de opwelling minder was (en er dus minder silicaat aanvoer was) Chaetoceros debilis vervangen werd door de kennelijk aan lagere silicaatconcentraties aangepaste Chaetoceros socialis. In het gebied met de laagste silicaatgehaltenes (maar ook met de in het algemeen lagere nutriënten-concentraties!) worden de diatomeën vervangen door de nauwelijks silicaat nodig hebbende dinoflagellaten. Of het hier nu de lage silicaatconcentratie of i.h.a. de lage voedingsstoffenconcentratie is, waardoor Ceratium bevorderd wordt is alleen door laboratoriumproeven uit te maken (bv. met chemostaatcultures).

Het silicaatgehalte speelt vermoedelijk in interactie met het niveau van andere macronutriënten een zeer belangrijke rol in de successie van het fytoplankton langs de Nederlandse kust. De silicaatconcentratie speelt lang niet in alle wateren deze belangrijke rol; meestal worden soorten eerder beperkt door fosfaat- of nitraatgebrek en is silicaat in overmaat aanwezig. Het feit dat de verrijking van met fosfaat en nitraat zo geweldig is toegenomen, terwijl de silicaatconcentratie nauwelijks toegenomen is, maakt dat het silicaat deze rol gekregen heeft. Op grond van soortgelijke waarnemingen in zoet water heeft KILHAM (1971) de hypothese gesteld dat de grootte van de silicaatvraag ("silicate demand") gebruikt zou kunnen worden als index van de graad van eutrofiëring. Behalve door toenemende

eutrofiëring wordt het beperkend worden van silicaat in het Nederlandse kustwater ook in de hand gewerkt door de in vergelijking met andere rivieren lage gemiddelde concentratie in de zomer van silicaat in de Rijn (gemiddeld 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ tegen 210 $\mu\text{g}/\text{l}$ als wereldgemiddelde, Van BENNEKOM, 1972).

Verschillende auteurs (MARGALEF, 1971; SCHELSKE & STOERMER, 1971) wijzen erop dat silicaatuitputting kan leiden tot de ontwikkeling van ongewenste soorten.

Sporelementen

Over de remmende en/of stimulerende werking van de verschillende sporelementen in het Nederlandse kustwater is nauwelijks iets bekend. De kopersulfaatlozing in 1965 bij Noordwijk had ook op het fytoplankton een duidelijk remmende invloed (ROSKAM, 1970). De Rijn voert grote hoeveelheden zware metalen aan en het is bekend dat allerlei geadsorbeerde metalen in estuaria desorberen als ze in aanraking komen met het zoute water (TUREKIAN, 1971). GOLDMAN (1965) wijst erop dat de groeiremmende invloed van in natuurlijke situaties voorkomende metaalconcentraties niet onderschat moet worden (zie ook bv. STEEMAN-NIELSEN & WIUM-ANDERSEN, 1970).

In hoeverre de normaal in het Nederlandse kustwater voorkomende concentraties een bepalende invloed hebben op omvang en soortensamenstelling van de fytoplanktonpopulaties zal alleen uitgemaakt kunnen worden door laboratoriumproeven.

Organische stoffen

De veelheid van organische stoffen die thans in het Nederlandse kustwater voor komen, kunnen onderscheiden worden in groeistimulerende, groeiremmende en indifferente stoffen. Hierbij speelt de aard van de stof alsook de concentratie een rol.

In het algemeen werken organische stoffen als humuszuren,

aminozuren, enz. groeibevorderend (PRAKASH & RASHID, 1968; PRAKASH. 1971). De ene soort heeft meer vitamines nodig dan de andere en vele onderzoekers zijn van mening dat de successie mede verloopt o.i.v. organische stoffen. De eerste soorten kunnen groeien op eenvoudige, anorganische nutriënten, deze scheiden organische stoffen af die op hun beurt de groei van andere, meer eisen stellende soorten mogelijk maakt (FOGG, 1965; e.a.).

De vele systeemvreemde stoffen zoals bv. DDT's PCB's, olievernontreiniging alsook eenvoudiger stoffen als benzeen, hexaan, kresol, toluen, enz. kunnen op bepaalde soorten een remmende werking uitoefenen (NORTH, STEPHENS & NORTH, 1970; MENZEL, ANDERSON & RANDTKE, 1970; MOSSER, FISHER, TENG & WUSTER, 1972; MIRONOV, 1968). Bij de thans in het Nederlandse kustwater voor komende concentraties (voor olie zie ZOETEMAN, PIET & RUYGROK, 1972) is het mogelijk dat bepaalde soorten in hun groei geremd worden en zo kan op lange termijn de soortensamenstelling in dit gebied drastisch veranderen. Ook hier is laboratoriumonderzoek noodzakelijk om groter zekerheid te verschaffen.

Licht

De lichtintensiteit neemt in water exponentieel af met de diepte. Op blz. 14 vermeldden wij reeds dat de produktie in de bovenste waterlagen doorgaans lichtgeremd is, dat daaronder een maximum optreedt op 1 á 2 meter en dat daarbeneden de produktie afneemt. Op een diepte waarop nog 1% van de lichtintensiteit aan het wateroppervlak door dringt, is de respiratie ongeveer gelijk aan de produktie; in de waterlaag boven deze diepte, de eufotische zone, komt de produktie tot stand.

De diepte van de eufotische zone is uiteraard afhankelijk van de turbiditeit van het water; hoe meer deeltjes in het water

gesuspendeerd zijn of hoe groter de standing-stock van het fytoplankton hoe troebeler het water en hoe kleiner de eufotische zone (MEGARD, 1972; e.a.). In gestratificeerd water zullen veel fytoplankters de voor hun optimale lichtintensiteit opzoeken (de ene soort kan beter tegen een lagere intensiteit dan de andere, STEELE, 1971), in turbulent water, zoals het Nederlandse kustwater, is het plankton min of meer homogeen over de waterkolm verdeeld (SOROKIN, 1960) en hier is de tijd die een algencel in de eufotische zone vertoeft afhankelijk van de grootte van de eufotische zone en de mengdiepte (die in het Nederlandse kustwater o.h.a. de totale diepte tot de boden is).

SVERDRUP (1953) bekeek de relatie tussen turbiditeit, de hoeveelheid inkomende straling, de respiratie van het plankton, en de mengdiepte. Hij concludeerde dat op basis van alleen het energiebudget, de mengdiepte de produktie kan beperken, omdat de fotosynthetiserende algen bij een t.o.v. de eufotische zone te grote mengdiepte, een te lange tijd van hun leven doorbrengen op dieptes, waar onvoldoende licht is. Vandaaruit ontwikkelde SVERDRUP de term "kritieke diepte" als de mengdiepte waarbij de produktie per eenheid van oppervlak precies in evenwicht is met de respiratie. Bij zeer grote mengdieptes of bij ondiepe eufotische zones (grote turbiditeit) is het energie-regime voor de individuele alg zodanig dat de primaire produktie, mits nutriënten niet al beperkend zijn) beperkt wordt door de beschikbare hoeveelheid licht. MURPHY (1962; 1971) heeft SVERDRUPS formules nog wat gepreciseerd en uit zijn werk bleek nog eens de geweldige invloed van de turbiditeit.

In het Nederlandse kustwater is er sprake van de situatie waarbij een door de grote turbiditeit relatief kleine eufotische zone samengaat met een relatief grote mengdiepte, terwijl nutriënten i.h.a. niet beperkend zijn. Het is dan ook het lichtregime dat in het

Nederlandse kustwater de grootte van de primaire produktie in de eerste plaats beperkt.

Ook MACISAAC & DUGDALE (1969) en FOGG (1968) zeiden al dat in oligotrofe gebieden nutriënten meestal beperkend zijn, maar dat in eutrofe gebieden licht vaak beperkend is. POMEROY (1972) wijst erop dat verdergaande eutrofiëring in troebele wateren geen effect heeft op de grootte van de produktie. (Hij adviseerde dan ook om de troebele Mississippi niet helderder te maken, daar dit het risico van planktonbloei met alle ongewenste effecten vandien zeer zou verhogen!). Het gunstiger worden van het lichtregime (minder troebel, minder turbulentie door het rustige weer) is ook hoogstwaarschijnlijk de aanleiding geweest tot de Coscinidiscus-bloei van mei-juni 1972 bij Callantsoog.

Behalve bepalend voor de grootte van de produktie kan ook het lichtregime invloed hebben op de soortensamenstelling. Grote fytoplankters bv. hebben een hoge lichtintensiteit nodig vanwege een lage chlorofyl a/ organische stof verhouding (PARSONS & ANDERSON, 1970). Dit is waarschijnlijk de verklaring voor het feit dat we Guinardia flaccida in het wat helderder water, verder uit de kust, in grotere aantallen vinden dan vlak bij de kust. Ook de turbulentie kan invloed hebben: in gestratificeerd water zijn de beweeglijke dinoflagellaten in het voordeel boven de meer starre diatomeën die daar uitzakken.

Samenvattend kunnen we zeggen dat in het Nederlandse kustwater de grootte van de primaire produktie in de eerste plaats wordt gereguleerd door het lichtregime (troebelheid, turbulentie). De soortensamenstelling van het fytoplankton wordt in de eerste plaats gereguleerd door niveau en verhouding van macronutriënten, waarbij het silicaat een bijzonder belangrijke rol lijkt te spelen. Sporeelementen, organische stoffen en lichtregime kunnen hiernaast ook van invloed zijn.

Het Noctiluca red tide bij Scheveningen

Onder "red tide" verstaat men kleuring van de zee door bloei van microörganismen (ciliaten, dinoflagellaten, blauwwieren) (BRONGERSMA-SANDERS, 1972). Sommige red tides (o.a. van Goniaulax-soorten) zijn berucht om hun toxische werking; vissterfte, vogelsterfte en mosselvergiftiging zijn verschijnselen die vaak samengaan met het voor komen van rood water. Noctiluca red tides zijn echter onschuldig.

Noctiluca miliaris is een zeer grote flagellaat (0,5-2,0 mm), meestal 0,8-1,0 mm). Ze voeden zich volkomen dierlijk, het voedsel bestaat volgens ENOMOTO (1956) voor 90% uit diatomeën, maar het is een weinig selectieve "grazer" en hij vreet net zo goed andere vertegenwoordigers van het fyto- en zoöplankton (LEFÉVRE & GRALL, 1970; STEIDINGER & WILLIAMS, 1970; PRATJE, 1925). In onze wateren zijn zij het meestal die verantwoordelijk zijn voor het lichten van de zee. Ze bevinden zich uitsluitend in het plankton en worden vooral gevonden in kustgebieden. Soms verzamelen de cellen zich door hun geringe soortelijk gewicht aan het oppervlak (ze kennen geen actieve beweging, de aanwezige dradenzweep heeft geen functie bij de voortbeweging), en ziet men ze vaak in strepen de zee kleuren (gegevens volgens PRATJE, 1925).

Red tides van Noctiluca komen over de gehele wereld voor en worden in onze noordelijke wateren het meest aangetroffen bij rustig weer in de nazomer en herfstmaanden (PRATJE, 1925; FONDS & EISMA, 1967; MANDELLI, 1970; BRONGERSMA-SANDERS, 1972; e.a.). Hoewel er in de literatuur veel melding wordt gemaakt van Noctiluca-bloei, ontbreken meestal precieze gegevens over hydrologie en fytoplankton (LEFÉVRE & GRALL, 1970). Het relatieve belang dat men ook toekent aan de verschillende factoren die invloed hebben op het ontstaan van een red tide, varieert.

Sommigen zien in het feit dat red tide organismen in het algemeen voor hun groei hoge voedingseisen stellen (humusstoffen, vitamines, etc.) en het feit dat deze stoffen door landdrainage en rivieren aangevoerd worden, de verklaring dat red tides vaak bij de kust voor komen (PRAKASH, 1971; NUMANN, 1957). Anderen zien in het feit dat, tenminste voor wat betreft de Noordzee, red tides altijd in de buurt van vervuilde havens voor komen, vervuiling als belangrijkste oorzaak van red tides (PRINCEMIN, 1970). Er bestaat echter tot nu toe geen definitief bewijs dat vervuiling met rioolwater of ander vuil gecorreleerd is met de al dan niet toxische bloei van dinoflagellaten langs de Noordzeekust (COLE, 1970). At deze factoren zullen hun invloed hebben, feit is dat red tides over het algemeen voor komen in eutrofe kustwateren.

De oorzaak van de zeer hoge concentratie die in een Noctiluca red tide waargenomen worden (zoals bij ons zo'n 10.000 organismen per liter), kunnen echter niet verklaard worden door biologische oorzaken. De generatietijd van Noctiluca is veel te groot (3 dagen) om de enorme concentratie die soms in zeer korte tijd ontstaan, te verklaren. Ook de hoeveelheid voedingsstoffen, nodig om zo'n hoeveelheid in zo'n korte tijd te doen ontstaan, is vaak niet in het betreffende water voor handen (LEFÈVRE & GRALL, 1970). Vele onderzoekers hebben gemeend de hoge concentratie die in een red tide (ook andere dan van Noctiluca) mogelijk zijn, te moeten toeschrijven aan fysisch-mechanische oorzaken, zoals wind, convergentiestromen, enz. (LEFÈVRE & GRALL, 1970; FONDS & EISMA, 1967; LUND, 1970; SELIGER, CARPENTER, LOFTUS & MC ELROY, 1970; HORNE, JAVORNICKY & GOLDMAN, 1971; ROUNSEFELL & NELSON, 1966; e.a.). Ook het voor komen van vrijwel alle beschreven red tides van Noctiluca, als ook van andere red tide organismen, in strepen, wijst in de richting van een mechanische concentratie door

de wind (convergentiestromen, "Langmuircirculation"), nadat de organismen door rustig weer (weinig turbulentie) de kans hebben gekregen naar de oppervlakte te stijgen, zoals in het geval van Noctiluca, of door een andere oorzaak in de oppervlaktelagen geconcentreerd zijn (bv. positieve fototaxis zoals bij Peridinium, SELIGER, CARPENTER, LOFTUS & MC ELROY, 1972).

Op basis van de huidige kennis van Noctiluca red tides, kunnen we concluderen dat het Noctiluca red tides bij Scheveningen past in het algemeen aangetroffen beeld van voorkomen in relatief eutrofe kustwateren en dat de zeer hoge concentratie veroorzaakt is door het rustige weer, waardoor de cellen geconcentreerd werden in de bovenste waterlagen, in samenwerking met een zeer zachte wind die de cellen in strepen bijeen dreef door de convergentiestromen.

VI. LITERATUUR

- ALEEM, A.A., 1972. Effect of river outflow management on marine life. Mar. Biol. 15 : 200-208.
- ALLEN, H.L., 1971. Primary productivity, chemorganotrophy and nutritional interactions of epiphytic algae and bacteria on macrophytes in the littoral of a lake. Ecol. Monogr. 41 (2): 97-127.
- , 1972. Phytoplankton photosynthesis, micronutrient interactions and inorganic carbon availability in a soft water Vermont lake. In: Nutrients and Eutrophication, Special Symposia American Soc. Limnol. Oceanogr., ed. G.E. Likens, 63-83.
- ANDERSON, G.C., 1964. The seasonal and geographic distribution of primary productivity off the Washington and Oregon coasts. Limnol. Oceanogr. 9 (3): 284-302.

- ANDERSON, G.C. & R.P. ZEUTSCHEL, 1970. Release of dissolved organic matter by marine phytoplankton in coastal and offshore areas of the N.E. Pacific ocean. *Limnol. Oceanogr.* 15 (3): 402-407.
- ANON., 1971. Futility of phosphate detergent ban. *Mar. Poll. Bull.* 2 (4): 50-51.
- AREHART, J.L., 1972. Diatoms and silicon. *Sea Frontiers* 18 (2): 89-94.
- BEEON, A.M. & W.T. EDMONDSON, 1972. The eutrophication problem. *J. Fish. Res. Bd. Canada.* 29: 673-682.
- BENNEKOM, A.J. van, 1972. The silicon cycle in the Southern Bight of the North Sea. I.C.E.S., CM 1971/C: 39. 4 p.
- BRAARUD, T., 1945. A phytoplankton survey of the polluted waters of inner Oslofjord. *Hvalrad. Skr.* 28, 142 p.
- BRAARUD, T., K.R. GAARDER & J. GRØNTVED, 1953. The phytoplankton of the North Sea and adjacent waters in May 1948. *Rapp. P. V. Reun., Conc. perm. int. Explor. Mer* 133: 4-87.
- BRAARUD, T., 1962. Species distribution in marine phytoplankton. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 20: 628-649.
- BRONGERSMA-SANDERS, M., 1972. Rood water, massale sterfte en mosselvergiftiging. *Waddenbulletin* 7 (1): 2-6.
- CASSIE, R.M., 1961. Statistical and sampling problems in primary production, In: *Proc. Conf. Prim. Prod. Measurement, Marine and Freshwater*. U.S. Atomic Energy Comm. TID-7633: 163-171.
- , 1962. Microdistribution and other error components of ^{14}C primary production estimates. *Limnol. Oceanogr.* 7 (2): 121-130.
- COLE, H.A., 1970. North sea pollution, In: *FAO Fisheries Report* 99.
- CUPP, E.E., 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif.* 5 (1): 1-237.

- CUSHING, D.H., 1957. Some experiments using the ^{14}C technique. Rapp. P.V. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer 144: 73-75.
- DOTY, M.S. & M. OGURI, 1957. Selected features of the isotopic carbon primary productivity technique. Rapp. P.V. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer 144: 47-55.
- DUGDALE, R.C., 1967. Nutrient limitation in the sea: dynamics, identification and significance. Limnol. Oceanogr. 12 (4): 685-695.
- DUINKER, J.C., 1972. De zee in gevaar. Natuur en Landschap 26 (1): 140-164.
- DYRSSEN, D., 1972. The changing chemistry of the oceans. Ambio 1 (1): 21-25.
- EDMONDSON, W.T., 1972. Nutrients and phytoplankton in lake Washington. In: G.E. Likens. Nutrients and Eutrophication, Spec. symp. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr. : 172-188.
- ENDE, W.P. van den, 1849. Betreffende de schol voor de Nederlandse kust. Verhandelingen en Mededelingen van de Inlandsche Vereniging voor Ichtologie.
- ENOMOTO, Y., 1956. On the occurrence and the food of Noctiluca scintillans (Macartney) in the waters adjacent to the west coast of Kyushu with special reference to the possibility of the damage caused to the fish eggs by that plankton. Bull. Jap. Soc. scient. Fish. 22 (2): 82-88.
- EPPLEY, R.W., J.N. ROGERS & J.J. MCCARTHY, 1969. Half saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 14: 912-920.
- FOGG, G.E., 1965. Algal cultures and phytoplankton ecology. Univ. Wisconsin Press, Madison : 126.
- , 1968. Photosynthesis. English Univ. Press, London: 116.

- FONDS, M. & D. EISMA, 1967. Upwelling water as a possible cause of red plankton bloom along the Dutch coast. *Neth. J. Sea Res.* 3 (3): 458-463.
- FUHS, W.G., 1972. Characterization of phosphorus limited plankton algae. In: G.E. Likens. *Nutrients and Eutrophication*, Spec. Symp. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr. : 113-132.
- GIESKES, W.W.C., 1972. Primary production, nutrients, and size spectra of suspended particles in the southern North Sea. *Int. Verslag N.I.O.Z.*, 16: 39.
- , 1973. De massale plankton sterfte op de kust bij Callantsoog juli 1972. *Waddenbulletin* 8 (1): 36-37.
- GOERING, J.J., 1972. The role of nitrogen in eutrophic processes. In: R. Mitchell. *Water pollution microbiology*, John Wiley & Sons Inc., New York : 43-68.
- GOLDMAN, E.R., 1965. Micronutrient limiting factors and their detection in natural phytoplankton populations. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 18 suppl.: 121-135.
- HALIM, Y., 1960. Observations on the Nile bloom of phytoplankton in the Mediterranean. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer* 26: 57-67.
- HARDY, A., 1956. *The open sea, part I: the world of plankton*. Collins, Fontana, London : 396.
- HOLLAND, R.E. & A.M. BEETON, 1972. Significance to eutrophication of spatial differences in nutrients and diatoms in lake Michigan. *Limnol. Oceanogr.* 17 (1): 88-97.
- HORNE, A.J., P.J. JAVORNICKY & C.R. GOLDMAN, 1971. A fresh water "red tide" on clear lake, California. *Limnol. Oceanogr.* 16 (4): 684-689.
- JITTS, H.R., 1963. The simulated in situ measurement of oceanic

- primary production. Austr. J. Mar. Freshw. Res. 14: 139-147.
- JOHNSTON, R., 1971. Nutrients and metals in the North Sea. Proc. North Sea Science Conf. NATO.
- KEENEY, D.R., R.A. HERBERT & A.J. HOLDING, 1971. Microbiological aspects of the pollution with inorganic nutrients. In: G. Sykes & F.A. Skinner. Microbial aspects of pollution. Academic Press, London, New York : 181-200.
- KETCHUM, B.H., 1939. The absorption of phosphate and nitrate by illuminated cultures of Nitzschia closterium. Am. J. Bot. 26: 399-407.
- , 1969. Eutrophication of estuaries. in: Eutrophication: causes, consequences, correctives. Proc. Symp. Nat. Acad. Science, 197-208.
- KILHAM, P., 1971. A hypothesis concerning silica and the freshwater planktonic diatoms. Limnol. Oceanogr. 16 (1): 10-18.
- KOEMAN, J.H., 1968. Residues of chlorinated hydrocarbon insecticides in the North Sea environment. Helgol. wiss. Meeresunters. 17: 375-380.
- KORRINGA, P., 1968. Biological consequences of marine pollution with special reference to the North Sea fisheries. Helgol. wiss. Meeresunters. 17: 126-140.
- KROON, J.C. de, 1971. Potentiële primaire produktie in het oostelijk deel van de zuidelijk Noordzee. Int. Versl. NIOZ, 1-49
- LEE, A., 1970. The currents and water masses of the North Sea. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 8: 33-71.
- LEFEVRE, J. & J.R. GRALL, 1970. On the relationships of Noctiluca swarming off the western coast of Brittany with hydrological features and plankton characteristics of the environment. J. exp. mar. Biol. Ecol. 4 (3): 287-306.

- LORENZEN, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments. Spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12 (2): 343-346.
- LUND, J.W.G., 1950. Studies on *Asterionella formosa* Hass. II. Nutrient depletion and spring maximum. *J. Ecol.* 38: 15-35.
- , 1964. Primary production and periodicity of phytoplankton. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 15: 37-56.
- , 1967. Eutrophication. *Nature (London)* 214: 557-558.
- , 1970. Primary production. Water treatment and examination 19: 332-358.
- MAC ISAAC, J.J. & R.C. DUGDALE, 1969. The kinetics of nitrate and ammonia uptake by natural populations of marine phytoplankton. *Deep-Sea Res.* 16: 45-57.
- , 1972. Interactions of light and inorganic nitrogen in controlling nitrogen uptake in the sea. *Deep-Sea Res.* 19: 209-232.
- MAHLER, H.R. & E.H. CORDES, 1970. *Biological chemistry*. Harper & Row, New York; Evanston & London, and John Weatherhill Inc., Tokyo.
- MALONEY, T.E., 1972. Algal responses to nutrient additions in natural waters. 1. Laboratory assays. In: G.E. Likens. *Nutrients and Eutrophication*. Spec. Symp. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr. : 134-154.
- MANDELLI, E.F., 1970. Studies of primary productivity in coastal waters of southern Long Island, New York. *Mar. Biol.* 7: 153-160.
- MARGALEF, R., 1967. The food-web in the pelagic environment. *Helgol. wiss. Meeresunters.* 18: 548-558.
- , 1968. *Perspectives in ecological theory*. Univ. Chicago

- Press, Chicago.
- , 1971. Una campana oceanográfica del Cornide de Saavedra en la región de afloramiento del noroeste africano. *Inv. Pesq.* 35 (suppl): 1-39.
- MEGARD, R.O., 1972. Phytoplankton, photosynthesis and phosphorus in lake Minnetonka, Minnesota. *Limnol. Oceanogr.* 17 (1): 68-87.
- MENZEL, D.E., E.M. HULBURT, & J.H. RYTHER, 1963. The effects of enriching Sargasso Sea water on the production and species composition of the phytoplankton. *Deep-Sea Res.* 10: 209-219.
- MENZEL, D.A., J. ANDERSON & A. RANDTKE, 1970. Marine phytoplankton vary in their response to chlorinated hydrocarbons. *Science* 167 (3936): 1724-1726.
- MIRONOV, O.G., 1968. Hydrocarbon pollution of the sea and its influence on marine organisms. *Helgol. wiss. Meeresunters.* 17: 335-339.
- MITCHELL, R., 1972. Water pollution microbiology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- MOSSER, J.L., N.S. FISHER, T.C. TENG & C.F. WUSTER, 1972. Polychlorinated Biphenyls, toxicity to certain phytoplankters. *Science* 175 (4018): 191-192.
- MURPHY, G.I., 1962. The effect of mixing depth and turbidity on the productivity of fresh water impoundments. *Trans. Am. Fish. Soc.* 91: 69-76.
- , 1971. Clarifying a production model. *Limnol. Oceanogr.* 16 (6): 981-982.
- NORTH, W.I., G.C. STEPHENS & R.B. NORTH, 1970. Marine algae and their relation to pollution problems. *FAO Fisheries Report* 99.

- NÜMANN, W., 1957. Natürliche und künstliche "red water" mit anschließende Fischsterben im Meer. Arch. Fischerei Wiss. 8 (3): 204-209.
- ODUM, E.P., 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164 (3877): 262-270.
- , 1971. Ecology. Holt, London. 152 pp.
- PARSONS, T.R., 1961. On the chemical composition of 11 species of marine phytoplankton. J. Fish. Bd. Can. 18: 1001-1016
- PARSONS, T.R., & G.C. ANDERSON, 1970. Large-scale studies of primary production in the north Pacific ocean. Deep-Sea Res. 17: 765-776.
- POMEROY, L.R., 1972. Nutrient flux in estuaries. In: G.E. Likens. Nutrients and Eutrophication. Spec. Symp. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr. : 274-291.
- POWERS, C.F., 1972. Algal responses to nutrient additions in natural waters. II. Field experiments. In: G.E. Likens. Nutrients and Eutrophication. Spec. Symp. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr.
- PRAKASH, A. & M.A. RASHID, 1968. Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton: dinoflagellates. Limnol. Oceanogr. 13: 598-606.
- PRAKASH, A. & M.A. RASHID, 1971. Terrigenous organic matter and coastal phytoplankton fertility. In: J.D. Costlow. Fertility of the sea II. 351-368.
- PRATJE, A., 1925. Noctiluca. In: Grimpe und Wagler. Tierwelt der Nord- und Ostsee. Band I, Teil II, dl-12.
- PRINCEMIN, J.M., 1970. Red tide and pollution. FAO Fisheries Report 99.
- ROBINSON, G.A., 1965. Seasonal cycles of phytoplankton. Bull. Mar. Ecol. 6: 104-122.

- RODHE, W., 1958. The primary production in lakes: some results and restrictions of the ^{14}C -method. P.V. Réunion. Cons. perm. int. Explor. Mer 144: 122-128.
- ROSKAM, P. Th., 1969. Kopervergiftiging in zee. Water, bodem, lucht 56: 19-23.
- , 1970. De verontreiniging van de zee. Chem. Weekblad 66: 56-61.
- ROUNSEFELL, G.A. & W.R. NELSON, 1966. Red tide research summarized to 1964 including an annotated bibliography. Spec. Scient. Rep. U.S. Fish Wildl. Serv., Fish. no. 535, 87 pp.
- RUSSELL-HUNTER, W.D., 1970. Aquatic productivity. MacMillan Comp. New York, 306 pp.
- RYTHER, J.H., 1971. The production and utilization of organic matter in the Peru coastal current. Inv. Pesq. 35 (1): 43-59.
- RYTHER, J.H. & W.M. DUNSTAN, 1971. Nitrogen phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. Science 171: 1008-1013.
- SAUNDERS, R.P. & D.A. GLENN, 1969. Diatoms. Mem. Hourglass Cruises 1 (3): 1-119.
- SCEP, 1972. Expert from SCEP workgroup on ecological effects. Phosphorus and eutrophication. In: Man's impact on terrestrial and oceanic ecosystems. MIT press Cambridge, London. 319-324.
- SCHELSKE, C.L. & E.F. STOERMER, 1971. Eutrophication, silica depletion, and predicted changes in algal quality in lake Michigan. Science 173 (3995): 423-424.
- SELIGER, H.H., J.H. CARPENTER, M. LOFTUS & W.D. MC ELROY, 1970. Mechanisms for accumulation of high concentrations of Dinoflagellates in a bioluminescent bay. Limnol. Oceanogr. 15: 234-245.

- SHAPIRO, J., 1970. A statement of phosphorus. J. Wat. Poll. Control Fed. 42: 772
- SIMMONS, E.G. & W.H. THOMAS, 1962. Phytoplankton of the eastern Mississippi delta. Publ. Inst. Mar. Sci. Port Aransas 8: 269-298.
- SÖDERSTRÖM, J., 1971. Effects of high concentrations of nutrients in Swedish coastal waters. 6th Eur. Symp. Mar. Biol. Abstracts p.54.
- SOROKIN, J.J., 1960. Vertical distribution of phytoplanktons and the primary production in the sea J. Conc. perm. int. Explor. Mer 26: 49-56.
- STEELE, J.A., 1971. Factors affecting algal blooms. In: Sykes & Skinner. Microbial aspects of pollution. Academic Press London: 201-213.
- STEEMANN-NIELSEN, E., 1952. The use of radioactive carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. J. Cons. perm. int. Explor. Mer 18: 117-140.
- STEEMANN-NIELSEN, E. & S. WIUM-ANDERSEN, 1970. Copper ions as a poison in the sea and in fresh water. Mar. Biol. 6 (2): 93-97.
- STEIDINGER, K.A. & J.W. WILLIAMS, 1970. Dinoflagellates. Mem. Hourglass Cruises vol II: 1-251.
- STRICKLAND, J.D.H., 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 122: 1-172.
- STRICKLAND, J.D.H. & T.R. PARSONS, 1968. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 167: 311 p.
- STUMM, W. & E. STUMM-ZOLLINGER, 1972. The role of phosphorus in eutrophication. In: R. Mitchell. John Wiley & Sons Inc., New York. Water Pollution Microbiology. 11-42.

- SUTCLIFFE, W.H., 1970. Certain aspects of production and standing stock of particulate matter in the surface waters of the N.W. Atlantic Ocean. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 27: 1917-1926.
- SVERDRUP, H.U., 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer* 18: 287-295.
- TIJSSSEN, S.B., 1968. Hydrographic and chemical observations in the southern Bight, August and November 1967. *Ann. Biol.* XXIV: 52-56.
- , 1969. Hydrographic and chemical observations in the southern Bight, February, May, August and November 1968. *Ann. Biol.* XXV: 52-59.
- , 1970. Hydrographic and chemical observations in the southern Bight. February, May, August and November 1969. *Ann. Biol.* XXVI: 73-81.
- TOLLENAAR, P., 1969. Nitraat en nitrietanalyses van het Noordzeewater in augustus en november 1968. Intern verslag NIOZ.
- TUREKIAN, K.K., 1971. Rivers, tributaries and estuaries. In: D.W.Hood. John Wiley & Sons Inc., New York. Impingement of man on the oceans. 9-73.
- ÜTERMOHL, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethödik. *Mitt. int. Verein. theor. angew. Limnol.* 9: 1-38.
- VISSER, M.P., 1970. The turbidity of the southern North Sea. *Dt. hydrogr. Z.* 23 (3): 97-117.
- VITIELLO, P. 1964. Contribution à l'étude des Tintinnides de la baie d'Alger. *Pelagos* 2: 5-42.
- WATT, W.D., 1971. Measuring the primary production rates of individual phytoplankton species in natural mixed populations. *Deep Sea Res.* 18 (3): 329-339.

- WEBER, R.E. & G.W. KRAAY, 1972. De invloed van een verstoorde ionenbalans op zeewaterorganismen, toegelicht aan kalium en garnaal. Waddenbulletin 7 (2): 34-36.
- WETZEL, R.G., 1965. Nutritional aspects of algal productivity in marl lakes with particular reference to enrichment bioassays and their interpretation. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 18 (suppl.): 137-157.
- WIMPENNY, The plankton of the sea. Faber & Faber Ltd., London: 1-426.
- WOOD, E.J.F., 1967. Microbiology of oceans and estuaries. Elsevier, Amsterdam : 1-319.
- ZEITZSCHEL, B., 1966. Die Verbreitung der Tintinniden im Nordatlantik. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh. Sonderbd. 2: 293-300.
- ZOETEMAN, B.C.J., G.I. PIET & C.T.M. RUYGROK, 1972. Olie in Nederlandse oppervlaktewater. H₂O 5 (21): 489-497.

SUPPLEMENT

Autoradiografie en primaire produktie metingen

Diverse recente publikaties (WATT, 1971; MOMMAERTS, 1972; PEARL & GOLDMAN, 1972; COULON & ALEXANDER, 1972; GOLDMAN, 1972) wijzen op het feit dat autoradiografie een bijzonder nuttig hulpmiddel zou kunnen zijn bij produktiewerk. Tot nu toe werd bij studies van de primaire produktie het fytoplankton bekeken als een homogene eenheid; direkte meting van de produktie van de individuele cellen van de verschillende species was niet goed mogelijk. De mogelijkheid hiertoe wordt gegeven door de techniek van de autoradiografie.

Hoeveel van het fytoplankton significant bijdraagt tot de produktie en hoe belangrijk die bijdrage is, kan alleen geconstateerd worden nadat de produktie van de individuele soorten gemeten is (soorten moeten dan vergeleken worden in termen van produktie per

eenheid biomassa).

Direkte meting van de produktie per cel is ook van belang voor de studie van de respons van species op veranderingen in het milieu: de organismen in een monster zijn die, welke succesvol zijn òf geweest zijn in hun milieu. De aangetroffen omstandigheden kunnen anders zijn dan de omstandigheden waaronder het organisme in aantal begon toe te nemen. Dit is een probleem van soortensuccessie. Informatie over de primaire produktie van soorten is van belang bij onderzoek naar de structuur van populaties en gemeenschappen. Ook de vraag in hoeverre soorten die gevonden worden in een omgeving waar ze eigenlijk niet thuis horen (zoals bv. *Scenedesmus* in de Noordzee) al dan niet meedoen in de primaire produktie, kan alleen beantwoord worden na autoradiografiestudies.

Aangezien de door bovengenoemde auteurs gebruikte vloeibare emulsie nogal duur¹⁾ was, hebben wij allereerst in de autoradiografieliteratuur gezocht, of een andere emulsie ook niet zou voldoen. Alle andere technieken (ook stripping-film) geven echter vanwege het door de algen hobbelige oppervlak te weinig resolutie (BOYD, 1955; Kodak data sheet).

Om de techniek wat te verkennen hebben we met oude emulsie²⁾ gekeken of de methode die WATT (1971) beschrijft geschikt is.

Methode en resultaten

We volgden WATT's procedure om twee series te maken: één om de soorten op te identificeren en één voor autoradiografie.

Identificeren

De monsters werden gefixeerd in 50% glutaraaldehyde, waarna de cellen verzameld werden op een membraanfilter (Millipore HA). We lieten het monster door de zwaartekracht door het filter drukken, een klein beetje overdruk beschadigde de cellen al vrij sterk (50 cc (hoogte 5 cm)

doorlopen duurde ongeveer 5 uu). Hierna brachten we het filter op een schoon objectglas, doordrenkten het met Zeiss insluitmedium W 15, en zetten het voor drogen en helderworden in een exsiccator. Na drie uur brachten we een dekglasje op. Na een paar dagen lakten we het preparaat dicht en kon het buiten de exsiccator bewaard worden.

Het resultaat was dat de diatomeën allen goed te herkennen waren, van de flagellaten vonden we, hoewel er vrij veel *Ceratium fusus* in ons monster zat, niets herkenbaars terug (Cadee heeft dit laatste ook wel eens gevonden (mondel. comm.)).

Autoradiografie

Omdat we met een oude emulsie²⁾ werkten, konden we alleen het opbrengen van de emulsie testen en de herkenbaarheid van de cellen na de behandeling. We volgden WATT met dat verschil dat we geen geïncubeerde C^{14} algen gebruikten (C^{14} incubatie had geen zin, vanwege de hoge achtergrondswarting die de emulsie had), en i.p.v. ontwikkelen direkt na droging van de emulsie het preparaat fixeerden. Het kitten van de filters op de objektglasjes gebeurde met damp van kokende aceton. Als aanvulling bekeken we op aanwijzing van W. Dirkse³⁾ of hechting van de emulsie bevorderd werd door een chroom-aluinoplossing (recept BOYD, 1955; p. 209). Na de behandeling met HCl damp doopten we de glasjes in deze oplossing en lieten ze drogen. Daarna brachten we de emulsie op.

Resultaten

1. Bij het vastkitten van de filters moet men zeer zorgvuldig te werk gaan, bij vuile objektglasjes of na iets te lang in de damp houden, ribbelt het filter en is het waardeloos geworden voor autoradiografisch werk.
2. Als men de geïncubeerde monsters voor het affiltreren eerst fixeert, is lyofiliseren waarschijnlijk onnodig, omdat dit ook

bedoelt is ter fixatie.

3. Het blootstellen aan HCl-damp kan beter achterwege gelaten worden, omdat de cellen een deel van de door hen gebonden C^{14} hierdoor weer loslaten (ALLEN, 1971) en niet bekend is of cellen van de ene soort dit gemakkelijker doen dan van de andere. Bovendien zitten er in de monsters uit het Nederlandse kustwater geen coccolithofoeren.
4. Gezien punt 2 is het ook niet nodig de filters gedurende de behandeling een keer over te brengen op nieuwe glaasjes. Ze kunnen direkt in het begin op de definitieve glaasjes.
5. Het opbrengen van de emulsie kan op een veel zuiniger manier gebeuren met een pipet. (Je kan dan ook de emulsiedikte berekenen uit de opgebrachte hoeveelheid en het oppervlak; hoe dunner de emulsie, hoe groter de resolutie).
6. De behandeling met de chroom-aluinoplossing bleek essentieel. Bij alle niet behandelde glaasjes liet de emulsie bij de natte behandelingen los van de glaasjes.

Het resultaat van onze behandeling was dat er maar erg weinig te herkennen viel van de cellen. Wil men succes hebben met deze methode dan moet er wel heel voorzichtig gewerkt worden (affiltreren met overdruk lijkt me bv. al volkomen taboe, daar hiermee de halve celinhoud over het filter verspreid wordt).

Veel beter lijkt ons de methode die beschreven wordt door COULON & ALEXANDER (1972), waarbij de cellen i.p.v. op een filter, direkt op een objectglas verzameld worden d.m.v. bezinking. Hierbij is de kans op beschadiging natuurlijk veel geringer en de mogelijkheid van identificatie van de cellen na de behandeling navenant groter.

LITERATUUR

- ALLEN, H.L., 1971. Primary productivity, chemoorganotrophy and nutritional interactions of epiphytic algae and bacteria on macrophytes in the littoral of a lake. *Ecol. Monogr.* 41 (2): 97-127.
- BOYD, G.A. 1955. Autoradiography in biology and medicine, Academic Press Inc., New York: 1-399.
- COULON, C. & V. ALEXANDER, 1972. A sliding chamber phytoplankton settling technique for making permanent quantitative slides with applications in fluorescent microscopy and autoradiography. *Limnol. Oceanogr.* 17 (1): 149-152.
- GOLDMAN, C.R. 1972. The role of minor nutrients in limiting the productivity of aquatic ecosystems. In: G.E. Likens. Nutrients and eutrophication, Spec. Symp. vol 1 Amer. Soc. Limnol. Oceanogr. 21-31.
- MOMMAERTS, J.P., 1972. Autoradiography as a tool in primary production research. *Neth. J. Sea Res.* 5 (4): 437-439.
- PEARL, H.W. & GOLDMAN, C.R., 1972. Heterotrophic assays in the detection of watermasses of lake Tahoe, Cal. *Limnol. Oceanogr.* 17 (1): 145-149.
- WATT, W.D., 1971. Measuring the primary production rates of individual phytoplankton species in natural mixed populations. *Deep Sea Res.* 18 (3): 329-339.
- ANON. Kodak Data Sheet SC 10. Autoradiography issue C. Kodak Ltd. London.

Noten

- 1) Kodak NTB-2 vloeibare emulsie, 4 ounce f.355,--.
- 2) Nuclear Research Emulsion K-5. minimumafname 50 cc (f.190,34 incl.

BTW), drie weken levertijd, maximaal drie maanden houdbaar, te verwerken 1:1 verdund met aq. dest.

Te bestellen bij: Ilford foto NV., Jan Redelstraat 5, Amsterdam, telefoon 020-198011. (erbij zeggen dat de afleveringsdatum niet later mag liggen dan tien dagen na fabricadatum).

- 3) De heer Dirkse heeft op het ITAL (Keyenbergseweg 6, Wageningen-Hoog, telefoon 08370-19120) jarenlang autoradiografisch werk gedaan o.a. met vloeibare emulsies. Gespecialiseerde apparatuur o.a. voor het drogen van de preparaten is op het ITAL aanwezig en zou desgewenst aldaar door gastonderzoekers gebruikt kunnen worden.

Tabel I

Fysische en chemische waarnemingen. In deze Tabel zijn de volgende eigenschappen van de monsterpunten bijeengebracht:

- Positie, 4.08-51.58 wil zeggen 4°8'0 en 51°58'N.
- Zoutgehalte in grammen per liter (S°/oo).
- Secchiwaarde (sec.) in meters.
- Silicaatgehalte (sil.) in microgramatoom per liter.
- Temperatuur (temp.) in °C.
- Of het op het tijdstip van monstername eb (e) of vloed (v) was.
- Chlorofylgehalte in miligram per kubieke meter. (chl.).
- Phaeopigmentengehalte in miligram per kubieke meter. (ph.).
- Percentage dood chlorophyl (%).

Pt.	Positie	Zout	Sec.	Sil.	Temp.	e-v	Chl.	ph	%
A	4.08-51.58	5,925	1,5	37,2	20,1	v	6,30	8,06	56
B	4.02-52.04	30,145	3,5	6,1	18,0	e	5,80	3,01	34
B-2	idem, van 10 m. diepte			3,3	-	idem	7,01	1,06	13
C	4.18-52.12	27,772	4	12,2	17,7	v	7,26	2,44	24
D	4.07-52.16	28,105	6,5	7,0	19,3	e	2,73	3,49	56
D-2	idem, van 15 m. diepte			-	-	idem	5,20	1,02	16
E	4.20-52.38	33,224	6	1,7	17,8	v	3,54	1,85	34
F	4.33-52.46	31,904	4,5	3,6	17,8	e	4,42	0,81	16
G	4.20-53.00	33,702	10	0,9	17,5	e	2,24	0,67	23
G-2	idem, van 20 m. diepte			0,7	-	idem	-	-	-
		34,384							
1	4.42-52-57	32,235	5,5	4,0	18,4	v	3,38	1,65	33
2	4.385-52.53	33,144	9	2,8	17,8	v	2,17	0,31	13
3	4.38-52.47	32,278	3,5	4,1	18,2	v	3,51	2,37	40
4	4.35-52.38	31,748	5,5	5,6	18,3	e	3,17	2,26	42
5	4.33-52.32	31,298	5	4,9	18,3	e	3,52	1,26	26
6	4.31-52.25	30,398	3,5	5,1	18,4	e	6,83	1,52	18
7	4.28-52.20	28,927	3,5	8,2	18,4	e	9,98	2,83	23
8	4.24-52.15	26,818	2,5	12,0	18,6	e	13,34	8,32	39
8a	4.195-52.11	-	-	-	-	e	-	-	-
9	4.19-52.10	24,537	2	16,1	18,5	v	9,20	2,76	23
10	4.11-52.04	24,091	4	11,0	17,8	v	3,92	1,88	32
12	4.02-52.00	31,919	2,5	3,7	16,3	v	6,80	2,64	28
13	3. 9-51.59	31,418	4,5	4,1	17,3	e	4,70	0,63	12

Tabel I (vervolg)

Pt.	Positie	Zout	Sec.	Sil.	Temp.	e-v	Chl.	ph	‰
14	3.50-52.09	33,368	4,5	0,9	17,3	e	8,36	2,52	23
15	3.57-52.03	33,263	6,5	1,3	17,3	e	6,25	1,56	25
15a	3.47-52.06	34,437	8,5	0,4	17,3	e	4,51	0,73	16
16	4.07-52.05	30,393	4	6,5	17,3	e	4,00	1,46	27
17	4.01-52.07	32,825	5,5	2,1	17,3	e	5,42	1,19	18
18	3.55-52.10	33,908	7	0,8	17,3	e	5,88	1,53	21
19	4.05-52.08	32,095	8	2,3	18,0	v	2,07	1,13	35
20	4.12-52.08	25,847	3,5	15,0	18,0	v	8,81	2,39	21
21	4.10-52.11	31,077	7	5,4	18,3	v	2,38	0,95	29
22	4.13-52.12	29,726	7	8,3	18,0	v	4,60	0,92	17
23	4.05-52.13	32,515	7,5	3,4	18,3	v	1,87	0,06	3
24	3.53-52.13	33,939	10	0,8	17,8	v	3,28	0,52	14
25	4.00-52.12	33,571	7	1,4	17,9	v	3,70	2,40	39
26	4.22-52.17	27,884	5,5	11,5	17,5	v	6,52	3,64	32
27	4.14-52.18	31,571	7,5	4,6	17,5	e	3,83	1,61	30
28	4.02-52.22	33,898	10	0,8	18,0	e	1,79	1,60	47
29	4.17-52.23	32,561	8	2,5	17,8	v	2,88	1,23	30
30	4.27-52.22	28,281	5	9,2	17,8	v	7,91	4,66	37
30-2	idem van 15 m. diepte			3,4	-	idem	5,23	1,93	27
31	4.08-52.28	33,944	14	0,7	18,2	e	0,85	0,87	51
32	4.20-52.29	32,165	7	2,2	18,3	v	4,60	1,52	25
33	4.30-52.30	29,375	4	5,8	18,3	v	7,12	2,99	30
34	4.25-52.33	30,948	5	3,7	18,5	v	6,67	0,87	13
35	4.20-52.40	33,833	7	1,2	17,6	v	1,86	1,21	40
36	4.20-52.45	34,415	13	0,4	17,3	v	0,83	0,11	12
37	4.25-52.45	33,460	6,5	1,4	17,7	e	4,19	0,05	1
38	4.30-52.48	32,911	8	2,5	17,7	e	3,85	2,39	38
39	4.24-52.48	34,468	11	0,5	17,2	e	0,87	0,58	40
40	4.20-52.50	34,566	10	0,7	17,2	e	1,60	0,56	26
41	4.25-52.51	34,640	14	0,2	17,4	e	0,76	0,60	44
42	4.30-52.55	34,040	8	0,8	17,5	e	2,30	1,07	32
43	4.30-53.00	33,485	9	2,9	17,7	e	2,34	0,72	24
44	4.37-53.04	32,874	9	3,1	17,7	v	3,91	1,22	24
45	4.35-52.55	32,963	4	2,3	17,8	e	2,94	2,52	46
46	4.42-52.57	29,840	2,5	6,4	18,3	e	5,83	2,33	29
47	4.45-52.59	28,565	2,5	6,4	18,6	e	6,39	3,76	37
Noordzeekanaal tussen de pieren		21,858	-	16,8	-	-	11,98	4,26	26

Tabel II.

Fyto- en microzoöplankton aangetroffen in de monsters uit het Nederlandse kustwater. 29-7-72 4-8-72. De tellingen zijn verricht door 5 ml van elk der verzamelde fytoplanktonmonsters door te tellen. De getallen die opgegeven zijn, slaan op het aantal cellen, of bij in ketens voorkomende soorten op het aantal ketens dat per ml voorkwam. Een plusteken duidt aan dat de soort weliswaar aanwezig was, maar in aantallen kleiner dan één exemplaar per ml. Van de slijmvormende in kolonies voor komende soorten Phaeocystis sp. en Chaetoceros socialis slaan de aantallen op de aantallen kolonies per 5 ml, die groter waren dan 500μ . De aanwezigheid van kleinere kolonies werd aangegeven met een plusteken; waren er meerdere kleinere kolonies die tot één van 500μ samengevoegd konden worden, dan werden deze kolonies samen als één geteld (noot*) uit de Tabel. Er is een poging gedaan de monsterpunten zoveel mogelijk in op grond van overeenkomst in de aanwezige algenpopulaties samenhangende groepen in te delen. Ook de soorten fytoplankton zijn zoveel mogelijk in zondanige groepen bij elkaar gezet als zij ook in zee aangetroffen worden. De één na laatste regel van de Tabel geeft per monsterpunt het totaal aantal aangetroffen organismen per ml. Onderaan de Tabel is het aantal onderscheiden soorten per monsterpunt opgegeven.

Tabel II (vervolg)

Soorten / Stations:	12	B	B ₂	17	16	10	20	9	8a	C	8	26	7	A	13	15	15a	14	18	19	21	22	23	24	25	D	27	30	NZ kan	
<i>Ceratium fusus</i>	+	+	1	+	+	+				+	1	+	7		+	+	+		6	2	+	5	4	6		1	1	4		
<i>C. furca</i>																									+					
<i>C. tripos</i>																					+	+		+	+					
<i>Rhizosolenia setigera</i>							+	+					8									+					+	2		
<i>R. shrubsolii</i>			+							+												+								
<i>Nitzschia closterium</i>			+	+	+	+	1	1	22	2	9	1	11	1	+	+	+	+	1	+	1			1			13			
<i>N. seriata</i>								3			3		3															1		
<i>N. pungens</i>																														
andere Pennatae	1	4	+	+	2	1	3	8	9	1	3	2	5	33					1	1	2					3	1	11		
<i>Coscinodiscus concinnus</i>													+														+	1		
kleine <i>Coscinodiscus</i>	1		+	+	+		+				+	+			+	+	+		1		+		1		+					
<i>Thalassiosira</i> sp.									2				+	1																
<i>Bidulphia regia</i>																														
<i>Guinardia flaccida</i>	+	1	+		+	+											+	+	2		+			1	2		+			
<i>Peridinium</i> sp.									1		+								+											
<i>Dinophysis</i> sp.				+								+														+	1			
<i>Goniaulax</i> sp.																														
<i>Rhodomonas</i> sp.		+		+	+	1	+				+	+									+	1	+		+			+		
<i>Phaeocystis</i> sp.*				+																										
<i>u. flagellaatjes</i>	1			+	+	2		2	23	29	19	17	1		2					4	7	4	8	5		7	2	7	9	
<i>Lauderia borealis</i>	2	+	1	1	+		1	+	3	+	1	1	1	6	3	2	+	1	+	1	1	2	1	9	9		+	2		
tintinniden	+		+	+	1		+	1	7	2	2	2	+		+	1				+	+	1	+	+		1	2	2	1	+
<i>Eucampia zodiacus</i>						+																								
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	+																													
<i>Bacteriastrium</i> sp.	+	1	1	1	+	+	1	2	1	1	+	+	+		1	1	1	+	1	1	2	2	1	+	+		2	1	+	
<i>Chaetoceros</i> * <i>socialis</i>	1	2	2	2	2	3	+				+	+			3	2	3	5			1	1			+		+	+		
<i>Chaetoceros</i> sp.	20	7	+	44	21	18	5	16	39	4	29	6	30		12	12	28	47	15	3	7	4	+	1	2	1	15	14	1	
<i>Skeletonema costatum</i>	6	12		17	28	8	40	16	23	10	32	22	23	3	6	4	+	4		8	1	5				91	6	23	5	
<i>Asterionella japonica</i>						3		2	3																					
<i>Noctiluca miliaris</i>	1	1		1		+	1	3	10	1	12	1	1		1	+		+	1	2	1	1	4	2	1	+		3		
<i>Asterionella formosa</i>														2																
<i>Scenedesmus</i> sp.	1	2			+	2	1	1	6	1	3		+	1														+	30	
<i>Pediastrum</i> sp.		2			+		+							2															1	
<i>Oscillatoria</i> sp. (?)										2																			120	
totaal:	33	30	5	64	54	38	53	55	149	53	114	52	90	49	25	22	32	52	31	24	23	24	18	17	29	99	33	68	176	
aantal soorten:	14	12	11	14	15	14	14	14	13	14	15	14	15	8	11	10	10	9	11	11	15	13	9	8	14	6	11	14	12	

Tabel II. (vervolg)

Soorten / Stations:	33	6	5	4	F	3	2	45	1	46	47	28	29	31	32	34	E	35	36	37	38	39	40	41	42	43	G	G ₂	44	
<i>Ceratium fusus</i>	13	15	23	20	26	28	23	23	26	18	7	15	15	18	10	16	13	13	11	40	41	6	4	5	17	28	32	11	22	
<i>C. furca</i>			+	1	+	1	+	3	+	+	+	+	+	2		1	1	+	4	2	1	1			+	1	+	+	1	
<i>C. tripos</i>	+			+	+	+	+	1		1	1	+	+	2		+	3	1	3	1	1	+	2	1	1	1	1	3	1	
<i>Rhizosolenia setigera</i>	1	4	3	4	5	7	1	5	9	7	13					1		+		1	2		+		1	2	3	3	2	
<i>R. shubsolii</i>					+	1								1					1			+			+		+	1	1	
<i>Nitzschia closterium</i>	5	1			+	3		+	2	5	80							+	+				+				1	2	3	
<i>N. seratia</i>	6	4	1		3			+								+	+	+			1	2								
<i>N. pungens</i>										1																				
andere Pennatae	4	25	3	1	2	4	2	2	2	8	4			2		+	+	2	+	+	3				2	1	2		1	
<i>Coscinodiscus concinnus</i>		1			+	+																+								
kleine <i>Coscinodiscus</i>	1							1			+			+		1					1	+	+	+	+				+	
<i>Thalassiosira</i> sp.	1	1						+								+														
<i>Bidulphia regia</i>											+																			
<i>Guinardia flaccida</i>	+				+	1	1	+	+	1	+		1	1					+	+	1	1	1	1		1	1	3	+	
<i>Peridinium</i> sp.								+																						
<i>Dinophysis</i> sp.	+																+					+			1					
<i>Goniaulax</i> sp.						+																								
<i>Rhodomonas</i> sp.	2					+					1					+	+	+		+	1				+	1		+	1	
<i>Phaeocystis</i> sp. *	+				+					+	+																			2
<i>P. flagellatjes</i>	18		2		4	+	5	3	5	3	2	5	+	3	7	8	23	4		8		1	2	+	7	16	4	4	6	
<i>Lauderia borealis</i>	+	1			+			+			+	3		1	+	1	+	1				+								+
tintinniden	3	1		1	1	+	+	+	1	+	1		+	1	1	1		+	+	+	+	1	+	1	1	2		1	+	
<i>Eucampia zoodiacus</i>																														
<i>Thalassionema nitzschiodes</i>						1																								+
<i>Bacteriastrum</i> sp.	4	1		+	1			+	+			+	2		+	+	+												+	+
<i>Chaetoceros</i> * <i>socialis</i>	+															+														
<i>Chaetoceros</i> sp.	8	8		+			+	1	1	2				3		1		+									1	+	+	
<i>Skeletonema costatum</i>	16	2	+	+	+		1	1	60	68						4										+			1	
<i>Asterionella japonica</i>									1	2																				
<i>Noctiluca miliaris</i>	1	4	1	1	+	+	1	+	2	1	2	+	+	+	1	+	+		2	+	+			+	1	+		1	+	
<i>Asterionello formosa</i>																														
<i>Scenedesmus</i> sp.										+	+																			
<i>Pediastrum</i> sp.											+																			
<i>Oscillatoria</i> sp. (?)			+																											
totaal:	83	68	33	28	42	45	30	40	49	106	183	23	17	34	20	34	40	21	21	53	51	10	9	8	31	53	45	29	41	
aantal soorten:	20	13	9	10	15	16	9	17	13	16	20	8	7	12	9	17	11	11	8	12	12	11	7	7	12	11	12	12	18	

Tabel III

Percentages waarin de verschillende organismen in de verschillende gebieden voor kwamen. (zie ook Fig. 2).

	I	II [*]	III	IV	V
<u>Skeletonema</u> en					
kleine <u>Chaetoceros</u> sp.	59	25	4	2	45
<u>Chaetoceros socialis</u>	0	50	0	2	0
<u>Ceratium</u> sp.	1	2	54	65	9
pennate diatomeëen incl.					
<u>Nitzschia</u> sp. en					
<u>Asterionella</u> sp.	15,5	2	16	4	35
<u>Rhizosolenia</u> sp.	1	0	12	2	7
<u>Noctiluca</u> en					
tintinniden	6,5	2	3	1	1
rest	17	19	11	24	3

* Omdat voor wat betreft Chaetoceros socialis geen exacte tellingen verricht zijn, is hun aantal geschat op 50% van de totale populatie. De andere percentages zijn net als in de andere kolommen berekend m.b.v. Tabel II.

Lijst van gevonden soorten (zie Fig. 10).

Flagellaten:

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| 1. <i>Ceratium fusus</i> | 5. <i>Phaeocystis</i> sp. |
| 2. <i>C. tripos</i> | 6. <i>Peridinium</i> sp. |
| 2a. <i>C. horridum</i> | 7. <i>Dinophysis</i> sp. (ovum?) |
| 2b. <i>C. longipes</i> | 8. <i>Goniaulax</i> sp. |
| 3. <i>C. furca</i> | 9. <i>Rhodomonas</i> sp. |
| 4. micro-(mu)flagellaatjes | 10. <i>Noctiluca miliaris</i> |

diatomeëen:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 11. <i>Guinardia flaccida</i> | 21. <i>N. pungens</i> |
| 12. <i>Rhizosolenia setigera</i> | 22. <i>Skeletonema costatum</i> |
| 13. <i>R. shrubsoleii</i> | 23. <i>Lauderia borealis</i> |
| 14. <i>Thalassiosira</i> sp. | 24. <i>Asterionella japonica</i> |
| 15. <i>Chaetoceros socialis</i> | 25. <i>A. formosa</i> |
| 16. kleine <i>Chaetoceros</i> sp. | 26. <i>Coscinodiscus concinnus</i> |
| 17. grote <i>Chaetoceros</i> sp. | 27. kleine <i>Coscinodiscus</i> sp. |
| 18. <i>Bacteriastrum</i> sp. (varians?) | 28. <i>Eucampia zodiacus</i> |
| 18b. auxospore van <i>Bacteriastrum</i> | 29. <i>Thalassionema nitzschoides</i> |
| 19. <i>Nitzschia closterium</i> | 30. diverse pennate diatomeëen |
| 20. <i>N. seriata</i> | 31. <i>Bidulphia regia</i> |

Zoetwater fytoplankton:

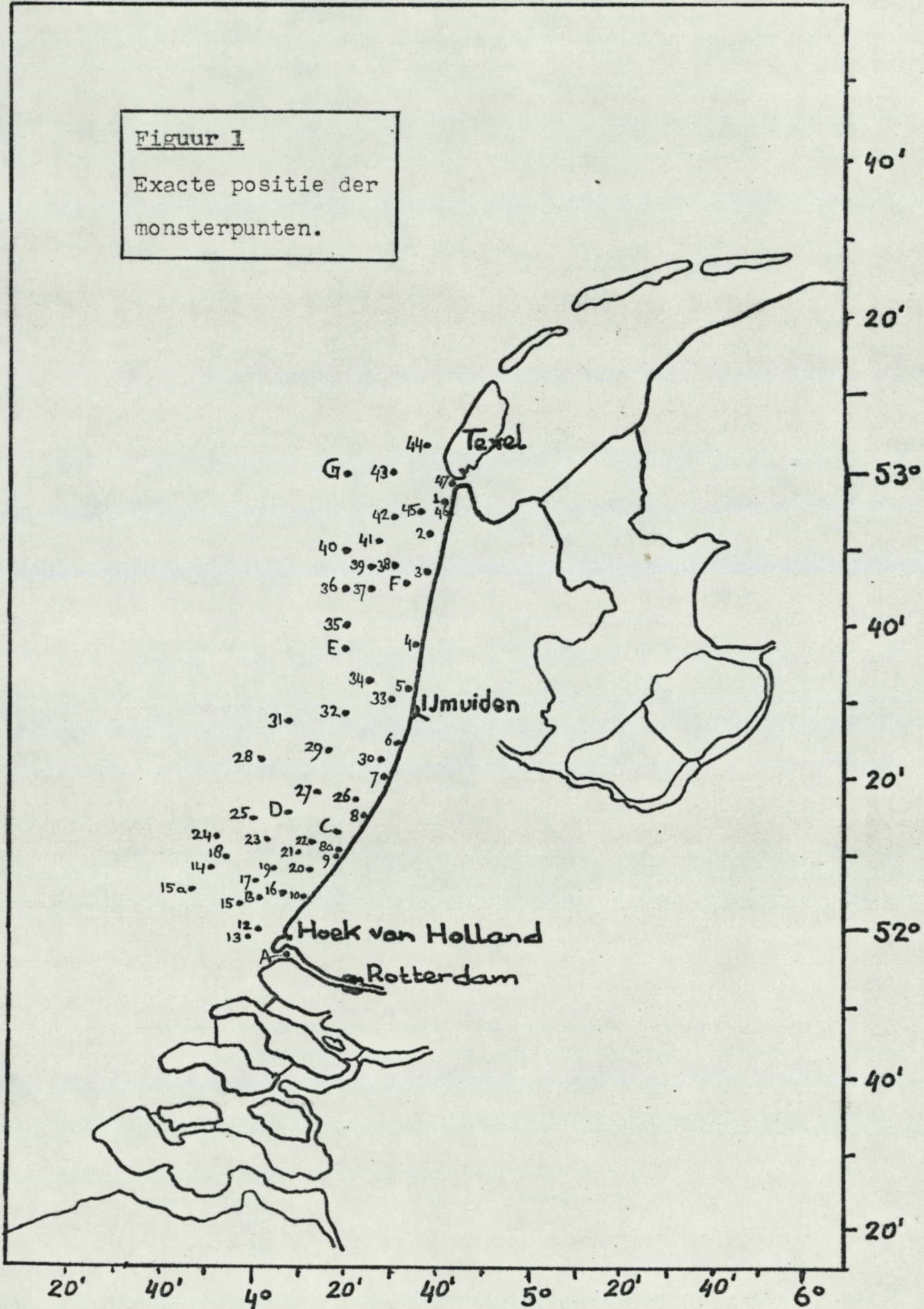
- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 32. <i>Scenedesmus</i> sp. | 34. <i>Oscillatoria redekei</i> (?) |
| 33. <i>Pediastrum</i> sp. | |

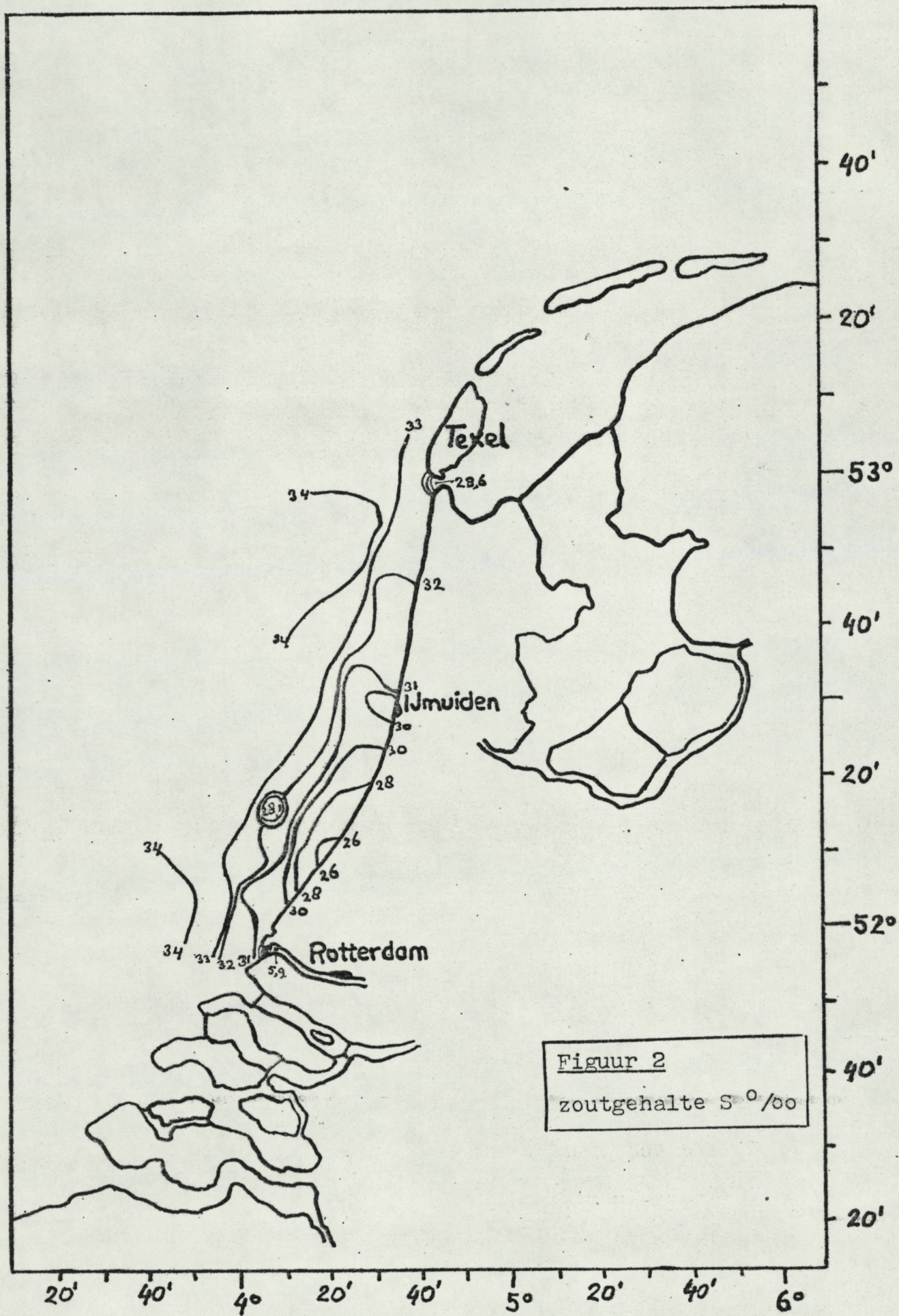
Tintiniden:

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 35a. <i>Tintinnopsis</i> sp. | 35b. <i>Badayiella</i> sp. |
|------------------------------|----------------------------|

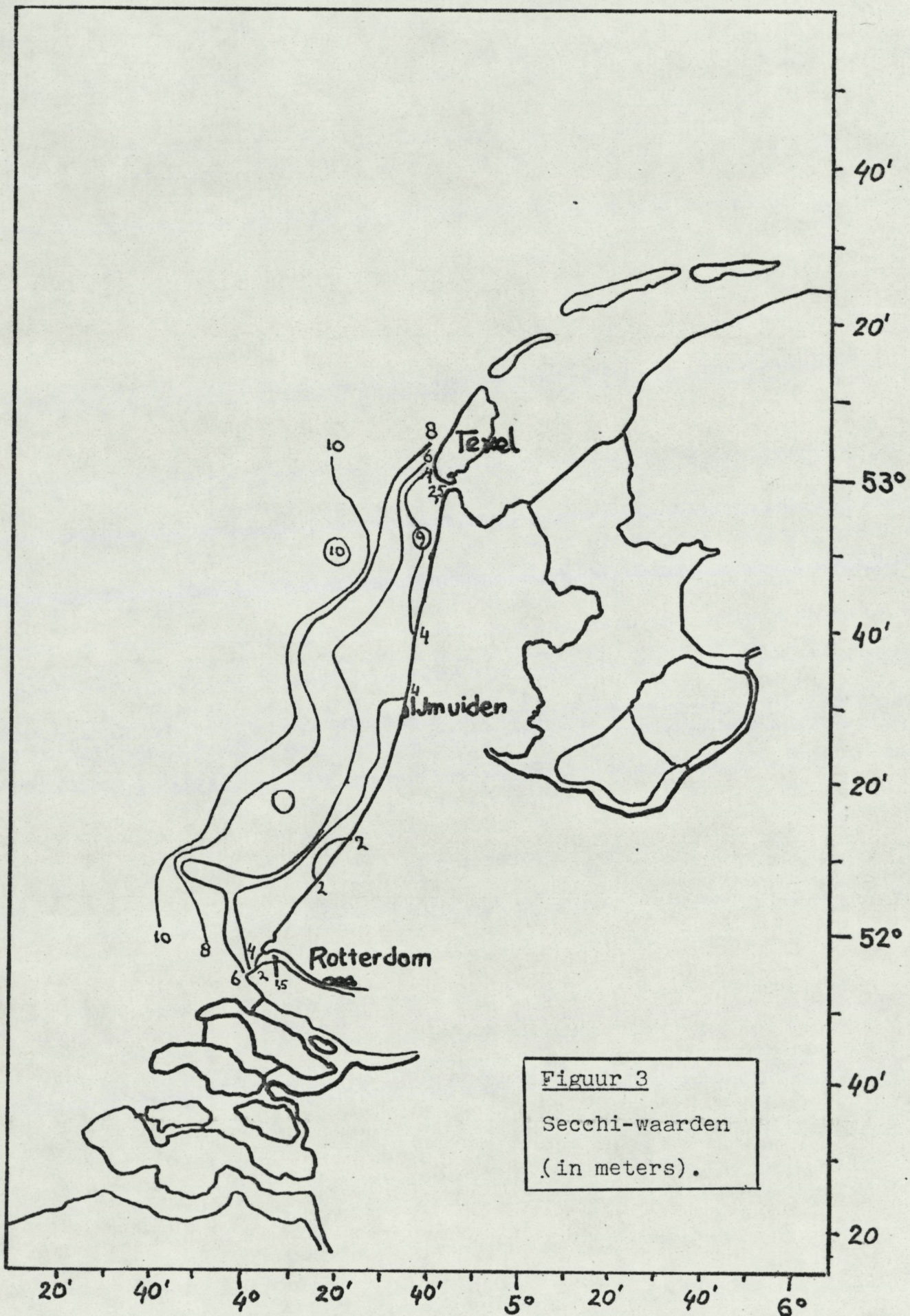
Figuur 1

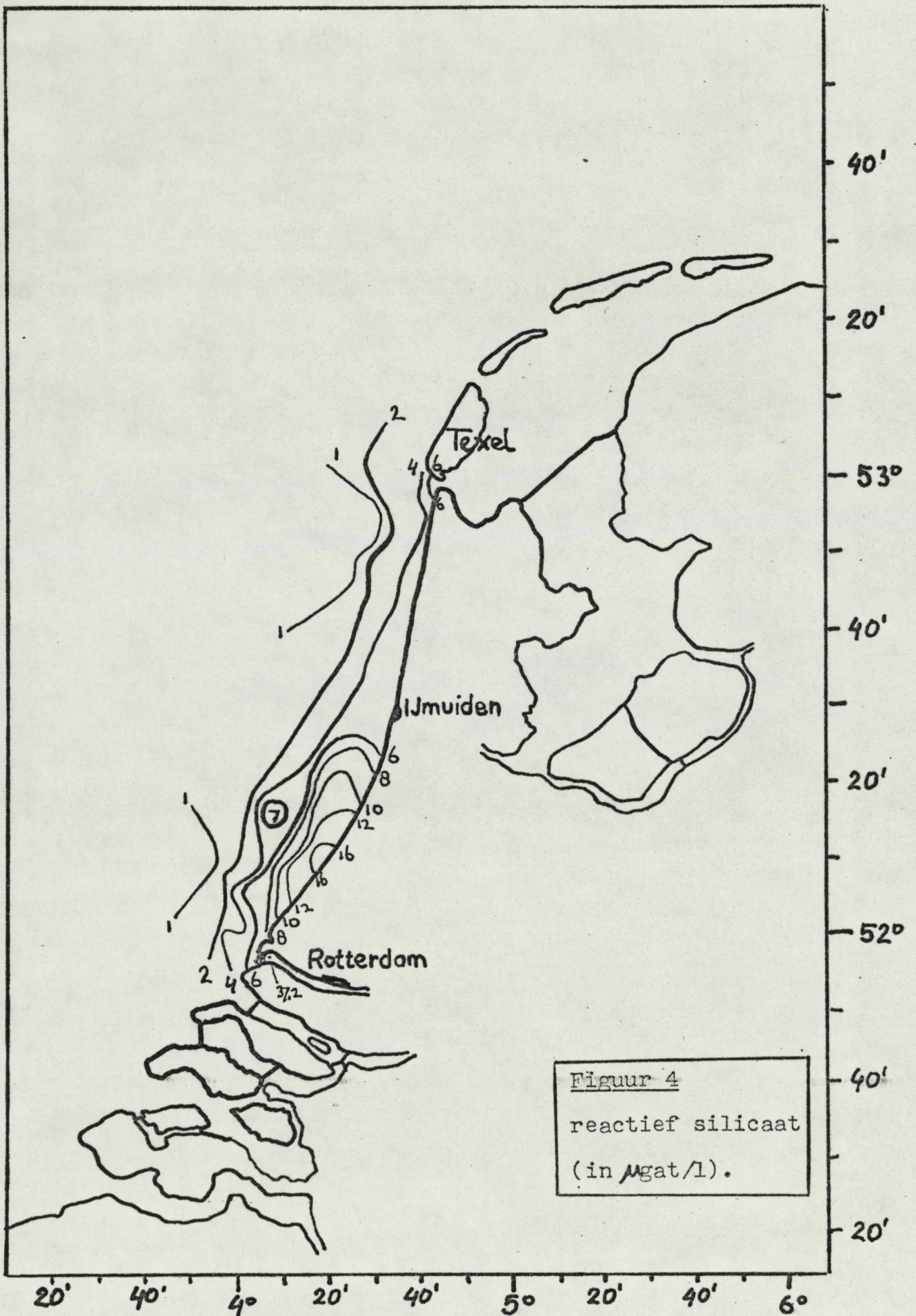
Exacte positie der
monsterpunten.



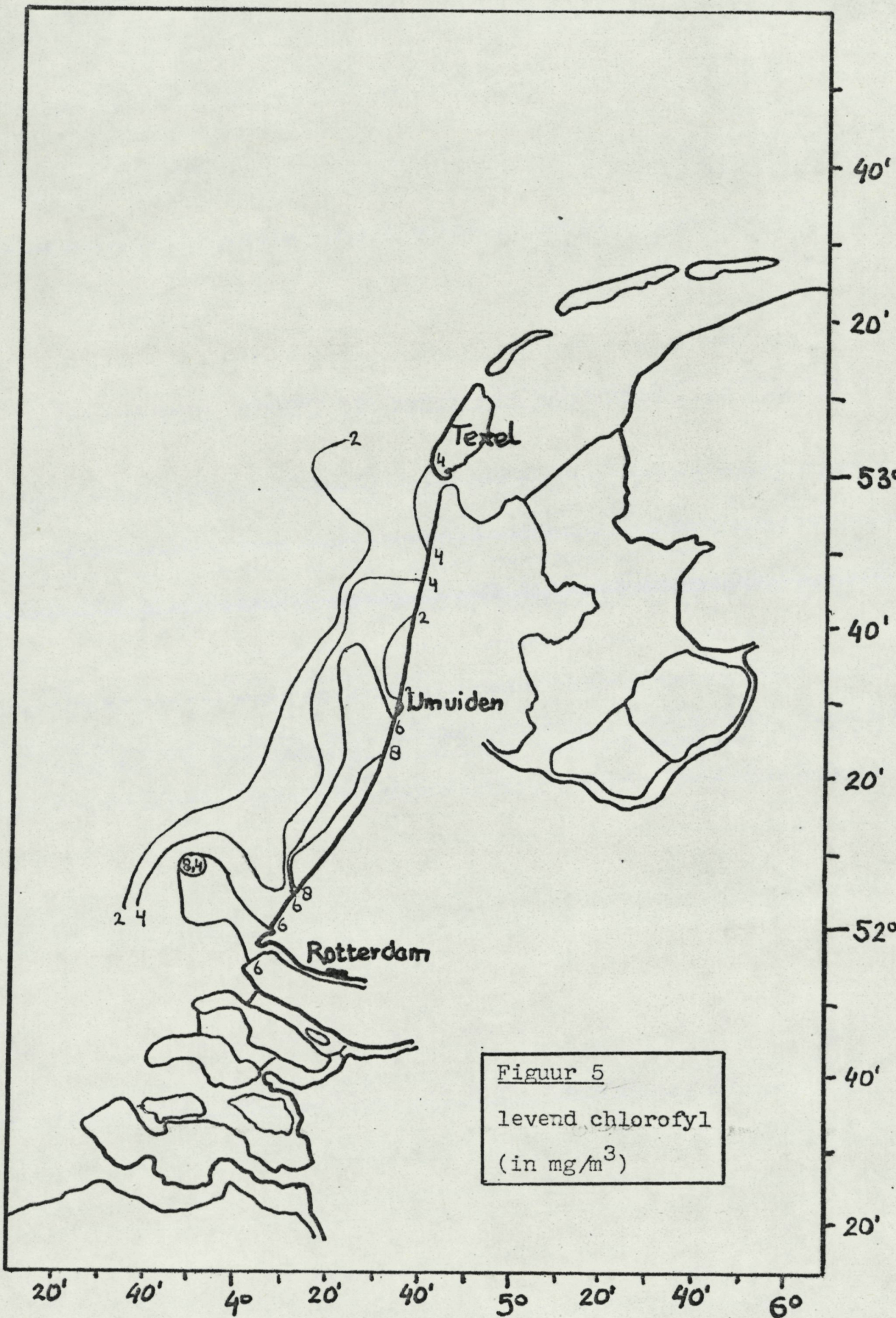


Figuur 2
zoutgehalte S ‰/‰

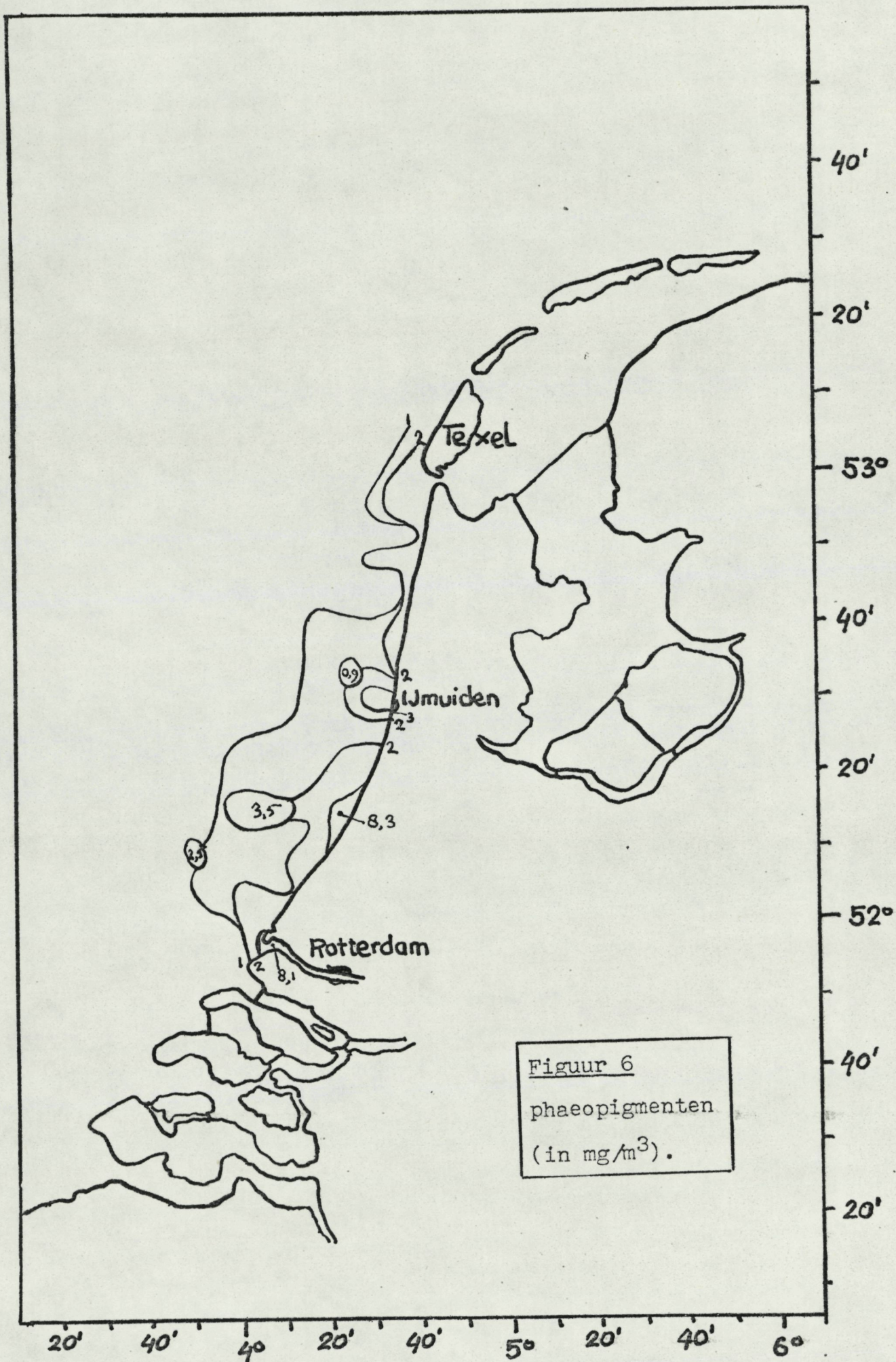




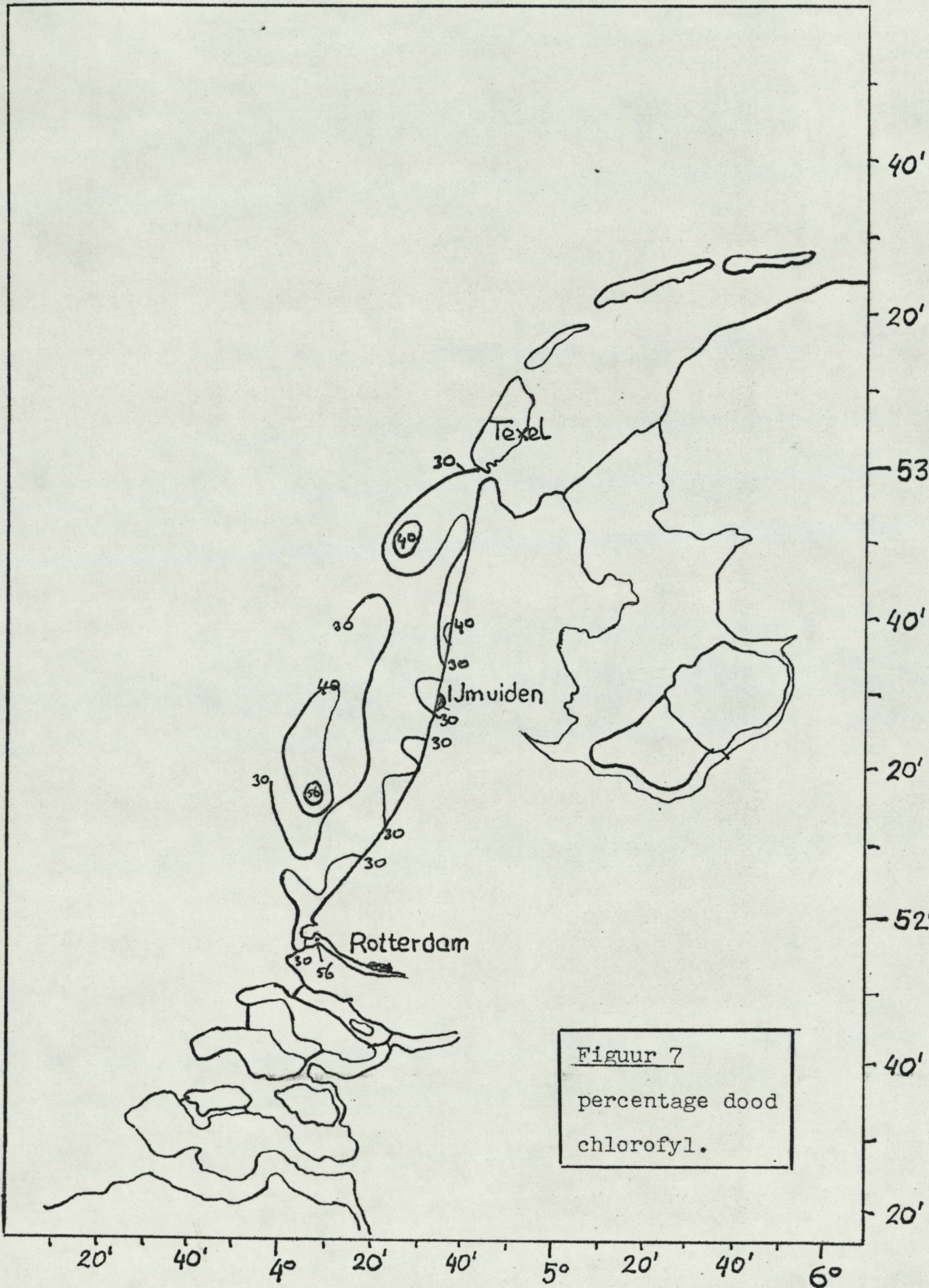
Figuur 4
 reactief silicaat
 (in $\mu\text{g/l}$).



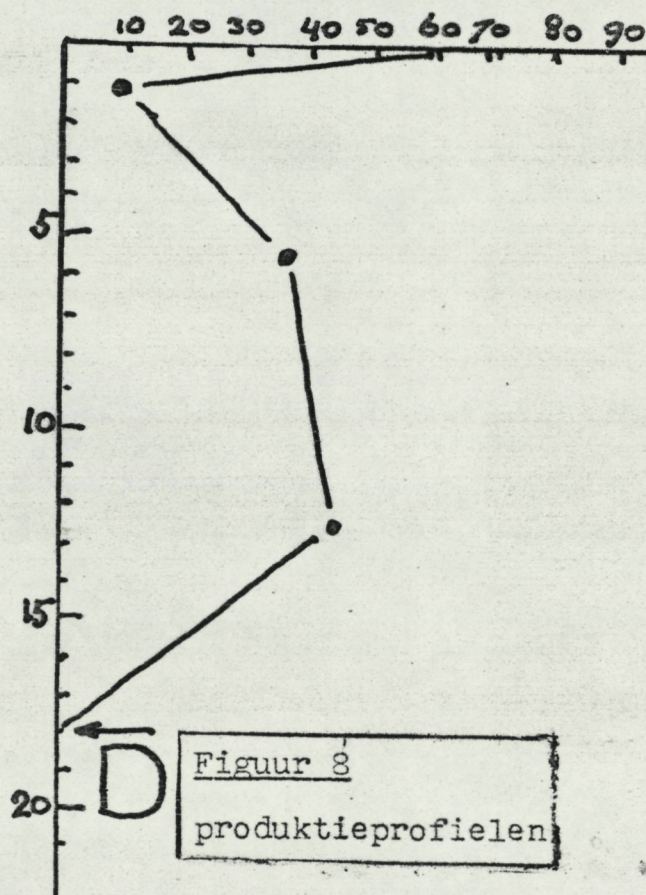
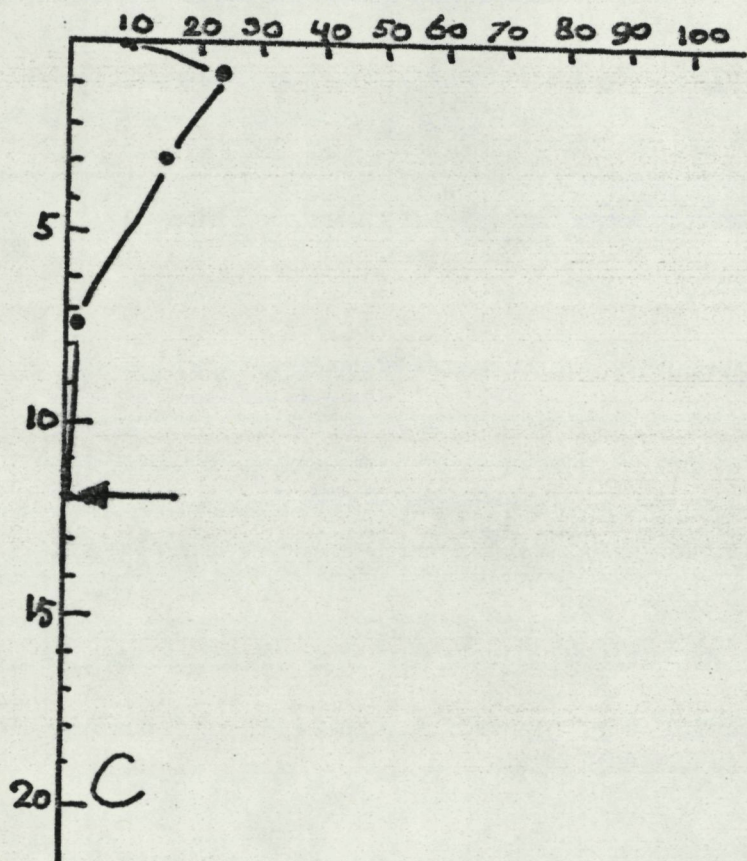
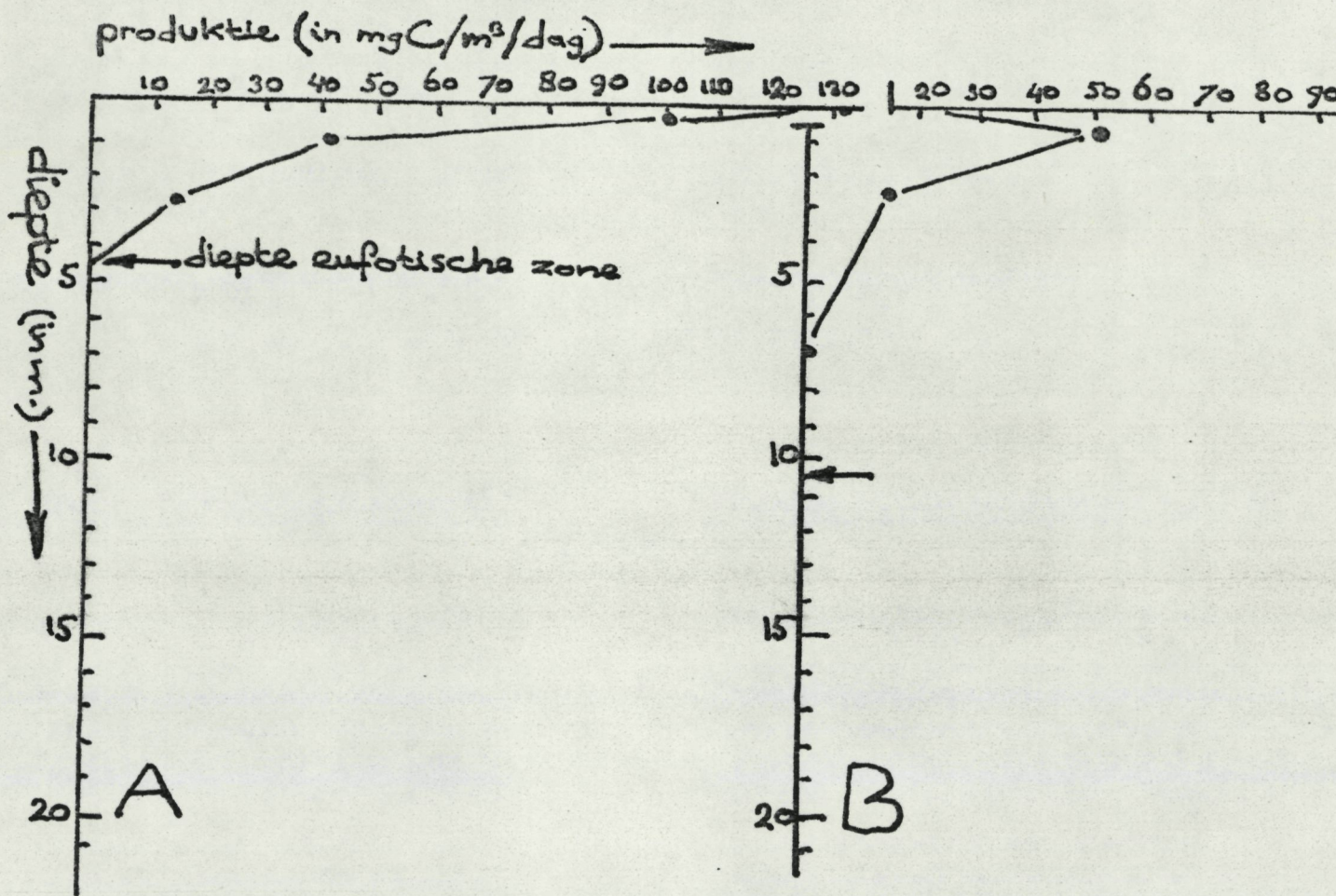
Figuur 5
 levend chlorofyl
 (in mg/m^3)



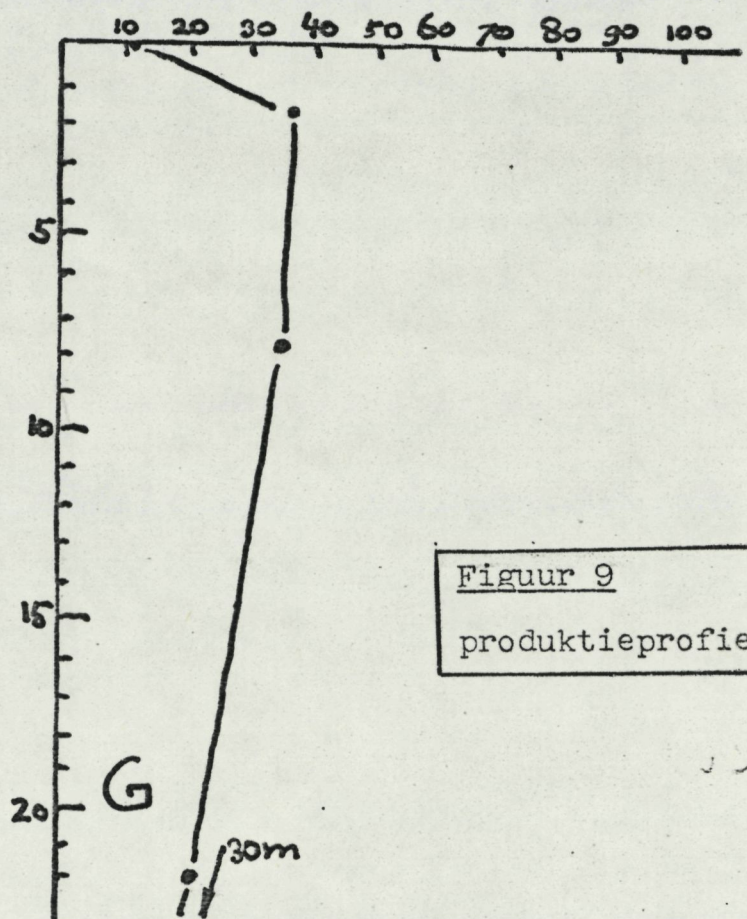
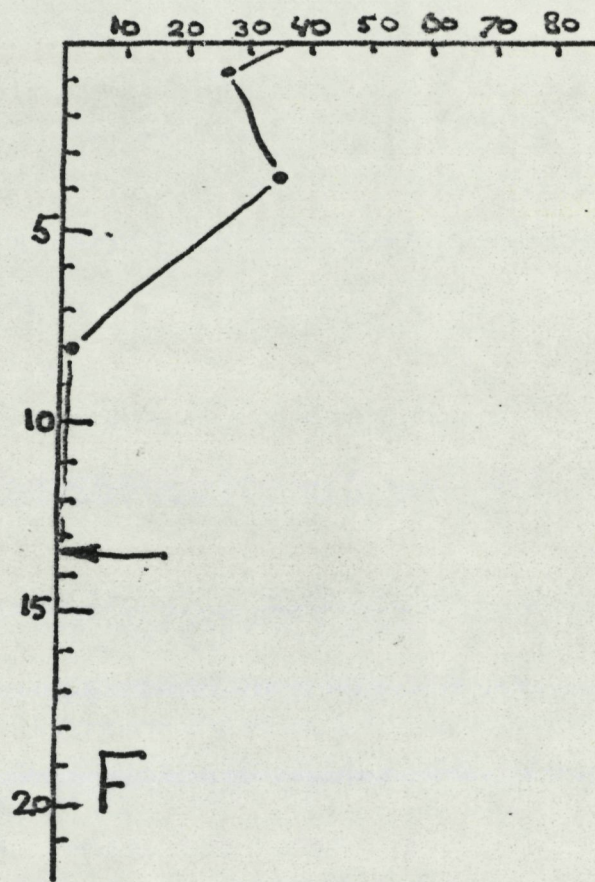
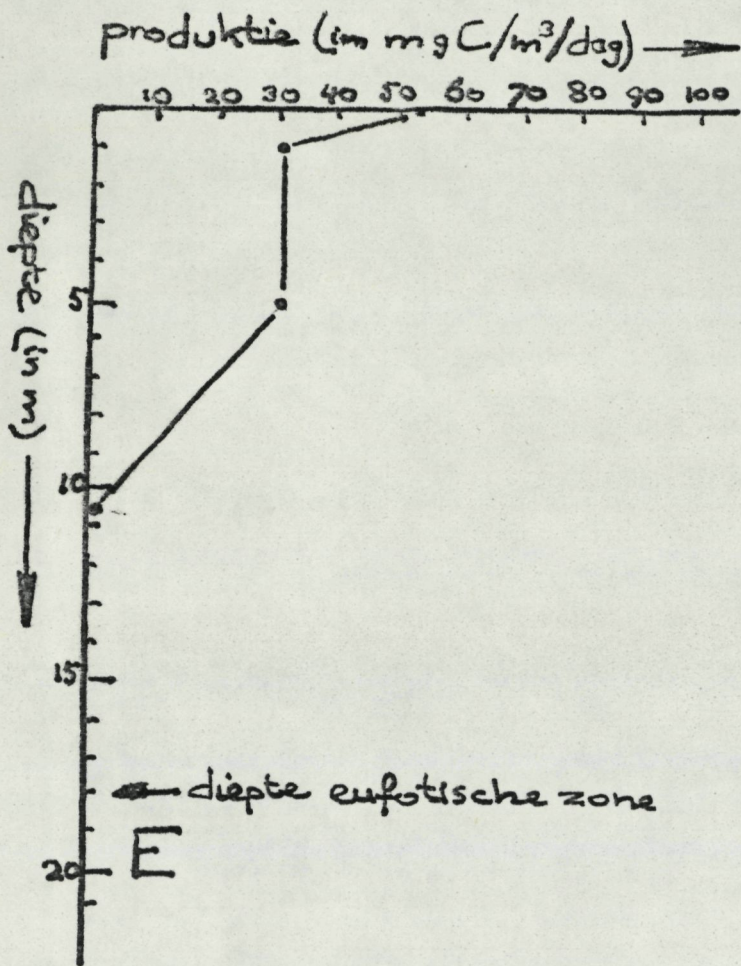
Figuur 6
 phaeopigmenten
 (in mg/m^3).



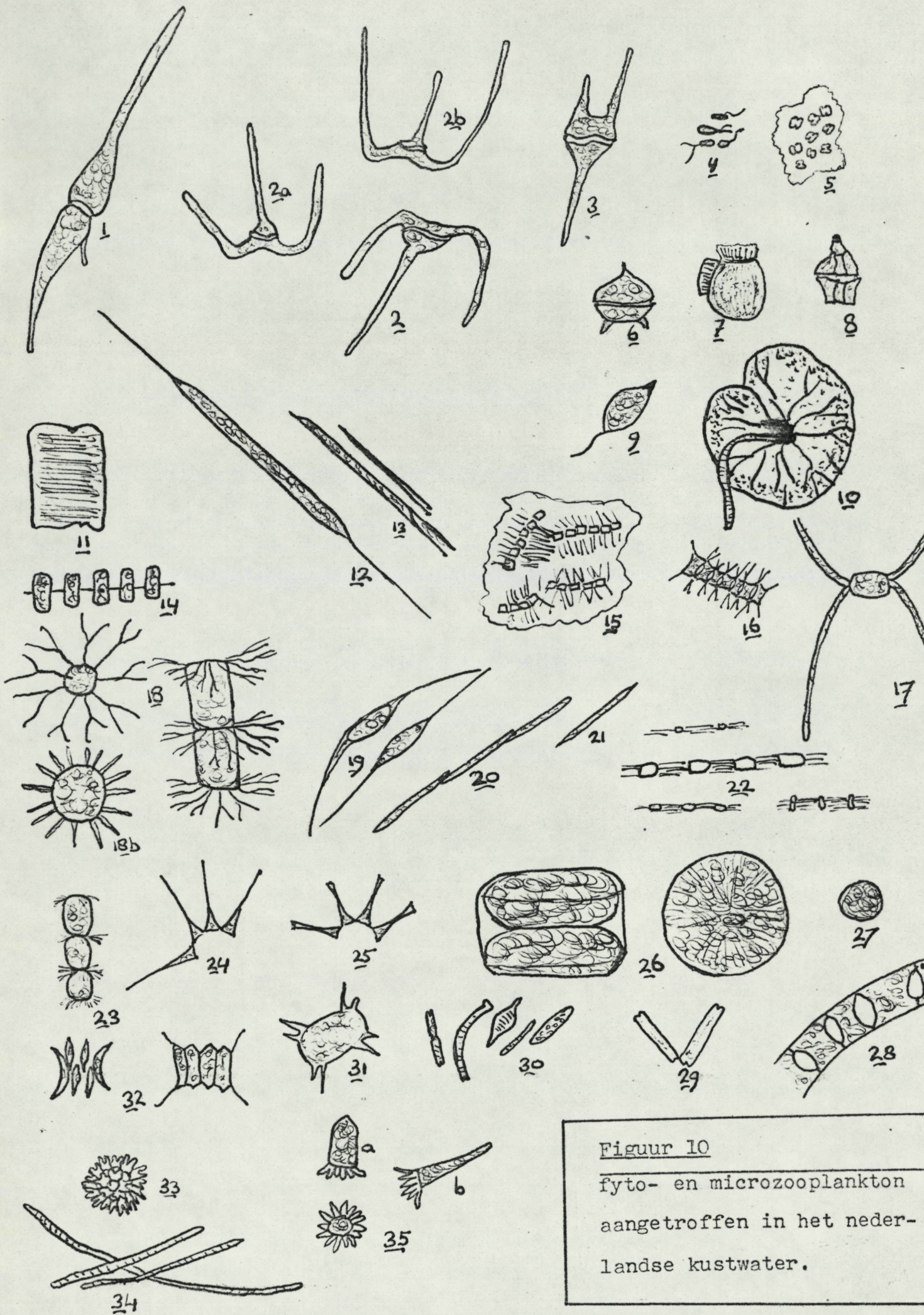
Figuur 7
 percentage dood
 chlorofyl.



Figuur 8
produktieprofielen

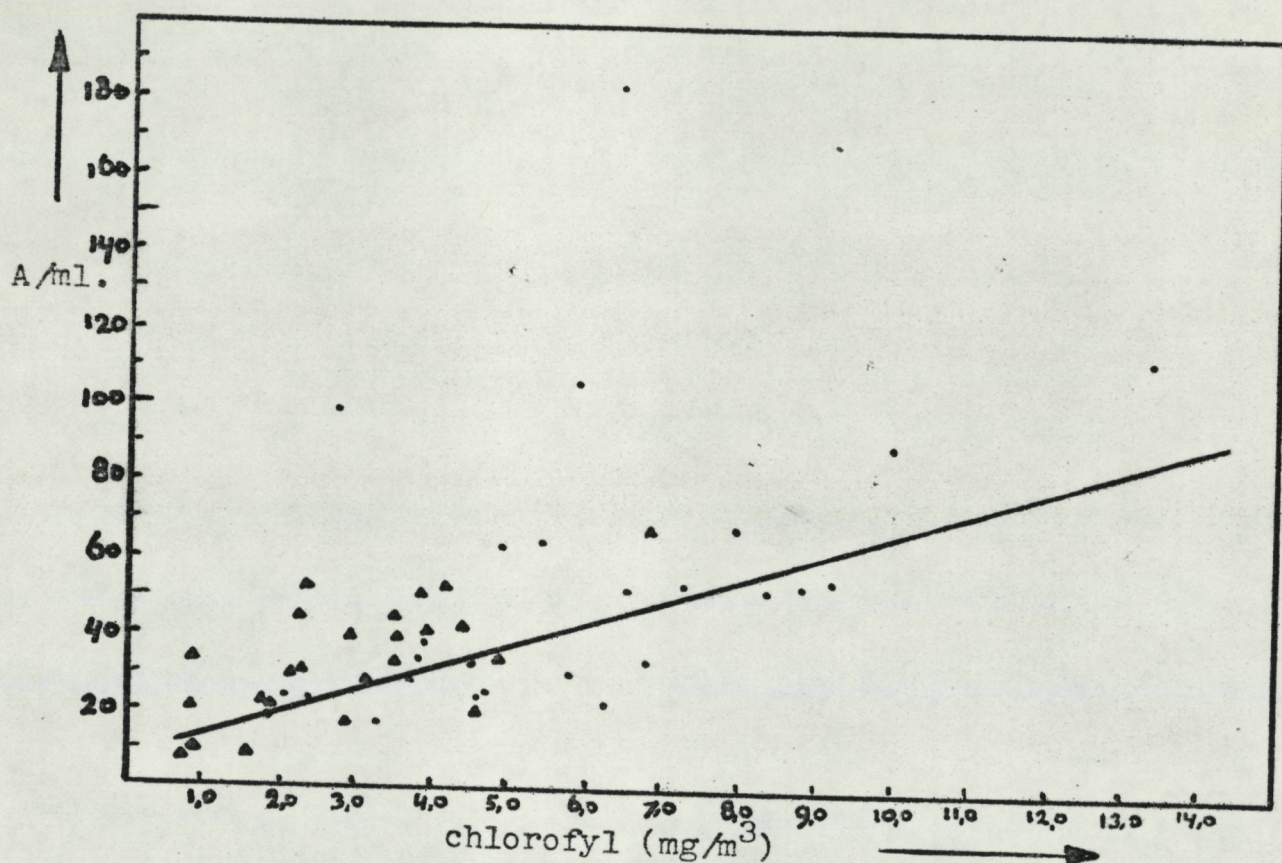


Figuur 9
 produktieprofielen.



Figuur 10
 fyto- en microzooplankton
 aangetroffen in het neder-
 landse kustwater.

figuur 12.



Regressielijn van het totaal aantal getelde eenheden (A) per ml. tegen het chlorofylgehalte (in mg/m³). De correlatie is significant op 1% nivo ($r=0,5677$ bij $N=50$).

Regressielijnen berekend uit de tellingen van de stations waar Ceratium overheerste (▲) en van die waar diatomeeën (•) het belangrijkste waren gaven ook significante lijnen (r resp. $0,6879$ bij $N=24$ en $0,4608$ bij $N=26$) maar de lijnen verschilden onderling niet significant.

Gezien het feit dat het chlorofylgehalte in het Nederlandse kustwater een goede maat is voor de biomassa kan men uit de gevonden correlatie concluderen dat onze tellingen ook een redelijke maat voor de biomassa geven.

Figuur 13

Opnamesnelheid van nitraat bij Chaetoceros en Rhizosolenia.
naar DUGDALE (1967)

