Rechten voorbehouden

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

Potentiele primaire productie in het oostelijke deel van de zuidelijke Noordzee

door

J.C. de Kroon

(Intern verslag)

over

werkzaamheden verricht als doctorale studie

in het tijdvak mei 1968 - februari 1969

aan

het NIOZ te Texel

voor

Prof. H. Postma

januari 1971

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN:

nummer 1971-1

Potentiele primaire productie in het oostelijke deel van de zuidelijke Noordzee

door

J.C. de Kroon

intern verslag

Inhoud

I. Summary - Samenvatting 1

II. Inleiding 3

III. Methodiek 5

a. Potentiele primaire productie 5

b. Bepaling pH 12

c. Bepaling totaal CO_2 15

IV. Berekeningen, nauwkeurigheid, correcties . 16

V. Resultaten 21

VI. Discussie 25

a. Algemeen 25

b. Per tocht 28

c. Vergelijking met andere bepalingen . . . 33

VII. Literatuur 44

VIII. Figuren . . . . . .

I. Summary

In the years 1968-1969 a start was made to investigate the rate of primary production in the eastern part of the Southern North Sea. Primary production was measured by an adapted incubator C^{14}- technique. Although the meaning of potential primary production is rather limited in determining the actual rate in situ it can at least be used in a relative way, showing the differences in productivity between certain parts of the area investigated.

In this way it could be shown that there is a trend of increasing potential primary production towards the coast during August and May. This "landmass" effect indicates a shortage in nutrient supply, which is limiting the rate of primary production in most of the area.

The spring bloom of phytoplankton in 1968 must have taken place during March and April. The weather conditions for plankton growth in these months, were excellent. This could be the reason that the potential primary production results of May 1968 were rather low.

During November 1968 there was not an increase of potential primary production towards the coast, which is probably due to less favourable conditions in coastal water during this period of the year.

The distribution pattern of potential primary production shows a dominant influence of the Rijn-Schelde estuary, which is illustrated by the results of February 1969.

The pH of seawater in the area is greatly influenced by primary production. This resulted in exceptionally high pH data in August 1969.

Samenvatting

Gedurende de jaren 1968-1969 werd een begin gemaakt met het onderzoek naar primaire productie in het oostelijke gedeelte van de zuidelijke Noordzee. Primaire productie werd gemeten met de C^{14}- methode door middel van een aangepaste incubatortechniek. De resultaten werden als potentiele primaire productiewaarden gekenschetst.

Alhoewel de betekenis van potentiele primaire productie, voor de bepaling van in situ primaire productie, tamelijk beperkt is kunnen, tenminste in relatieve zin, verschillen in productiviteit aangegeven worden tussen verschillende delen van het gebied.

Op deze wijze kon worden aangetoond dat er een toename is in potentiele primaire productie naar de kust toe. Dit effect duidt op een voedingsstoffentekort, dat in augustus, in het grootste deel van het onderzochte gebied, primaire productie beperkte.

De planktonopbloei in het voorjaar moet reeds in maart en april 1968 hebben plaatsgevonden, gezien de goede weersomstandigheden gedurende deze maanden. Dit wordt dan ook als de oorzaak gezien voor de relatief lage primaire productieresultaten in mei 1968. In november 1968 was er geen kustwaartse toename van potentiele primaire productie, hetgeen veroorzaakt kan zijn door voor primaire productie slechter wordende omstandigheden in het minder zoute water. Het distributiepatroon van potentiele primaire productie toonde een

dominerende invloed van het Rijn-Schelde estuarium, hetgeen vooral gedurende de februaritocht goed tot uiting kwam.

De pH wordt sterk door primaire productie beinvloed. Dit resulteerde in exceptioneel hoge pH waarden in augustus.

II. Inleiding

Sinds september 1966 worden er vaartochten georganiseerd in het oostelijke deel van de zuidelijke Noordzee, in het kader van een chemisch-oceanografisch onderzoek onder leiding van drs. S.B. Tijssen. Naast de standaardmetingen van temperatuur en zoutgehalte worden ook de concentraties van zuurstof, nitraat, nitriet, fosfaat, silicaat en zwevende stof bepaald. De bestudering van de gevonden voedingstof-concentraties is gebaat bij enig inzicht in de mate waarin deze voedingstoffen worden opgenomen door de organismen, die een rol spelen in de in zee voorkomende voedselketens. Primaire productie neemt in deze beschouwing een centrale plaats in.

Ook t.a.v. de watervervuilingsproblematiek in het Nederlandse kustgebied, kan nadere informatie over primaire productieverhoudingen aldaar, een bijdrage betekenen aan de discussie hierover (KORRINGA, 1968).

Het directe belang van primaire productie voor het voedselketen-onderzoek in dit gebied is evident.

Er is tot nog toe weinig bekend over primaire productie in het gebied dat in dit onderzoek beschreven wordt. Wel is er onderzoek geweest in aangrenzende delen van de Noordzee (CUSHING, 1957a, 1957b; STEELE, 1956, 1957a, 1957b; STEELE & BAIRD, 1961), en in de Nederlandse estuaria. (POSTMA & ROMMETS, 1970; publicaties van Cadée en Vegter

respectievelijk over de Waddenzee en de Zeeuwse wateren in voorbereiding).

In het hier beschreven onderzoek is getracht een techniek van primaire productiemeting te ontwikkelen, die in praktische zin past in de procedure die wordt gevolgd bij het verrichten van de standaard oceanografische metingen, met name tijdens vaartochten waarbij per station weinig tijd voor monstername beschikbaar is.

Op het N.I.O.Z. waren twee incubators aanwezig die eerder voor primaire productieonderzoek op de Waddenzee zijn gebruikt. Gedurende de Noordzeetocht van februari 1968 is met dit type incubator gewerkt. Het bleek evenwel dat de omstandigheden, waaronder moest worden gewerkt, zozeer verschillend waren van de condities op de Waddenzee, dat van verder gebruik van deze incubator moest worden afgezien. Met behulp van de opgedane ervaring is, in samenwerking met de technici van de werkplaats op het N.I.O.Z. een andere incubator ontwikkeld. Een beschrijving en afbeelding hiervan worden gegeven in figuur I.

Primaire productiewaarden verkregen uit incubatormetingen hebben met betrekking tot in situ primaire productie in de meeste gevallen slechts relatieve betekenis. Om althans enig inzicht in die relatie te verkrijgen, is in maart 1969 een kort experiment gedaan, waarbij zowel door middel van de incubator als in situ werd gemeten. Om een redelijke schatting te kunnen maken omtrent de totale jaarlijkse primaire productie in dit gebied, zullen dergelijke experimenten ook in andere tijden van het jaar en tevens in andere watertypes die in dit gebied voorkomen, herhaald moeten worden. In het algemeen zal het bij deze experimenten moeten gaan om de relatie tussen lichthoeveelheid en primaire productie van de voorkomende planktonpopulaties.

In dit verband zou men het onderhavige onderzoek kunnen karakteriseren als een vergelijkend vruchtbaarheidsonderzoek van het

oppervlaktewater in het oostelijke gedeelte van de "Southern Bight".

De metingen en experimenten zijn verricht tijdens vaartochten op onderstaande data:

13-16 en 19-21 februari 1968 (m.s. Wiron),

14-17 en 20-23 mei 1968 (m.s. W. Beukelsz.),

26-30 augustus en 2-5 september 1968 (m.s. W. Beukelsz.),

11-13 en 18-21 november 1968 (m.s. W. Beukelsz.),

17-21 en 21-28 februari 1969 (m.s. W. Beukelsz.).

Het was praktisch uitgesloten alle voor dit onderzoek noodzakelijke metingen alleen te verrichten, omdat tijdens de vaartochten continu werd gewerkt. Ik ben dan ook de mensen die mij bij dit werk hebben geassisteerd veel dank verschuldigd, temeer daar de omstandigheden waaronder moest worden gewerkt, vaak verre van ideaal waren. Met name wil ik J. Hegeman bedanken omdat hij tijdens meerdere tochten veel werk heeft verzet.

III. Methodiek

a. Potentiele primaire productie

Het is bekend dat de belangrijkste bijdrage tot de primaire productie wordt geleverd door fotoautotroof fytoplankton, met andere woorden fytoplankton dat voor normale groei en reproductie anorganisch materiaal gebruikt. De grondslag voor dit proces is de fotosynthese. Dit zeer ingewikkelde chemische proces is in eenvoudige vorm door de volgende vergelijking voor te stellen: $H_2O + CO_2 \rightarrow CH_2O + O_2$.

Dit proces, gekoppeld aan de opname van voedingstoffen als nitraat, fosfaat en diverse sporenelementen, leidt uiteindelijk tot de opbouw van organisch materiaal dat nodig is om het niet autotrofe

leven in stand te houden.

Uitgaande van bovenstaande overwegingen zijn er verschillende methoden denkbaar om primaire productie te meten. In de eerste plaats zijn er methodes die gebaseerd zijn op de hoeveelheid algen (biomassa) die aan de primaire productie bijdragen, waarbij de verandering van die hoeveelheid een maat is voor primaire productie (planktontellingen, chlorofyl bepalingen). In de tweede plaats zijn er methodes die strikt genomen een meer chemisch uitgangspunt bezitten. Het is bijvoorbeeld mogelijk om aan de hand van een voedingstoffenbalans uitspraken te doen over de grootte van primaire productie (ATKINS, 1926; COOPER, 1933; STEELE, 1956 & 1957a).

Het fotosynthetisch proces beidt eveneens een goed uitgangspunt voor primaire productiemetingen. Bij fotosynthese wordt zuurstof afgestaan aan het extracellulaire milieu en koolzuur daaruit opgenomen. De mate waarin dit plaatsvindt, bepaalt de grootte van de primaire productie.

De bepaling aan de hand van zuurstofmetingen, meestal aangeduid als de "light and dark bottle" methode, werd ontwikkeld door GAARDER & GRAN (1927).

De gevoeligheid van deze methode wordt bepaald door de nauwkeurigheid waarmee zuurstofconcentraties kunnen worden bepaald (Winkler titratie).

Concentratieverschillen van 0.05 ml/l worden door RYTHER (1956) nog als significant beschouwd. STRICKLAND (1960) verrichte zuurstofbepalingen onder ideale omstandigheden met als resultaat dat 20 $mgC/m^3/hr$ de onder grens voor aantoonbare fotosynthese bedroeg (leiddraad voor deze berekeningen vormt een incubatietijd van 2 uur zoals ook in dit onderzoek werd aangehouden).

Duplometingen van zuurstofanalyses, verricht op het N.I.O.Z. laboratorium van monsters die werden genomen tijdens de vaartochten waarop eveneens primaire productie werd gemeten, bezitten een standaarddeviatie van ongeveer 6 mugrat/l, hetgeen overeenkomt met 0,07 ml/l. Wanneer het fotosynthetisch quotient (PQ) wordt gesteld op 1,2 komt deze zuurstofwaarde overeen met 43 mgC/m^3. Met handhaving van een incubatietijd van 2 uur betekent dit een grenswaarde voor primaire productiemeting via de zuurstofmethode van ongeveer 22 $mgC/m^3/hr$.

Gezien de resultaten van dit onderzoek kan worden vastgesteld dat met de zuurstofmethode, slechts in de zomermaanden in een deel van het nu onderzochte zeegebied, significante resultaten verwacht kunnen worden.

Het primaire productieonderzoek heeft door de ontwikkeling van de C^{14} tracer methode grote vooruitgang geboekt. Uitvoerige beschrijvingen van de methode zijn te vinden bij STEEMANN NIELSEN (1952), STEEMANN NIELSEN & JENSEN (1957), and STRICKLAND & PARSONS, 1965; voor een vergelijking van de C^{14} en de zuurstofmethodiek: bij STEELE (1957b), McALLISTER, SHAH & STRICKLAND (1964), VACCARO & RYTHER, (1954), McALLISTER (1961a) and STEEMANN NIELSEN, (1957, 1964a).

In principe berust de C^{14} methode op het volgende: Aan een watermonster van bekend volume wordt een eveneens bekende hoeveelheid C^{14}, in de vorm van bicarbonaat, toegevoegd. Na beeindiging van het productieexperiment, wordt de radioactiviteit van het fytoplankton gemeten.

De verhouding van deze gemeten activiteit versus de totaal toegevoegde radioactiviteit geeft aan, welk gedeelte van het totaal aan "CO_2" uit het zeewater, tijdens het experiment wordt opgenomen.

Wanneer het totaal CO_2 gehalte van het zeewater bekend is, kan via deze verhouding de primaire productie worden berekend. Omdat het chemische gedrag van C^{14} niet geheel overeenstemt met dat van C^{12}, moet een kleine correctie in de berekening worden aangebracht.

Het is niet direkt mogelijk de gevoeligheid van deze methode ondubbelzinnig aan te geven. Bij de light and dark bottle methode vormen de verschilbepalingen van zuurstofconcentraties als zodanig reeds een beperking van de gevoeligheid. Verschilbepalingen in deze zin spelen bij de C^{14} methode geen rol.

Wel is het van het grootste belang, dat de verhouding gemeten radioactiviteit versus totaal toegevoegde radioactiviteit nauwkeurig wordt bepaald. De zwakke schakels in deze techniek worden dan ook vooral gevormd door de assemblage van C^{14} ampullen met gelijke radioactiviteit en de vervaardiging van een goede "zelfabsorptie correctiecurve" (HENDLER, 1959; STEEMANN NIELSEN, 1965).

Onzekerheid betreffende de invloed van "back scatter" en de niet altijd vergelijkbare geometrie vertroebelen het telbeeld eveneens (JITTS & SCOTT, 1961; THOMAS, 1964; GOLDMAN, 1968).

Er bestaat verschil van mening omtrent het quotient afgegeven zuurstof, opgenomen koolzuur (PQ). Afhankelijk van de wijze waarop primaire productie wordt gedefinieerd, zal de hieruit voortvloeiende waarde van PQ van invloed zijn op de uiteindelijke grootte van de primaire productie.

Wanneer productie uitgedrukt wordt in koolstof en er wordt een C^{14} techniek gevolgd, zal er geen conversie van de resultaten nodig zijn. Voor een vergelijkbare eenduidige interpretatie van primaire productiewaardes, die zijn verkregen met de zuurstofmethode, moet een representatieve PQ waarde voorhanden zijn (RYTHER, 1956b).

Het verschil tussen netto en bruto primaire productie wordt gevormd door respiratie en eventuele andere verliezen. Er bestaat verschil van mening over de waarde die men aan dergelijke verliezen moet toekennen, temeer daar de omstandigheden waaronder de primaire productie plaatsvindt, op dit verlies van grote invloed is. Enerzijds wordt bijvoorbeeld gesteld dat het gerespireerde koolzuur totaal gereassimileerd wordt, alvorens de cel te verlaten (RYTHER, 1956a, 1956b); anderzijds wordt aangetoond dat het gereassimileerde percentage niet groter is dan 50-70% (STEEMANN NIELSEN, 1952, 1953, 1955, 1964a; FOGG, NALEWAJKO, CZESL, & WATT 1965).

Een algemene opinie hierover is dan ook het best te formuleren door te stellen, dat de C^{14} methode waarden oplevert die tussen netto en bruto primaire productie in liggen.

In dit onderzoek is de techniek gevolgd zoals die voor incubators is ontwikkeld. Het is een veel gebruikte manier van onderzoek waarmee goede resultaten bereikt zijn (STEEMANN NIELSEN, 1964c; STEEMANN NIELSEN & JENSEN, 1957).

Als leiddraad voor de gevolgde procedure fungeerde (STRICKLAND & PARSONS, 1965). Door praktische omstandigheden en ook in enkele gevallen opzettelijk, is van de srtikte opvolging van de daar beschreven handelingen afgezien. Tevens zijn enkele technische aspecten veranderd.

Er werd voor dit onderzoek uitsluitend oppervlaktewater bemonsterd. Om eventuele toxische werking van metaalionen te voorkomen werden de monsters met een kunststof emmer uit zee genomen.

Onmiddellijk na monstername werd de pH van het zeewater bepaald. Daarna werden 2 incubatorflesjes, 100 ml infuusflesjes, gevuld met een maatcylinder die eveneens van kunststof gemaakt was. In iedere fles werd 100 ml zeewater gedaan. Met behulp van een injectiespuit

werd de inhoud van de C^{14} ampullen aan de flesjes toegevoegd. De ampullen werden éénmaal omgespoeld met water uit de monsterfles. De inhoud van de ampullen was 1 ml; de radioactiviteit van de ampullen bedroeg 5 microcurie. Dit was in de vorm van natriumcarbonaat opgelost in water, dat 33 promille NaCl en 100 mg CO_2 per liter bevatte.

De flessen werden afgesloten en in de incubator geplaatst, zodanig dat één fles in het belichte gedeelte, de andere in het donkere gedeelte, van de incubator stond (figuur 1).

Van het resterende water werd een monster genomen ter bepaling van het gehalte aan CO_2.

Na de incubatietijd van 2 uur werden flessen uit de incubator genomen en enkele druppels JKJ oplossing toegevoegd, teneinde de fotosynthese direkt te stoppen. De inhoud werd hierna afgefiltreerd (filters: Millipore HA- 0,45 mu, diameter 1,5 cm).

De filtratie werd gedaan met overdruk door middel van speciaal hiervoor vervaardigde filterdoppen (figuur 2). De flessen bezaten een opening in de bodem, waardoor lucht voor overdruk kon worden toegevoerd. De gebruikte filterdoppen zijn een variant op een door MACIOLEK (1963) beschreven filtratietechniek. In praktische zin verdient filtratie onder druk, vooral voor werk op zee, de voorkeur. Ook STEEMANN NIELSEN (1964c) vermeldt een filtersysteem dat met overdruk werkt. De filtertjes werden na filtratie op een aluminium telbakje gelegd en in de exiccator geplaatst, waarin niet alleen een droogmiddel maar eveneens natronloog geplaats was om uitwisseling met "niet-gelabelled" CO_2 te voorkomen.

In het laboratorium werden de filters vóór de telling 10 minuten aan HCl damp blootgesteld om eventueel aanwezig anorganisch radioactief carbonaat te verwijderen. Er bestaan vele verschillen in behandeling,

waarvan moeilijk valt te zeggen welke de voorkeur verdient. Het effect is met name sterk afhankelijk van de plantonsoorten die bemonsterd zijn, terwijl ook de verdere technische behandeling, van grote invloed kan zijn (McALLISTER, 1961b). Het effect van de hier gevolgde procedure werd onderzoekt met behulp van de filters die werden verkregen tijdens de tocht in mei 1968 (figuur 11). Het bleek in dit geval dat een zuurbehandeling van meer dan 15 minuten geen afname van radioactiviteit meer te weeg bracht (Tabel I).

Tabel I

HCl behandeling

tijdsduur in min.	gem. activiteits-verlies in %	standaard afwijking
5	-2,0	4,1
10	-3,0	4,7
15	-3,5	2,7
20	-3,5	3,0
25	-3,4	3,5

Na de HCl damp behandeling werden de filters op de telbakjes vastgeplakt om de geometrie van de telopstelling zo uniform mogelijk te houden.

De meting van de radioactiviteit werd verricht met een "endwindow" GM telbuis (Philips nr: 18536), gecombineerd met een anti-coincidentie-telbuis (Philips nr: 18518). De preparatenwisselaar trad na 4000 sec in werking. In de gevallen waar van een grote radioactiviteit sprake was, werd van preparaat gewisseld als er 10.000 counts geregistreerd

waren.

b. Bepaling pH

De pH metingen werden verricht met de electrodes: Philips CA 11NS/ Pt100, Philips C 1-PB en Electrofact 7GR131/100C in combinatie met de thermo-compensator W 174. Als pH meter werd gebruikt de digitale Philips PW 9408.

Tijdens de tocht van februari 1968 werd als referenties gebruik gemaakt van de "Palitsch" buffer (samenstelling: 0,2 mol. boorzuur, 0,05 mol. NaCl en 0,05 mol. borax) die afhankelijk van de samengevoegde boorzuur en borax oplossingen een pH tussen 6.6 en 9.2 bereikt. Het voordeel van deze buffer is, dat de ionensterkte ongeveer overeenkomt met die van zeewater. Dit bevordert in hoge mate de snelheid waarmee het meetevenwicht zich instelt.

Om pH metingen onderling beter vergelijkbaar te doen zijn, wordt er naar gestreefd zoveel mogelijk dezelfde buffer als referentie te gebruiken. Men is dan ook gekomen tot een systeem van buffers waarbij de onderlinge betrekking eenduidig is (BATES, 1965). In STRICKLAND & PARSONS (1965) wordt dan ook aanbevolen een van de buffers uit dit N.B.S. systeem te gebruiken, hetgeen gedurende de rest van de tocht ook gedaan is. De samenstelling van deze buffer was: 0,025 mol. KH_2PO_4 en 0,025 mol. Na_2HPO_4. Bij 20° C bezit de oplossing een pH van 6,88. In dit N.B.S. systeem komt de "Palitsch" buffer niet voor zodat een vergelijking van de resultaten uit februari 1968 met die van de andere tochten niet direkt mogelijk is.

Een groot nadeel van de fosfaatbuffer was de ionensterkte veel lager was dan die van zeewater. Bij controle van de meetopstelling werd rekening gehouden met het feit, dat herstelling van deze

"ionenshock" enige tijd vergde.

Procedure: De pH bepaling werd gedaan onmiddellijk nadat het watermonster genomen was. Omdat teveel schudden van het water kleine pH verschuivingen tot gevolg kan hebben, werd de meting in de monsteremmer zelf verricht. Voor de meting werd de electrode afgespoeld met gedestilleerd water en afgedroogd; met de aflezing van de meter werd gewacht tot een stabiele aanwijzing bereikt was. De schommeling van het schip was meestal voldoende om een goed kontakt tussen electrode en zeewater te bewerkstelligen. Na de meting werd de electrode teruggezet in een flesje gevuld met gefiltreerd zeewater, waaraan een druppel JKJ-oplossing was toegevoegd, om algengroei aan het glas van de electrode te voorkomen. De electrode werd juist in zeewater bewaard omdat dit de boven omschreven ionenshock bij iedere meting voorkwam. In het algemeen werd tweemaal daags een controlemeting met de buffer uitgevoerd. Omdat het varen van de ene raai met monsterpunten naar de andere enige tijd vergde, werd de controle meestal gedurende deze periodes gedaan.

De apparatuur was van zodanige kwaliteit dat nauwkeurige pH metingen mogelijk waren. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in (figuur 7).

Er wordt in dit verslag niet diep ingegaan op de resultaten van deze metingen, omdat deze buiten de feitelijk vraagstelling van dit onderzoek vallen.

Vergeleken met zeewater bezit rivierwater een lage pH. In perioden van lage primaire productie blijkt een lineair verband te bestaan tussen pH en zoutgehalte. CO_2 verbruik werkt pH verhogend, zodat het lineaire verband in periodes van hoge primaire productie niet langer bestaat. Het duidelijkst komt dit tot uiting in de grafiek voor de

periode van 26 augustus - 5 september 1968.

Wanneer het lineaire verband in februari 1968 als basis wordt genomen, doet zich in mei 1968 een pH verhoging voor, die toeneemt naarmate het zoutgehalte afneemt. In augustus 1968 blijkt juist een toenemende pH verhoging ten opzichte van februari 1968 naarmate het zoutegehalte groter wordt. In november 1968 deed zich gemiddeld genomen de grootste pH toename ten opzichte van februari 1968 voor.

Een directe vergelijking van het primaire productie niveau en de pH verschuiving ten opzichte van het lineaire verband in februari 1968, is van zeer beperkte betekenis, omdat de pH niet alleen afhankelijk is van het primaire productie niveau van dat moment. Mede hierdoor is het van groter betekenis pH verschillen tussen opeenvolgende tochten te signaleren. Voor mei 1968 maakt dit geen verschil, omdat deze tocht vergeleken wordt met februari 1968. In augustus 1968 blijkt evenwel dat slechts een pH verhoging, in vergelijking met mei 1968, optreedt bij een zoutgehalte groter dan 33‰. In zeewater met een zoutgehalte groter dan 34‰ bleek de pH in november 1968, niet te zijn toegenomen. Bij lager zoutgehalte bleek een forse pH stijging te zijn opgetreden.

Het lineaire verband tussen pH en zoutgehalte bleek zowel voor februari 1968 als voor februari 1969. De toename van de pH bij hogere zoutgehalten was voor beide tochten gelijk. In absolute zin was er evenwel een niet onaanzienlijk verschil. In februari 1968 werd als referentie punt gebruik gemaakt van de "Palitsch buffer", in februari 1969 werd de fosfaat buffer als basis genomen. Het verschil tussen de pH waarden van beide tochten moet mijns inziens hieraan worden toegeschreven.

c. Bepaling totaal CO_2

Het principe van deze bepaling is ontleend aan de methode, die door ANDERSON & ROBINSON (1946) werd ontwikkeld. Het betreft hier een methode die op eenvoudige en snelle wijze, een mogelijkheid biedt de totaal alkaliniteit van het zeewater te bepalen. Met behulp van diverse evenwichtsvergelijkingen, en tabellen van hierin voorkomende everwichtsconstanten, is het mogelijk totaal CO_2 van het zeewater uit te rekenen.

Het is niet de meest nauwkeurige methode maar voor productie-metingen zeer bruikbaar.

Procedure: 15 ml 0,010 N HCl werd gepipetteerd in polyethyleenflesjes van 100 ml. Dit kon reeds op het N.I.O.Z. laboratorium gedaan worden hetgeen de nauwkeurigheid van de bepaling ten goede kwam. Op ieder station waar potentiele primaire productie werd gemeten, werd aan deze flesjes 50 ml zeewater toegevoegd met behulp van een Knudsen pipet. De eind-pH werd later op het N.I.O.Z. laboratorium bepaald. Als referentie werd gebruik gemaakt van de N.B.S. standaardbuffer, te weten een oplossing van 0,05 mol KHphtalaat, die bij 20° C een pH van 4.00 bezit.

Met onderstaande formule werd de totaalalkaliniteit, (A) van het zeewater bepaald:

$$A = \frac{1000}{\text{ml monster}} \text{ (ml HCl) (norm. HCl)} - \frac{1000}{\text{ml monster}} \text{ (ml monster + ml HCl)}. Ch^+,$$

waarbij Ch^+ gegeven wordt door -log Ch^+. fh^+ = pH.

fh^+ = coefficient van H^+ "activity" voor glaselectrodes.

De saliniteit van het genomen monster was bekend (onderzoek Tijssen). Met behulp hiervan kon Ch^+ bepaald worden, via tabellen gegeven door STRICKLAND & PARSONS (1965) en HARVEY (1957b). De evenwichtsvergelijkingen, waarvan de constanten werden berekend en getabelleerd door BUCH (1961), zijn de basis van deze tabellen volgens welke "totaal CO_2" kan worden berekend.

Iets andere evenwichtsconstantes werden berekend door LYMAN (1956). Deze zijn gebaseerd op de N.B.S. pH schaal en o.a. weergegeven in RILEY & SKIRROW (1965).

Omdat de bepaling aan de hand van ANDERSON & ROBINSON (1946), zoals hier is uitgevoerd, niet uit nauwkeurigheidsoverwegingen maar meer uit praktisch oogpunt werd gekozen, is het nodig de berekende waarden te corrigeren, temeer daar de verschillen zeer klein blijken te zijn.

IV. Berekeningen, nauwkeurigheid, correcties

Onderstaande formule (STRICKLAND & PARSONS, 1965), vormt de basis voor de berekening:

$$\frac{(Rs-Rb).\ W.\ 1{,}05}{R.N}\ ,$$

waarbij Rs = radioactiviteit belichte fles,

Rb = radioactiviteit donkere fles,

W = gehalte aan koolstof berekend uit "totaal CO_2",

R = totale radioactiviteit van de ampul die aan het monster werd toegevoegd,

N = aantal incubatieuren.

De berekende uitkomst is uitgedrukt in $mgC/m^3/hr$.

De nauwkeurigheid van de primaire productiemetingen is van vele factoren afhankelijk (onder andere de duur van incubatie en de toegevoegde radioactiviteit). Omdat in dit onderzoek op verschillende punten afgeweken is van de aangegeven voorschriften (STRICKLAND & PARSONS, 1965) leek het nuttig de betrouwbaarheid van de resultaten te onderzoeken. Daartoe zijn tijdens de tocht van mei 1968 alle monsters in duplo genomen. Het verschil van de duplobepalingen is uitgedrukt in percentages van het gemiddelde. Dit resultateerde in een gemiddeld verschilpercentage van 8,8 met een standaard afwijking van 7,2. Dit betekent dat bij 95% van de waarnemingen een betrouwbaarheid bereikt wordt van 14%.

In vergelijking met STRICKLAND (1960), die een $\pm$ 5% "precision" bij eenzelfde overschrijdings kans vermeldt, een hoog getal. Echter bij een primaire productieniveau van 1,5 mgC/m^3/hr geven STRICKLAND & PARSONS (1965) een waarde van 10% op, bij een incubatieperiode van 7 uur. Een kortere incubatietijd zoals de hier aangehouden 2 uur, betekent dat de filters minder radioactiviteit zullen bezitten, waardoor bij de telling een percentueel grotere fout verwacht moet worden. Verlenging van de teltijd verhoogt de nauwkeurigheid, maar is praktisch niet altijd realiseerbaar. In bovenstaande formule komt een faktor 1,05 voor. Deze faktor is aangebracht omdat C^{14} door de grotere massa ten opzichte van C^{12}, niet geheel in dezelfde mate aan de chemische processen zal deelnemen. De preciese waarde van deze factor is moeilijk te bepalen, maar algemeen wordt aangenomen dat deze tussen 1,03 en 1,08 moet liggen (STEEMANN NIELSEN, 1955).

De bepaling van de totale radioactiviteit van een C^{14} ampul (R) is technish moeilijk realiseerbaar. In het algemeen volgt men bij de bepaling hiervan de methode zoals aangegeven door STRICKLAND & PARS

(1965) (de zogenaamde $BaCO_3$ precipitatie). Een groot struikelblok hierbij vormt de bepaling van de "self absorption" correctiecurve. In het kader van dit onderzoek is tweemaal getracht een dergelijk curve te produceren doch beide keren is dit niet gelukt. Dit moet vooral toegeschreven worden aan een gebrek technisch-chemische ervaring.

De incubatietijd (N) is in dit onderzoek gesteld op 2 uur. In enkele gevallen is onopzettelijk een langere tijd geincubeerd. Een lineair verband tussen incubatietijd en primaire productie wordt beschreven (STEEMANN NIELSEN & JENSEN, 1957; EPPLEY & SLOAN, 1956). Niet onbeduidend hiervan afwijkende resultaten worden gegeven door McALLISTER, SHAH & STRICKLAND, (1964) and BARNETT & HIROTA (1967).

Een kort experiment, eveneens tijdens de meitocht van 1968, heeft de relatie tussen incubatietijd en C^{14} opname, voor die specifieke omstandigheden, vastgelegd. Van een station (134 in de stations-nummering van Tijssen) werden 15 monsters tegelijkertijd in de incubator geplaatst. De belichte flessen werden ook hier in duplo gedaan. Met een tijdsverschil van steeds 1 uur werden 2 belichte flessen en één donkere fles uit de incubator gehaald en afgefiltreerd. Na beide belichte flessen voor donkeropname te hebben gecorrigeerd, zijn de resterende counts uitgezet tegen het aantal uren dat werd geincubeerd. Een van de flessen die gedurende 5 uren zijn geincubeerd, werd niet goed gefiltreerd en is derhalve niet in de grafiek opgenomen. Uit de grafiek (figuur 8) blijkt, in dit geval, een linair verband te bestaan tussen beide grootheden.

Het bleek dat bepaling van de "zelfabsorptie" volgens de $BaCO_3$ methode praktisch moeilijk realiseerbaar was.

Bij lage gewichtshoeveelheden per oppervlakteeenheid moet een schijnbare toename van specifieke activiteit optreden. Uit de proeven

bleek een dergelijk toename slechts realiseerbaar tussen gewichtshoeveelheden van 10 tot 1,5 mg/cm^2. Een filterbedekking kleiner dan 1,5 mg/cm^2 vertoonde geen stijging in specifiek activiteit en bij zeer lage gewichtshoeveelheden bleek zelfs een scherpe daling in specifieke activiteit op te treden.

Om de praktische problemen rond deze bepaling te kunnen omzeilen zijn formules afgeleid, die een kwantificering van zelfabsorptie mogelijk maken.

In de eerste plaats is er de formule die gebaseerd is op de algemene beschrijving van absorptieverschijnselen, de wet van Lambert-Beer. Dit uitgangspunt is gekozen door HENRIQUES Jr., KISTIAKOWSKY, MARGNETTI & SCHNEIDER (1964) and LIBBY, (1947).

De zelfabsorptiecoefficient is in deze afleidingen een constante. Dat betekent dat er geen rekening wordt gehouden met allerlei fysische veranderingen die bij verschillende gewichtshoeveelheden optreden en die derhalve veroorzaken dat de coëfficient geen vaste waarde zal hebben (veranderingen in energiespectra en dergelijke).

De formule dient slechts het uiteindelijke effect van zelfabsorptie te beschrijven en is niet in de eerste plaats bedoeld om een fysisch juiste beschrijving te geven van de absorptieprocessen. Het blijkt echter dat de afgeleide formule het eindresultaat voor alle gewichtshoeveelheden niet adequaat beschrijft (HENDLER, 1959). Dit heeft geleid tot een tweede vergelijking die in tegenstelling tot bovenbeschreven exponentiele vergelijking, een hyperbolische gedaante bezit.

Vergelijkend onderzoek heeft uitgewezen dat de laatste vergelijking, met varierende absorptiecoefficient, minder dan 5% verschil oplevert vergeleken met experimenteel bepaalde waarden. De exponentiele vergelijking bleek slechts een dergelijke nauwkeurigheid te bezitten,

tussen gewichtshoeveelheden van 3 en 7 mg/cm^2. Er is bij deze onderzoekingen geen rekening gehouden met de rol die back-scattering zou kunnen spelen (THOMAS, 1964).

JITTS & SCOTT (1961) achten het praktisch niet mogelijk, daar middel van de $BaCO_3$ methode, waardevolle gegevens te verkrijgen, wanneer de filterbedekking kleiner is dan 0,5 mg/cm^2. Onder deze grens zou het namelijk niet mogelijk zijn een complete filterbedekking te realiseren. Dit betekent dat een afname van gewicht niet meer een verhoging van specifieke activiteit kan opleveren. Wanneer dit wel uit de metingen blijkt moet dit toegeschreven worden aan toenemende back-scatter en een veranderde geometrie. Bij assemblering van deze "dunne" filters zal tevens verlies aan radioactief materiaal een grotere rol spelen (STEEMANN NIELSEN, 1965).

Het blijft dus een onzekere zaak hoe bijvoorbeeld back-scatter en zelfabsorptie zich verhouden bij een filterbedekking die minder dan 0,5 mg/cm^2 bedraagt.

Dit heeft dan ook geleid tot het propageren van andere methodes om deze effecten te beschrijven, dan de $BaCO_3$ techniek (STEEMANN NIELSEN, 1965; GOLDMAN, 1968).

Samenvattend kan gezegd worden dat beide genoemde factoren een tegengesteld effect zullen hebben. De zelfabsorptie zal bij "lichte" filters, zeer klein tot verwaarloosbaar zijn. De bijdrage van back-scatter op het total aantal geregistreerde counts is onzeker, maar zal naar alle waarschijnlijkheid klein zijn.

Op grond hiervan is besloten geen correctie toe te passen op de in dit onderzoek getelde monsters, waarbij deze restrictie in acht werd genomen, dat slechts die monsters in tabellen en kaarten verwerkt zouden worden, die een hoeveelheid zwevend materiaal bezaten kleiner

dan 8,75 mg/l. Dit komt overeen met een filter bedekking van 0,5 mg/ cm^2.

Het met de theorie in overeenstemming te brengen deel van de experimeenteel bepaalde zelfabsorptiecurve, bleek eveneens goed overeen te stemmen met door Rommets en Cadée gemaakte grafieken. Hierdoor was het mogelijk een schatting te maken van de totale activiteit van de ampul (R). De onafhankelijk van elkaar gemaakte bepalingen bleken goed overeen te komen. Een gedeelte van de in dit onderzoek gebruikte ampullen zijn namelijk door Rommets en ook door Cadée gebruikt. Wel bleek er een sterke variatie aan activiteit bij de ampullen te bestaan. Dit moet eveneens de reproduceerbaarheid van de resultaten sterk beinvloed hebben, hetgeen ten onrechte zou kunnen leiden tot kritiek op de methode "sensu stricto".

V. Resultaten

De resultaten van de potentiele primaire productie metingen zijn verwerkte in kaarten van het onderzochte zeegebied (figuur 4). Dit is niet gedaan voor de tocht van februari 1968, omdat het aantal waarnemingen niet voldoende was om een betrouwbaar distributiepatroon te kunnen tekenen. Bovendien werd destijds met andere apparatuur gewerkt, waardoor geen goede vergelijking met de andere tochten mogelijk is. Per kaart berust de verdeling op ongeveer 50 meetgegevens.

Potentiele primaire productie/Saliniteit diagrammen van de laatste vier tochten zijn weergegeven in figuur 5. In figuur 7 zijn van alle gemaakte tochten pH/S. diagrammen getekend.

Het patroon van de potentiele primaire productie kaarten wettigt het trekken van enkele conclusies. Met nadruk moet er op gewezen worden

dat de conclusies slechts betrekking hebben op de "specifieke" primaire productie, die in het onderzoek wordt aangeduid als potentiele primaire productie.

1: Potentiele primaire productie verandering, als gevolg van seizoensverschillen, zijn slechts waargenomen in water met een relatief laag zoutgehalte.

De gemiddelde potentiele primaire productie in mei 1968, augustus 1968 als ook in februari 1969, bij een zoutgehalte van 34‰, bedroeg 2,6 $mgC/m^3/hr$. In november 1968, bij een zelfde zoutgehalte, was dit gemiddeld 3,7 $mgC/m^3/hr$. De volgende getallen geven de gemiddelde potentiele primaire prodictie bij een zoutgehalte van 31‰ : Mei 1968: 9,6 $mgC/m^3/hr$, augustus 1968: 47 $mgC/m^3/hr$, november 1968: 8 $mgC/m^3/hr$, februari 1969 : 2,5 $mgC/m^3/hr$. Bij 31‰S is dus de gemiddelde potentiele primaire productie in augustus bijna 20 maal zo hoog als in februari 1969. Het gemiddelde potentiele primaire productie maximum bij 34‰S werd gemeten in november 1968, maar was slechts 1,5 maal zo hoog als de gemiddelden van de andere tochten.

Bij bovenstaande conclusie moeten twee opmerkingen worden geplaatst. In de eerste plaats zijn de gemiddelden berekend uit waarden die vooral bij een laag zoutgehalte, een sterke spreiding bezitten. In de tweede plaats kunnen de berekende gemiddelden slechts bij toeval de potentiele primaire productie variatie naar seizoensafhankelijkheid representeren. Het is bekend dat binnen enkele weken grote veranderingen kunnen optreden in het primaire productiepatroon. (voorjaarsbloei bijv.) Ook de in figuur 4 weergegeven potentiele primaire productie patronen vertonen veranderingen van deze aard.

2: In de maanden mei 1968 en augustus 1968 neemt potentiele primaire productie kustwaarts toe.

Gemiddeld genomen is er in november 1968 eveneens een toename naar de kust te constateren maar deze trend is feitelijk, door een sterke spreiding van de potentiele primaire productie, niet van betekenis. (Een potentiele primaire productie maximum tussen 31 en 32‰S). Ook hier zijn de aantekeningen bij punt 1 van toepassing. Daar komt bij dat de geconstateerde toename kustwaarts, of het uitblijven van deze trend, vastgelegd werd aan de hand van de Saliniteit. De Saliniteit van het kustwater varieert eveneens naar het seizoen en is dan ook als geografische parameter, zoals hier gebruikt, van beperkte betekenis.

3: De potentiele primaire productie verdeling vertoont een patroon dat voor iedere tocht in meer of mindere mate te herkennen valt.
Het betreft hier een afwisseling van gebieden met een relatief hoge potentiele primaire productie met gebieden die gekenmerkt worden door een relatief lage potentiele primaire productie, in een strook evenwijdig aan de kust en ook in water met eenzelfde zoutgehalte. Het blijkt bovendien dat de positie van deze gebieden min of meer dezelfde is voor alle tochten. Hoge potentiele primaire productie in het zeegebied voor het Rijn-Schelde estuarium, in een strook ten NW. van IJmuiden en in het zeegebied ten NW van Den Helder.
De op de kaarten (figuur 4) getekende contouren geven opeenvolgend potentiele primaire productie verschillen van een factor 2 aan. (uitgezonderd de laagste contourlijnen).
Wanneer zich potentiele primaire productie veranderingen voordoen in absolute zin, zullen deze in gebieden met een hoog potentiele primaire productie gemiddelde, in verhouding tot gebieden met een laag potentiele primaire productie gemiddelde, slechts van weinig invloed zijn op het verloop van de potentiele primaire productie isolijnen. Dit kan, bij

oppervlakkige beschouwing, leiden tot overwaardering van deze fluctuaties in water met een hoog zoutgehalte, omdat hierin doorgaans lage potentiele primarie productie voorkomt.

4: Het Rijn-Schelde estuarium is van grote invloed op potentiele primaire productie verdeling in de rest van het onderzochte gebeid. Weliswaar zijn in het estuarium zelf geen productiemetingen verricht, (Vegter werkt aan een primaire productie onderzoek in dit gebied) maar in het zeegebied ten westen van de Zeeuwse eilanden, werd gedurende alle gemaakte tochten de hoogste potentiele primaire productie gemeten.

Er is bovendien een indicatie dat deze invloed noordwaarts langs de kust te vervolgen is.

Een vergelijkbare invloed wordt uitgeoefend door het Waddengebied. Verondersteld moet worden dat de invloed van het Waddenwater ook van invloed is op het zeewater noordelijk van de Waddeneilanden, hetgeen in dit onderzoek niet kon worden aangetoond, omdat dit zeegebied niet werd bemonsterd.

6: Op enkele plaatsen kon worden vastgesteld dat zeer kustnabij, potentiele primaire productie weer lager werd.

Zoals reeds bij punt 2 werd uiteengezet, moet een potentiele primaire productie afname langs de kust in maanden met een hoog potentiele primarie productie gemiddelde, groot zijn, om in de potentiele primaire productie isolijnen tot uitdrukking te kunnen worden gebracht.

Wanneer van de afzonderlijke raaien potentiele primaire productie/ diagrammen werken getekend, bleek een dergelijke afname verschillende malen voor te komen.

Op de novemberkaart is deze afname te zien in het kustgebied ten N van IJmuiden. In augustus deed zich op dezelfde plaats iets dergelijks voor, maar dit kon niet in het patroon weergegeven worden.

VI. Discussie

a. Algemeen

Bij de beschouwing van de gemeten potentiele primaire productie moet steeds rekening worden gehouden met het feit dat alle cijfers betrekking hebben op oppervlaktewater, dat werd geincubeerd bij een lichtintensiteit van ongeveer 4200 lux. Slechts in de wintermaanden is een dergelijke lichthoeveelheid vergelijkbaar met daglicht; in andere seizoenen is het daglicht een veelvoud van deze waarde.

Het is bekend dat lichtintensiteit en primaire productie in nauw verband staan en zeker op hogere breedtes zal, vooropgesteld dat andere condities niet beperkend zijn, primaire productie grotendeels door de hoeveelheid beschikbaar licht bepaald worden. Dat hierbij ook de "lichthistorie" een rol van betekenis speelt, weliswaar in indirekte zin, werd aangetoond door STEEMANN NIELSEN (1964). De relatie wordt bovendien vertroebeld doordat de fotosynthetische respons ook kortstondige variaties kent (o.a. YENTSCH & RYTHER, 1957).

Ook de spectrale samenstelling van het beschikbare licht is van belang, omdat lichtabsorptie door pigment sterk selectief is. Groeiinhibitie als gevolg van supraoptimaal licht, zoals ook op onze breedtes in de zomermaanden in oppervlaktewater regelmatig voorkomt (STEEMANN NIELSEN 1964; POSTMA & ROMMETS, 1970), is mede afhankelijk van de samenstelling van het spectrum (RABINOWITCH & THOMAS 1960).

De voor dit onderzoek gebruikte lampen, Philips TL 40W/55, hebben een spectrum dat aan het daglicht aangepast is en zijn derhalve voor incubators zeer geschikt.

Spectrale verschillen tussen "in situ" oppervlakteomstandigheden en incubatorlicht moeten dan ook voornamelijk veroorzaakt worden door

de glaswand die in de incubator aangebracht is (figuur 1).

De incubator werd met zeewater gekoeld dat ter plaatse werd opgepompt. Kustnabije stations hebben als gevolg hiervan een hoger percentage zwevend materiaal in het koelwater gehad dan meer westelijk gesitueerde stations. Dit moet kleine intensiteits-verschillen van het incubatorlicht tot gevolg hebben gehad. Omdat ook om andere reden, zie blz. 20, afgezien werd van productiemetingen van stations met een hoog zwevende stofgehalte, werd deze foutenbron tot een te verwaarlozen proportie terug gebracht.

Het is van belang na te gaan in hoeverre de getekende potentiele primaire productie kaarten "synoptisch" zijn.

Gemiddeld genomen is het tijdsverschil tussen de eerste en de laatste waarneming ongeveer 10 dagen. De verplaatsing van de watermassa's, als gevolg van de noordwaarts gerichte reststroom in het Nederlandse kustgebied, zullen het momentane beeld niet ernstig verstoren. Voorlopige berekeningen van Tijssen wijzen in deze richting. Het is evenwel niet onmogelijk dat onder bijzondere omstandigheden, bijvoorbeeld een sterke SW wind, in het kustnabije zeegebied, waar de reststroom het grootst is, een vertekening van het "synoptische" beeld kan optreden.

Het betekent echter niet dat de gegeven potentiele primaire productie kaarten één tijdsmoment omvatten. Het is waarschijnlijk dat binnen een tijdsbestek van 10 dagen, in een bepaalde watermassa, aanzienlijke verschillen in primaire productie kunnen voorkomen. Wanneer bijvoorbeeld een bepaalde populatie als gevolg van bepaalde omstandigheden in een sterke groeifase raakt, zal het niveau van primaire productie sterk toenemen (McALLISTER, PARSONS, STEPHENS, & STRICKLAND, 1961).

Dat bij een vergelijkende beschouwing van de kaarten met dit effect rekening moet worden gehouden, bleek uit de analyse van de potentiele primaire productie kaarten aan de hand van ter plaatse bepaalde nitraatgehaltes. Daglichtintensiteiten midden op de dag varieren op onze breedte van enkele duizenden lux op sombere winterdagen, tot meer dan 150.000 lux op zonnige zomerse dagen. Een grote lichtintensiteit kan remmend werken op fotosynthese in het oppervlaktewater. Zelfs op zonnige wintermaanden is op onze breedte "lichtinhibitie" in de bovenste waterlagen waargenomen (POSTMA & ROMMETS 1970; Cadèe pers. med.).

Deze omstandigheden kunnen van grote invloed zijn op de respons van fytoplankton op het incubatorlicht. Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat een algenpopulatie die enige tijd aan supraoptimale lichtomstandigheden is blootgesteld, anders reageert op een incubatorlichtintensiteit van 4200 lux, dan een populatie die bijvoorbeeld s'ochtends vroeg wordt bemonsterd (POTTY, 1957; YENTSCH & RYTHER, 1957). Tijdens een korte tocht in maart 1969 is een dergelijke varierende respons ook in de Noordzee aangetoond. Dit was vooral opmerkelijk omdat lichtomstandigheden in situ, niet supra-optimaal waren.

Nog afgezien van bovenstaande effecten, lijkt het noodzakelijk dat, aleer de in dit onderzoek verzamelde gegevens voor in situ schattingen worden gebruikt, meer inzicht wordt verkregen in de in dit zeegebied voorkomende planktonpopulaties en de voor deze karakteristieke primaire productie lichtintensiteitscurves.

Ondanks de beperkingen die aan de gemeten waarden verbonden zijn, kunnen binnen de vraagstelling van dit onderzoek, ook enkele positieve aspecten van de gevolgde methode, met daarvan verbonden resultaten, vermeld worden.

In de eerste plaats is door een snel en globaal onderzoek een overzicht van primaire productie verhoudingen mogelijk. Dit is vooral belang omdat tezelfdertijd chemisch oceanografische metingen werden verricht, waardoor het wellicht mogelijk is bepaalde verbanden tussen primaire productie en andere oceanografische parameters, waarover meer en gedetailleerder informatie bestaat, te quantificeren. Dit zou bijvoorbeeld tot gevolg kunnen hebben dat, voor toekomstig primaire productieonderzoek, volstaan zou kunnen worden met deelonderzoek in representatieve watermassa's en een gelijktijdig suppletieonderzoek aan de hand van aan potentiele primaire productie gerelateerde factoren, in de rest van het zeegebied.

Een zeer belangrijk voordeel van incubatormetingen op in situ bepalingen, wordt gevormd door het opheffen van de variatie aan belichting, die een sterk vertekend beeld bij eenmalige metingen kan opleveren.

b. De afzonderlijke tochten

Mei 1968 (figuur 4a)

In deze periode zijn er twee gebieden met een hoge potentiele primaire productie t.w. het kustwater voor de Zeeuwse eilanden en ten NW. van Den Helder. Dit is water met een Saliniteit van 33‰ en een nitraatgehalte van tenminste 10 mugrat/l. Het fosfaatgehalte was groter dan 0,2 mugrat/. De rest van het kustwater met een vergelijkbare saliniteit bezit aanmerkelijk lagere potentiele primaire productie waarden. Dit komt het sterkst tot uiting in het kustwater voor Zuid-Holland, dat met een saliniteit kleiner dan 30‰ en hoge voedingstofgehaltes, een potentiele primaire productie kleiner dan 10 mgl/m^3/hr bezit. Dit wijst

op zeer productief water uit het Wadden en Zeeuwse Deltagebied, dat na menging met het Noordzeewater, hierin een hoge primaire productie kan induceren.

In water met een hoger zoutgehalte komen ook plekken voor met een relatief hoge potentiele primaire productie. Er zijn drie gebieden te onderscheiden, waarvan de meest zuidelijke en de meest noordelijke het meest karakteristiek zijn. Het zoutgehalte varieert tussen 33,5- en 34,5‰. Het zuidelijke maximum, NW van het Haringvliet (raai 4, Fig. 3) heeft een nitraatgehalte van ongeveer 1 mugrat/l en een fosfaatgehalte van 0,1 mugrat/l. Deze relatief lage gehaltes vormen een opmerkelijk contrast met de noordelijke maxima NW van IJmuiden en NW van Texel (resp. raai 7 en 9), die gehaltes aan nitraat van ongeveer 5 mugrat/l en fosfaat van ongeveer lá 2 mugrat/l bezitten.

Van de tussenliggende minimumgebieden is ook het zuidelijkste gebied het meest karakteristiek. Hier werden zeer lage potentiele primaire productie geregistreerd bij relatief gunstige voedingstof-concentraties. (Ten NW van de Waterweg, op raai 5, een nitraatgehalte van 5 mugrat/l, en van fasfaat 0,1 mugrat/l; ten W van Den Helder zelfs een nitraatgehalte van 10 mugrat/l en een fosfaatgehalte van 0,1 tot 0,2 mugrat/l).

Augustus 1968 (figuur 4b)

In deze periode werd de hoogste potentiele primaire productie gemeten. In (figuur 5b) is de relatie van potentiele primaire productie met de salinitiet aangegeven. Uit het augustus diagram blijkt een goede correlatie tussen deze factoren te bestaan. Dit blijkt eveneens uit de grote overeenkomst tussen het verloop van de isohalijnen, (TIJSSEN, 1969) en potentiele primaire productie isolijnen.

In het verloop van de isolijnen is echter eveneens overeenkomst te herkennen met het mei-patroon. Het voor die maand aangeduide Zeeuwse en Waddenmaximum zijn weer sterk ontwikkeld en voor de kust van Ijmuiden is niet alleen in het zoute water een potentiele primaire productie maximum, zoals in mei, maar dit maximum is ook langs de kust aanwezig. Een gebied waar zeer weinig geproduceerd wordt ligt ten westen van Den Helder.

Ten NW van IJmuiden is een opvallende verdeling te zien. Naast een potentiele primaire productie maximum langs de kust, is er een tweede maximum dat, op enige afstand van de kust, gestrekt is in NO richting.

Bij vergelijking met andere chemisch-oceanografische factoren valt het volgende op te merken:

Het gebied waar hoge productiecijfers werden gemeten, wordt in z geheel gekenmerkt door zuurstofoververzadiging (groter dan 110%) en Secchi schijf waarnemingen van minder dan 10m.

De nitraatgehaltes waren in deze periode zeer laag. De lijn van 1 mg/l geeft ongeveer de grens waarbinnen, dat wil zeggen kustwaarts, hoge potentiele primaire productie werd gemeten. Een uitzondering hierop vormt het gebied ten N van Texel met een nitraatgehalte groter dan 1 mg/l, maar geen hoge potentiele primaire productie.

In het water met een relatief hoge saliniteit komen drie gebieden voor met zeer lage fosfaatgehaltes (kleiner dan 0,1 mg/l). Deze gebieden bleken vrijwel overeen te komen met drie plaatsen waar potentiele primaire productie minimaal was.

November 1968 (figuur 5c)

Tijdens deze tocht werd geen potentiele primaire productie groter dan 10 mgl/m^3/hr gemeten. Er bleken aanzienlijke verschillen in potentiele primaire productie te bestaan binnen een zoutgehalte, waarbij de positie van relatieve maxima en minima grote overeenkomst bezit met de van de andere tochten, met dien verstande dat de posities in november iets zuidelijker zijn.

Er werd bij de augustuskaart reeds gewezen op onregelmatigheden in de algemene trend van kustwaarts groter wordende potentiele primaire productie.

Tijdens deze tocht werd voor de kust van Bergen a.Z. en ten W van IJmuiden, zeer lage potentiele primaire productie gemeten. Bij IJmuiden nam de productie zozeer af, dat in water van 29‰ S. een bijzonder lage potentiele primaire productie werd gemeten (1,4 mg/m^3/hr). In mei was het minimum ten NW van de Waterweg (raai 5) zeer opvallend. Ook tijdens deze tocht bleek dit een zeer "onvruchtbaar" gebied te zijn. Eenzelfde correlatie is te trekken met het minimum ten W van Den Helder. (raai 8)

Ondanks het feit dat er voor deze periode geen verband tussen zoutgehalte en potentiele primarie productie bestaat (fig. 5b), is er een opvallende overeenkomst tussen de begrenzing van de zouttong in noordelijke richting in het centrale deel van de "Southern Bight", en de begrenzing van het Den Helder potentiele primaire productie minimum.

Het bleek dat de temperatuurverdelingen veel overeenkomst vertoonde met het potentiele primaire productie patroon. Een goed voorbeeld hiervan is de zuidgrens van het Waterweg potentiele primaire productie minimum (raai 3), dat in het zeegebied ligt waar een sterk

temperatuurverval in noordelijke richting bestaat. In mindere mate geldt dit ook voor de zuidgrens van het Den Helder productie minimum (raai 7).

In zeer groffe trekken is er een verband aan te geven tussen voedingstoffenverdeling en het potentiele primaire productie patroon. De zeer lage potentiele primaire productie ten NW van de Waterweg, gaat vergezeld van zeer lage nitraat en fosfaatgehaltes.

Het blijkt bovendien dat de maximale concentraties aan deze stoffen ten opzichte van de positie van deze maxima tijdens de andere tochten, meer zuidelijk liggen. Ook bij de potentiele primaire productie verdeling is deze trend aanwezig. (zie bijvoorbeeld het Waddenmaximum)

Februari 1969 (figuur 5d)

Een groot verschil met de potentiele primaire productie verdeling in andere maanden is het voorkomen van een strook met zeer lage potentiele primaire productie tussen het water met een hoog zoutgehalte en het veel zoetere kustwater. Het betreft hier vnl. water met een zoutgehalte tussen 31‰ en 34‰; het zeegebied voor de Zeeuwse kust vormt hierop een uitzondering. Het voorkomen van maximale potenitele primaire productie in water van een zoutgehalte tussen 34‰ en 35‰ salinitiet vormt eveneens duidelijk verschil met de overige tochten. Dat er voor deze maand geencorrelatie bestaat tussen zoutgehalte en potentiele primaire productie, volgt uit het bovenstaande.

Er zijn ook enkele overeenkomsten in de verdeling van potentiele primaire productie met die van de andere tochten. Dit geldt o.a. voor het, ook in deze maand zeer productieve, Zeeuwse kustwater en ook voor de positie van de relatieve productiemaxima en minima.

De zoutwaterstrook waarin hoge potentiele primaire productie

voorkomt, wordt eveneens gekenmerkt door zuurstofoververzadiging.

Te oordelen naar de verdeling van nitraat en fosfaat is er geen correlatie met potentiele primaire productie. Opvallend is echter dat een fosfaatminimum (kleiner dan 0,1 mugrat/l) overeen komt met een potentiele primaire productie maximum.

c. Een vergelijking met andere bepalingen

Uit de weergegeven potentiele primaire productie kaarten zijn enkele conclusies getrokken.

Een verklaring van het gevonden potentiele primaire productie patroon aan de hand van op primaire productie van invloed zijnde factoren, is in dit stadium van onderzoek nog niet te geven.

De relatie tussen primaire productie en bijvoorbeeld chemisch oceanografische factoren is zeer complex. Bovendien is in dit onderzoek een relatieve primaire productiemaat gebruikt, hetgeen een eventuele verklaring in bovenstaande zin niet goed mogelijk maakt. Een afzonderlijke vergelijking van primaire productie met andere factoren is van beperkte betekenis, omdat vele factoren, inter se, een afhankelijkheid kennen, die door primaire productie eerst in secundaire zin beinvloed worden. Wel zullen enkele kanttekeningen geplaatst worden bij het gevonden potentiele primaire productie patroon, met behulp van de informatie die over enkele belangrijke factoren verzameld is.

Daarbij zullen meer in het bijzonder licht, temperatuur, nitraat en fosfaatgehalte en de waterbeweging aangestipt worden.

Omdat tijdens de vaartochten metingen naar temperatuur, nitraat en fosfaat zijn verricht, is de relatie van deze factoren met potentiele primaire productie, voor zover het de situatie van dat moment betreft,

quantificeerbaar. Er is al op gewezen dat niet zozeer die situatie productie-indicatief is, maar dat in vele gevallen juist de verandering van een bepaald beeld, primaire productie aanduidt.

Slechts terloops en onder groot voorbehoud kan de invloed van de waterbeweging in een bepaald gebied aangegeven worden, omdat informatie hierover zeer gebrekkig is. Dit geldt evenzeer voor de factor licht.

In het onderzochte gebied treedt menging op van oceanisch zoutwater met continentaal zoetwater. De wijze waarop in het kustgebied dit contact tot stand komt, wordt weergegeven door de saliniteitsverdeling zoals die is gepubliceerd door TIJSSEN (1969).

De concentraties van voedingstoffen worden voornamelijk door deze verdeling bepaald. BEINTEMA (1968) toonde aan dat in februari 1968 een lineair verband aanwezig was tussen saliniteit en het nitraatgehalte. Het optreden van dit conservatieve gedrag van nitraat is sterk afhankelijk van primaire productie. Wanneer opname van nitraat door primaire productie ter plaatse niet gecompenseerd wordt door een even grote nitraatregeneratie, kan het niet meer als conservatief beschouwd worden, in de zin zoals BEINTEMA (1968) bedoelde. In mei 1968 was sprake van een veel hogere primaire productie en het bleek dan ook niet meer mogelijk nitraat in deze maand als tracer te gebruiken (BEINTEMA 1968).

Ook in februari 1969 is echter sprake van een zeer dynamisch verband tussen zoutgehalte, potentiele primaire productie en nitraat, waardoor het ook in februari niet goed mogelijk lijkt water-massa's te scheiden op grond van het nitraatgehalte.

De relatie tussen bepaalde voedingstoffen en primaire productie is modelleerbaar (STEELE, 1956; RILEY, 1946).

Het zou m.i. aanbeveling verdienen de gedetailleerde informatie

met betrekking tot de voedingstofgehaltes in het onderzochte gebied te combineren met nader uitgewerkte potentiele primaire productie gegevens. Ook uit deze modellen blijkt dat het zeer moeilijk is primaire productieafhankelijke factoren afzonderlijk te beschouwen. Alleen reeds de invloed van temperatuur op diverse relaties, is zeer complex (bacteriele regeneratie, stabiliteit watermassa's en de beinvloeding de primaire productie bepalende enzymatische processen (STEENMANN NIELSEN & HANSEN 1959).

De uitwisseling van zoet en zout water in de kuststrook, is van grote invloed op de verticale dichtheidsverdeling. Ook de sterke stroming, die in dit gebied voorkomt, is van belang omdat dit water-turbulentie bevordert. In deze zin is de windinvloed ook van groot belang.

Licht als productiebepalende factor is reeds aangeduid. Het voorkomen van helder ooeanisch water en troebel continentaal water geeft aan dat de lichtinvloed in het onderzochte gebied in het geheel niet uniform is.

In figuur 6 zijn de potentiele primaire productie resultaten verwerkt in relatie tot enkele der genoemde factoren, waarbij de salinite als vaste waarde werd genomen. De cijfers 1-9 verwijzen naar de raaien, zoals vermeld in figuur 3. Aan de genoemde variabelen is nog zwevend stof toegevoegd. De relatie tussen Secchi-disc cijfers en het gehalte aan zwevende stof werd o.a. beschreven door POSTMA, (1961); and VISSER, (1969). De Secchi disc kan vooral in water met een laag gehalte aan zwevende stof, een indicatie geven van de hoeveelheid aanwezig fytoplankton (ATKINS, JENKINS, & WARREN 1954). Secchi-disc waarnemingen zijn in beperkte mate voorhanden, zwevende stof bepalingen werden op de helft van het aantal stations verricht. Dit is dan ook

reden dat zwevende stofgetallen zijn vergeleken met potentiele primaire productie resultaten.

Het uitgangspunt van productiecijfervergelijking per Saliniteit berust op het volgende:

Er is voor de Nederlandse kust een noordwaarts gerichte reststroom. Schattingen aan de hand van saliniteitsmetingen en inputgegevens van de rivieren, leverden Tijssen recentelijk een gemiddelde stroomsnelheid van ongeveer 5cm/sec op. Waarschijnlijk is deze schatting voor het kustwater te laag; in het centrale deel van de zuidelijke noordzee, vermoedelijk echter te hoog. Een dergelijk bedrag geeft een gemiddelde verblijftijd van het water in het gebied van onderzoek, van ongeveer 1-2 maanden.

Uitgangspunt was verder dat, in het zoetere water (Saliniteit groter dan 32‰),laterale diffusie niet groot is en derhalve gesteld kan worden dat het zeewater hier bij benadering langs lijnen van gelijke Saliniteit stroomt.

Dit uitgangspunt geeft een mogelijkheid om een bepaald tijdselement in de vergelijkende productieresultaten in te voeren, op grond van overeenkomende herkomst van water met eenzelfde zoutgehalte.

Als gevolg van primaire productie kunnen in augustus 1968 de concentraties van nitraat en fosfaat zo laag worden dat deze niet aantoonbaar meer zijn. Omgekeerd moet dit weer van invloed zijn op primaire productie. Dit evenwicht kan slechts beschreven worden, wanneer een tijdselement in de vergelijking ingebracht kan worden. Door bovenstaande gedachtengang is het althans enigermate mogelijk dit element in te voeren.

Wanneer een bepaald verband blijkt tussen bijvoorbeeld nitraatconcentraties en potentiele primaire productie, dan is het mogelijk

aan te geven in welke gevallen voedingstoffen als productiebeperkin
kunnen optreden. Omdat de verandering van een bepaalde factor
betekenisvol is en niet zozeer de actuele situatie, zal dan ook me
gelet worden op de variatie in concentraties aan nitraat en de tren
matigheid die mogelijk bestaat in water van een bepaald zoutgehalte
dan op de concentratie zelf. Want zelfs wanneer bepaalde voedingsto
een zeer lage concentratie bereikt hebben, is slechts met zekerheid
stellen dat primaire productie uiteindelijk zal verminderen (McALLIST
PARSONS, STEPHENS & STRICKLAND, 1961). Wanneer als gevolg hiervan ee
bepaalde populatie zal afsterven, kunnen regeneratieprocessen gaan
overheersen. Naarmate de voedingstoffenconcentraties toenemen, worden
de productiekansen voor een hernieuwde populatie beter en kan
uiteindelijk opname van voedingstoffen door primaire productie weer de
overhand krijgen.

Dit evenwicht komt tot uiting in de diagrammen van mei 1968 (fig. 6a). Bij 34‰ S is een tamelijk constant gehalte aan nitraat van ongeveer 5 mugrat/l. Een uitgesproken minimum doet zich voor op de raaien 3 en 4, waar gehaltes van respectievelijk 0,9 en 1,5 mugrat/l werden waargenomen. Op dezelfde plaats was de potentiele primaire productie maximaal. Het gemiddelde nitraatgehalte bij 34‰ S bedroeg ongeveer 5 mugrat/l; het gemiddelde potentiele primaire productie niveau bedroeg 3,5 mgl/m^3/hr. Aangenomen dat de I/P karakteristieken van STEEMANN NIELSEN, & HANSEN, (1961), ook op onze geografische breedte en de hier voorkomende populaties, van toepassing zijn, betekent dit, dat in mei een belichting van 4000 lux een bruto-primai productie van 50% mogelijk maakt. De gemiddelde lichtintensiteit in m in het oppervlaktewater is, wat betreft de condities voor primaire productie, maximaal te noemen. Dit zou betekenen dat "in situ" een

bruto primaire productie mogelijk is van 8 mgl/m^3/hr. Een factor die opname van koolstof vergelijkt met stikstofopname, werd ontleend aan REDFIELD (1934) en bedraagt 8, hetgeen betekent dat bij dit gemiddelde primaire productieniveau een stikstofopname van 1 mgN/m^3/hr plaatsvindt. Het maximale verschil dat in water van 34‰ S werd gevonden bedroeg 4 mugrat/l. Aangenomen mag worden dat in mei de totale primaire productie, per gemiddelde dag overeenkomt met tenminste 6 uren maximumproductie. Wanneer de voedingstofregeneratie over een bepaalde groeiperiode niet groter is dan 50% van de opname, zou dit betekenen dat binnen een periode van 20 dagen, een concentratieverschil in nitraat van 4 mugrat/l zal kunnen optreden.

Slechts in water van 34% S werden nitraatgehaltes gemeten die kleiner waren dan 1 mugrat/l. De minimum concentratie bij andere zoutgehaltes bedroeg tenminste 5 mugrat/l hetgeen betekent dat er geen indicatie is dat nitraat in mei, in het grootste deel van het onderzochte gebied, productie beperkend was.

Ook voor de andere maanden werd geconstateerd dat bij afnemend zoutgehalte, een productieminimum voorkomt. In mei werd dit productieminimum gevonden tussen 34 en 33 ‰ S. In dit zoute water werden productiemaxima gevonden tussen 34 en 34,25‰ S.

Na een vergelijking van productieresultaten bij verschillende zoutgehaltes per raai blijkt dat het productieminimum tussen 34 en 33‰ S een normale waarde bezit, maar dat de primaire productie tussen 34 en 34,25‰ S duidelijk groter is dan op grond van deze vergelijking verwacht mag worden.

Boven 34 en 25% S treedt een snelle vermindering op van potentiele primaire productie als ook van het nitraatgehalte. Dit zo

er op kunnen wijzen dat tijdens de meitocht in het zoutste water een voedingstoffentekort heerste.

Per vaartocht doen zich binnen een bepaald zoutegehalte slechts kleine temperatuurschommelingen voor. Deze temperatuursveranderingen in het oppervlaktewater zullen geen grote invloed op de primaire productie hebben. Vanzelfsprekend is de temperatuursinvloed wel van belang voor de jaarlijkse productie-variatie en ook kan het een indicator zijn van, voor primaire productie belangrijke veranderingen in omstandigheden. (zie bijvoorbeeld november 1968 fig. 6c)

De verwachting dat in mei 1968 nog sprake zou zijn van een sterke voorjaarsbloei, is niet met de resultaten in overeenstemming. De potentiele primaire productie in mei is zelfs opvallend veel kleiner dàn de potentiele primaire productie in augustus 1968.

Het is aannemelijk dat het koude weer in de voorafgaande periode, waarin ook zeer weinig zonneuren werden gemeld (K.N.M.I. maandelijkse overzichten van de weersgesteldheid), op deze lage primaire productie-stand van invloed is geweest (STEEMANN NIELSEN, 1964c). Eind maart 1968 bracht zonnig en warm weer. In april werden zelfs enkele zomerse dagen genoteerd en in het geheel genomen was het een warme en zonnige maand. Het valt te verwachten dat dit weertype een grote voorjaarsbloei tot gevolg heeft gehad. Mei was daarentegen een koude en sombere maand, hetgeen een hoge primaire productie niet begunstigt, temeer daar moet worden aangenomen dat de voorjaarsbloei reeds achter de rug was.

De situatie in augustus 1968 was van geheel andere aard. Voor een saliniteit van 34‰ was de potentiele primaire productie gemiddeld gelijk aan dit van mei 1968, maar bij 33‰ S was het productieniveau augustus 1968 vele malen hoger.

Het tweede verschil met mei 1968 wordt gevormd door een dalend potentiele primaire productie trend in augustus van raai 1 tot raai (figuur 6c). Raai 9 bezit een duidelijk potentiele primaire productie maximum. In mei 1968 was de potentiele primaire productie op de raaien 4, 5 en 6 minimaal. Per zoutgehalte waren de concentraties-verschillen van nitraat in mei 1968 gering. In augustus 1968 is deze situatie ook sterk gewijzigd. Slechts op een plaats, samenvallend met een relatief potentiele primaire productie minimum in alle beschouwde zoutgehalten, werd een nitraatgehalte van meer dan 1 mugrat/l gemeten. Verder is het opvallend dat de potentiele primaire productie waarden naar het Noorden toe een dalende tendens bezitten, terwijl de nitraat-concentraties juist een tegenovergesteld beeld gegeven. Hier is echter sprake van een sterk fluctuerend patroon. De eerste 5 raaien bezitten bij een saliniteit van 34‰ geen aantoonbare hoeveelheden nitraat. Alleen raai 5, samenvallend met een potentiele primaire productie maximum, bezit een gehalte van 0,15 mugrat/l.

Uit dit totale beeld mag de conclusie getrokken worden dat voedingstoffen een beperkende factor vormen voor primaire productie in augustus 1968. Een hoge fytoplanktonconcentratie, verantwoordelijk voor het productiemaximum op raai 4, leidt tot een forse stijging van het gehalte aan zwevende stof.

Niet alleen zijn langdurige weersinvloeden van invloed op het niveau van primaire productie, (zie mei 1968), ook kortstondige weersvariaties kunnen het primaire productiepatroon veranderen. Dit werd waargenomen tijdens de novembertocht 1968. Op 13 november werden de eerste waarnemingen verricht. Tijdens de voorafgaande 5 dagen hadden sterk oostelijke winden gewaaid, met windsnelheden van meer dan 10 m sec (K.N.M.I. maandelijkse overzichten van de weersgesteldheid).

Vrijdag 15 november waren de weersomstandigheden, door een stormachtige wind, zo slecht dat de vaartocht tot na het weekend werd afgelast. Op de terugreis werd onder deze omstandigheden raai 3 gemeten. Dat op deze hoge concentraties zwevend materiaal werden gevonden, is niet verbazingwekkend. De potentiele primaire productie was hier zeer laag bij alle gemeten zoutgehaltes. Hier hebben speciale omstandigheden een rol gespeeld, hetgeen tot uiting komt in het grote verval van zoutgehalte en temperatuur op raai 4 (TIJSSEN, 1969).

Bij de beschrijving van de potentiele primaire productie kaarten (figuur 4), is een bepaalde overeenkomst tussen potentiele primaire productie en de nitraat- fosfaatverdeling geconstateerd. Uit de diagrammen in figuur 6 blijkt echter, dat er bij hoge zoutgehaltes geen duidelijk verband bestaat.

Het hoogste potentiele primaire productie gemiddelde werd gevonden bij een zoutgehalte van 31‰ en niet bij een lager zoutgehalte, zoals dat bij vorige tochten steeds het geval was. Een andere indicatie van weinig productief kustwater vormt het zoutgehalte van het station met de hoogste potentiele primaire productie (34‰ S).

Op de potentiele primaire productiekaart van november 1968 (figuur 4c), kwam plaatselijk de afname van potentiele primaire productie vlak aan de kust bij Bergen aan Zee en IJmuiden tot uiting. De langdurige en sterk oostewind zijn waarschijnlijk de oorzaak van deze opvallende minima.

Ten noorden van deze minima neemt de potentiele primaire productie weer toe.

Een duidelijk verband tussen potentiele primaire productie en het nitraatgehalte is niet aanwezig. Wel valt het absolute nitraat minimum samen met een potentiele primaire productie maximum. De potentiele

primaire productie is hier eveneens groter dan de productie bij lage zoutgehaltes op deze raai.

Het tijdens andere tochten steeds voorkomende potentiele primaire productie maximum ten NW van Den Helder was in deze maand niet aanwezig. De verklaring hiervoor moet ook weer gezocht worden in de toen heersende weersomstandigheden. Ook op de kaarten van TIJSSEN (1969) van deze tocht is te zien dat de posities van alle maxima en minima ten opzichte van deze posities tijdens de voorafgaande tochten in zuidelijke richting verschoven zijn.

In februari 1969 is de gemiddelde potentiele primaire productie bij 34‰ S hoger dan in de andere zoutgehaltes (fig. 6d). De variaties in potentiele primaire productie binnen een bepaald zoutgehalte zijn klein. Er is een tendens van dalende potentiele primaire productie in noordelijk richting, de nitraatgehaltes vertonen het omgekeerde beeld. Er bestaat tussen deze twee factoren geen verband dat duidt op productie beperkende omstandigheden. In de hogere zoutgehaltes blijkt geen groot verschil te bestaan tussen november en februari potentiele primaire productie. Het grote verschil in nitraat gehalte moet worden toegeschreven aan de, aan februari voorafgaande periode van zeer lage primaire productie.

Het grootste verschil in potentiele primaire productie met de andere tochten wordt gevormd door de potentiele primaire productie bij lage zoutgehaltes, waar in de meeste maanden, de hoogste waarden worden gevonden. In februari werd gemiddeld het laagste potentiele primaire productie niveau bereikt bij een zoutgehalte van 31‰.

Tussen het verloop van maximale potentiele primaire productie in het zoute water en de zuurstofverdeling gemeten door TIJSSEN, (1969) is een treffende overeenkomst.

Er lijkt een verband te bestaan tussen de hoge potentiele primaire productie in het Rijn-Schelde gebied en de hoge potentiele primaire productie strook in relatief zout water. Het bekend dat er een aanpassing van zoete en zoutwaterspecies optreedt in het estuarium-gebied (KÜHL & MANN 1968).

Het is aannemelijk dat de aanpassing in de winter langzamer geschiedt dan in de zomer. In verhouding tot noordelijker gelegen zoetwaterafwateringskanalen, zijn de omstandigheden in het Zweeuwse gebied veel gunstiger, door een veel langere verblijftijd van het water.

Wanneer wordt aangenomen dat de stand van potentiele primaire productie in het oceanische water zeer laag is, zoals in het meest westelijke gedeelte van het onderzochte zeegebied ook te zien is (figuur 4c), kan men veronderstellen dat een zeer kleine bijmenging van Rijn-Scheldewater een grote invloed heeft op het productieniveau. De omstandigheden voor primaire productie zijn in dit water gunstig, omdat er voldoende voedingstoffen aanwezig zijn en de temperatuur iets hoger is dan in het zoetere water. De beperkende factor zal hier dan ook gevormd worden door onstabiliteit van de waterkolom. Door de relatief slechte lichtomstandigheden kan een effectief gebruik hiervan sterk verhoogd worden door een stabiele waterkolom. De stabiliteit kan vlak aan de kust iets groter zijn door zoeter oppervlaktewater. Dit moet dus ook de oorzaak zijn voor de iets hogere potentiele primaire productie dicht bij de kust.

VII. Literatuur

ANDERSON, D.H., & R.J. ROBINSON, 1946. Rapid electrometic determination of alkalinity of sea water, using a glass-electrode. Industr. Engng. (Anal). 18: 767.

ATKINS, W.R.G., 1926. The posphate content of sea water in relation to the growth of the algal plankton. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 14: 447.

ATKINS, W.R.G., P.J. JENKINS, & F.J. WARREN, 1954. The suspended matter in sea water and its seasonal changes as affecting the usual range of the Secchi disc. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 33: 497.

BARNES, H. Apparatus and Methods of Oceanography. George Allen and Unwin Ltd. London.

BARNETT, A.M. & J. HIROTA, 1967. Changes in the apparent rate of C^{14} uptake with length of the incubation period in natural phytoplankton populations. Limnol. Oceanogr. 12 (2): 349.

BATES, R.G., 1965. Determination of pH. John Wiley and Sons, Inc., New York.

BEINTEMA, A., 1968. Nitraat en nitriet voor de Nederlandse kust. Intern. verslag NIOZ.

BUCH, K., 1961. Das Kohlensaüre Gleichgewichtssystem in Meereswasser Merentutkimuslait. Julk. No. 151.

COOPER, L.H.N., 1933. Chemical constituants of biological importanc in the English Channel, November 1930, January 1932. J. Mar. Biol. Ass. 18: 677.

CUSHING, D.H., 1957a. Some experiments using the C^{14} technique. Paper presented at a symposium of the Intern. Council for the Exploration of the Sea. Preprint C/No. 11.

———, 1957b. Production of carbon in the Sea. Nature 179: 876.

DOTY, M.S. & M. OGURI, 1957. Evidence for a photosynthetic daily periodicity. Limnol. Oceanogr. 2 (1): 37.

EPPLEY, R.W. & M. SLOAN, 1965. Carbon balance experiments with mari phytoplankton. J. Fish. Res. Bd. 22 (4): 1083.

FOGG, G.E., NALEWAJKO, CZESL & W.D. WATT, 1965. Extracellular products of phytoplankton photosynthesis. Proc. R. Soc. Lond. B. Vol. 162: 517.

GAARDER, T. & H.H. GRAN, 1927. Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. Rapp. P.v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer 42 (3):.

GOLDMAN, R.C., 1968. The use of absolute activity for eliminating serious errors in the measurement of primary productivity with C^{14}. J. Cons. perm. int. Explor. Mer 32 (2): 172.

HARRIS, E., 1959. The nitrogen cycle in Long Island Sound. Bull. Bingh. Oceanogr. Coll. 17 (1): 31.

HARVEY, R.W., 1945. Recent advances in the chemistry and biology of sea water. Cambridge Un. Press.

———, 1957. Chemistry and Fertility of Sea Water. Cambridge University Press.

HENDLER, R.W., 1959. Self absorption correction for carbon- C^{14}. Science, 130: 772.

HENRIQUES Jr., F.C., G.B. KISTIAKOWSKY, C. MARGNETTI & W.G. SCHN[illegible] 1946. Analytical Procedure for measurement of long lived radioactive sulphur S^{35} with a Lauritzen electroscope and a comparision of electroscope with a special Geiger counte Ind. Engng Chem. (Anal). 18: 349.

JITTS, H.R. & B.D. SCOTT, 1961. The determination of zerothickness activity in Geiger counting of C^{14} solutions used in marin production studies. Limnol. Oceanogr. 6: 116.

K.N.M.I. Maandelijkse overzichten van de weersgesteldheid.

KORRINGA, P., 1968. Biological consequences of marine pollution wit special reference to the North Sea Fisheries. Helgoländer Wiss. Meeresunters. 17:.

KÜHL, H. & H. MANN, 1968. Vergleichende Untersuchungen über Hydrochemie und Plankton deutscher Fluszmündungen.

Helgoländer Wiss. Meeresuntors. 17: 435.

LIBBY, W.F., 1947. Measurements of radioactive tracers. Anal. Chem. 19: 2.

LYMAN, J., 1956. Buffer mechanism of sea water. Ph. D. Thesis Univ. Calif. Los Angelos.

McALLISTER, C.D., 1961a. Observations in the variation of plankton photosynthesis with light intensity using both O_2 and C^{14} methods. Limnol. Oceanogr. 6 (4): 483.

————————, 1961b. Decontamination of filters in the C^{14} method of measuring marine photosynthesis. Limnol. Oceanogr. 4: 447.

McALLISTER, C.D., T.R. PARSONS, K. STEPHENS & J.D.H. STRICKLAND, 1961. Measurements of primary production in coastal sea water using a large volume plastic sphere. Limnol. Oceanogr. 6 (3): 237.

McALLISTER, C.D., N. SHAH, & J.D.H. STRICKLAND 1964. Marine phytoplankton photosynthesis as a function of light intensities. A comparision of methods. J. Fish. Res. Board. 21 (1): 159.

MACIOLEK, A.J., 1963. Pressure-filtration apparatus. Limnol. Oceanogr. 8 (2): 301.

POSTMA, H., 1961. Suspended matter and Secchi disc visibility in coastal waters. Neth. J. Sea Res. 1 (3): 359.

POSTMA, H. & J. ROMMETS, 1970. Primary production in the Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 4: 470.

RABINOWITCH, E. & J.B.G. THOMAS, 1960. Inhibition of photosynthesis in some algae by extreme red light. Science 132: 422.

REDFIELD, A.C., 1934. On the proportions of organic derivates in sea water and their relation to the composition of plankton. James Johnstone Memorial Volume, Liverpool. p. 176.

RILEY, G.A., 1946. Factors controlling phytoplankton population on Georges Bank. J. Mar. Res. 6: 54.

RILEY, G.A. & G. SKIRROW, 1965. Chemical oceanography. J. Wiley & Sons, New York.

RYTHER, J.H., 1956a. Interrelation between photosynthesis and respiration in the marine flagellate Dunaliella euchlora. Nature 178: 861.

————, 1956b. The measurement of primary production. Limnol. Oceanogr. 1: 72.

————, 1956c. Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. Limnol. Oceanogr. 1: 61.

STEELE, J.H., 1956. Plant production on Fladen Ground. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 35: 1.

————, 1957a. A comparision of Plant production estimates usi... C^{14} and phosphate data. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 36: 233.

————, 1957b. Production studies in the northern North Sea. Symp. Int. Counc. for the Explor. of the Sea. Preprint C/No. 15 Bergen 1957.

STEELE, J.H. & I.E. BAIRD, 1961. Relations between primary productic... chlorophyll and particulate carbon. Limnol. Oceanogr. 6 (1): 68.

STEEMANN NIELSEN, E., 1952. The use of radioactive carbon for measuring organic production in the sea. J. Cons. perm. Int. Explor. Mer 18: 117.

————————, 1953. Carbon diox de concentration, respiration during photosynthesis and maximum quantum yield of photosynthesis. Physiol. Plantarum. 6: 316.

————————, 1955. The interaction of photosynthesis and respiration and its importance for the discrimination in photosynthesis. Physiol. Plantarum. 8: 945.

————————, 1957. Experimental methods for measuring organic production in the sea. Symp. Int. Coun. for the Explor. of the Sea. Bergen 1957. Preprint B/No. 1.

————————, 1964a. Recent advances in measuring and understan... ing marine primary production. J. of Ecology 52 (Suppl.) 1...

————————, 1964b. On a complication in marine production wo...

due to the influence of U.V. light. J. Cons. perm. int. Explor. Mer 24 (2): 19.

————————————, 1964c. Investigations of the rate of primary production at two Danish light ships in the transition area between the North Sea and the Baltic. Medd. Komm. Danm. Fisk Havunders. 4 (3): 31.

————————————, 1965. On the determination of the activity in C^{14} ampoules for measuring primary production. Limnol. Oceanogr. 10 (Suppl.): 247.

STEEMANN NIELSEN, E. & V.Kr. HANSEN, 1959. Light adaption in marine phytoplankton populations and its interrelation with temperature. Physiol. Plantarum. 12: 353.

————————————, 1961. Influence of surface illumination on plankton photosynthesis in Danish Waters (56N) throughout the year. Physiol. Plantarum 14: 595.

STEEMANN NIELSEN, E. & A. JENSEN, 1957. Primary oceanic production. Galathea Report. 1: 19.

STRICKLAND, J.D.H., 1060. Measuring the production of marine phytoplankton. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. No. 122.

STRICKLAND, J.D.H. & T.R. PARSONS, 1965. A manual of Sea Water analyses. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. No. 125.

THOMAS, W.H., 1964. An experimental evaluation of the C^{14} method for measuring phytoplankton production, using cultures of Dunaliella primolecta Butcher. Fishery Bull. Fish Wildl. Serv. U.S.

TIJSSEN, S.B., 1969. Hydrografical and chemical observations in the Southern Bight, February, May, August and November 1968. Annal. Biol. 25: 51.

VACCARO, R.F. & J.H. RYTHER, 1954. A comparison of the O_2 and C^{14} methods of measuring marine photosynthesis. J. Cons. Perm. int. Explor. Mer 20: 25.

VISSER, M.P., 1969. On the light regime of the southern North Sea. Int. Coun. for the Explor. of the Sea, C.M. 1969 No. C_2.

YENTSCH, C.S. & J.H. RYTHER, 1957. Short time variations in phytoplankton chlorophyll and their significance. Limnol. Oceanogr. 2: 140.

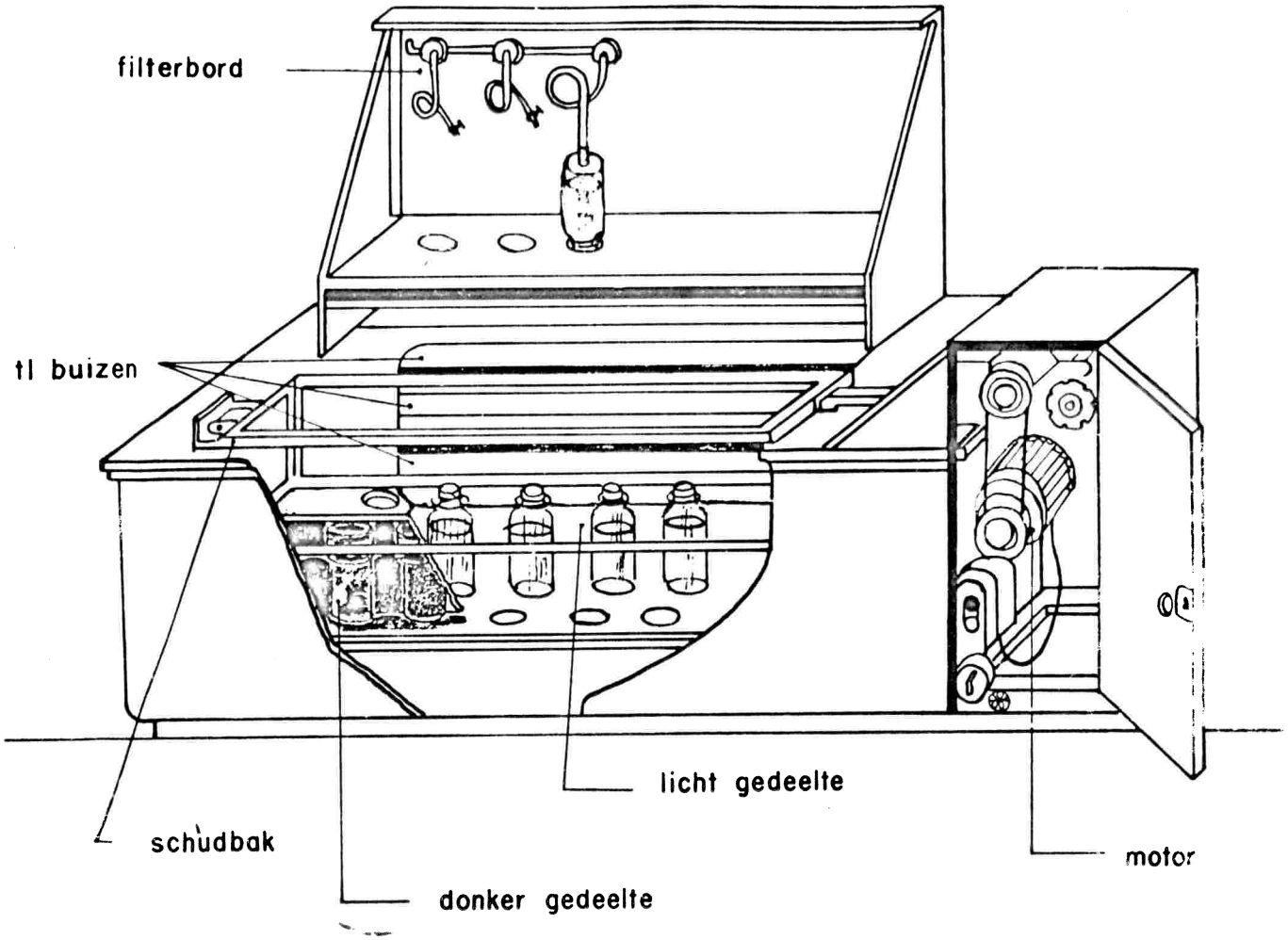

fig. 1

filterdop

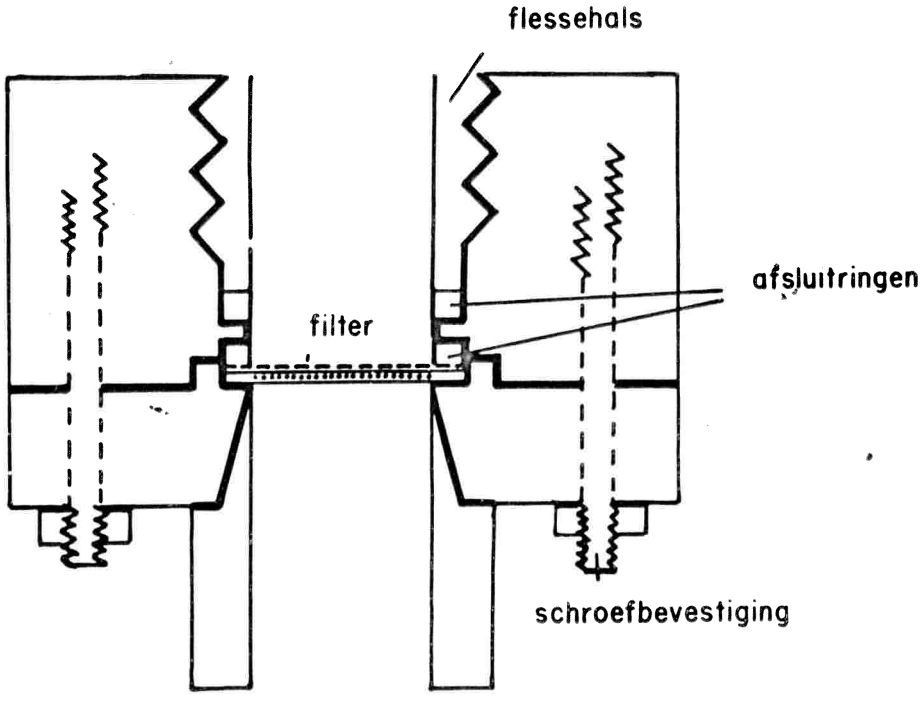

fig. 2

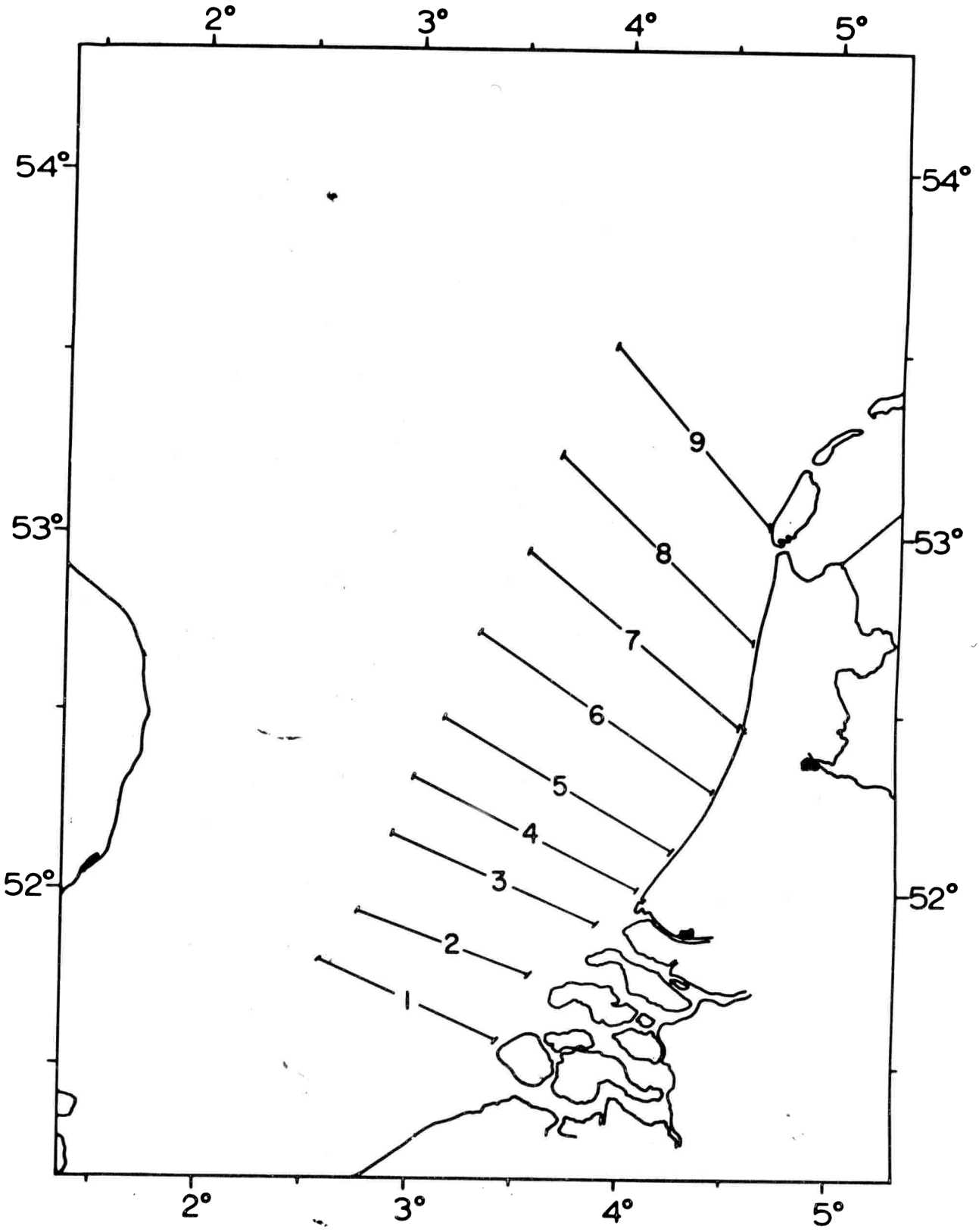

Fig. 3

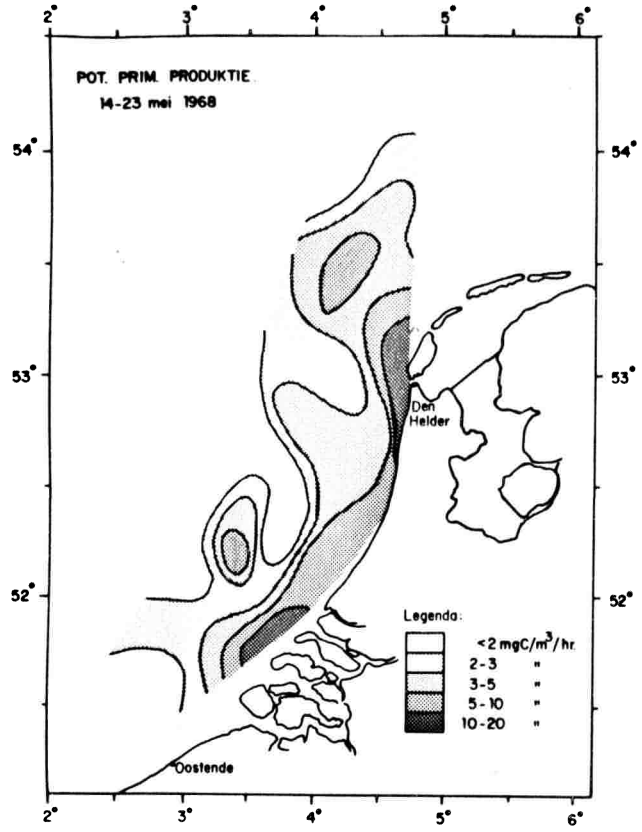

Fig. 4a

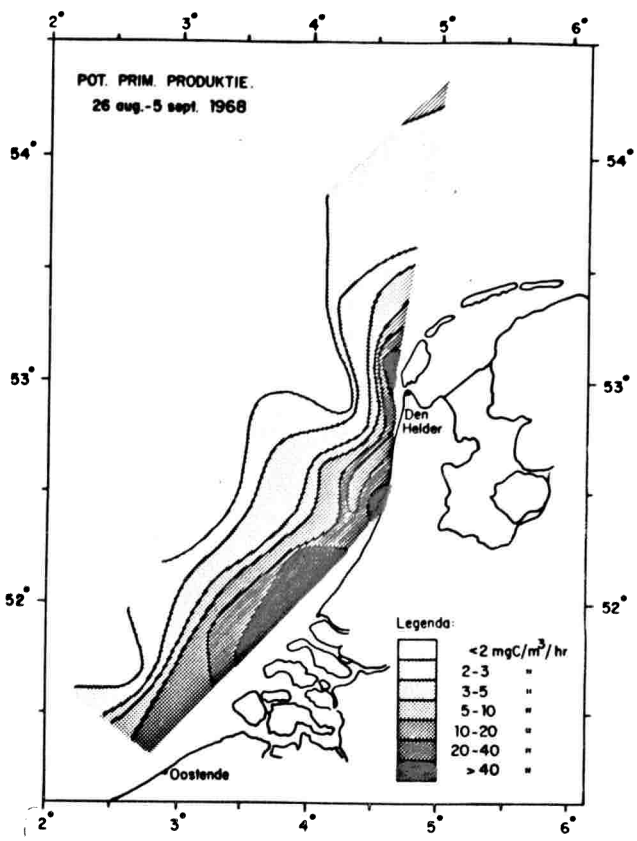

Fig. 4b

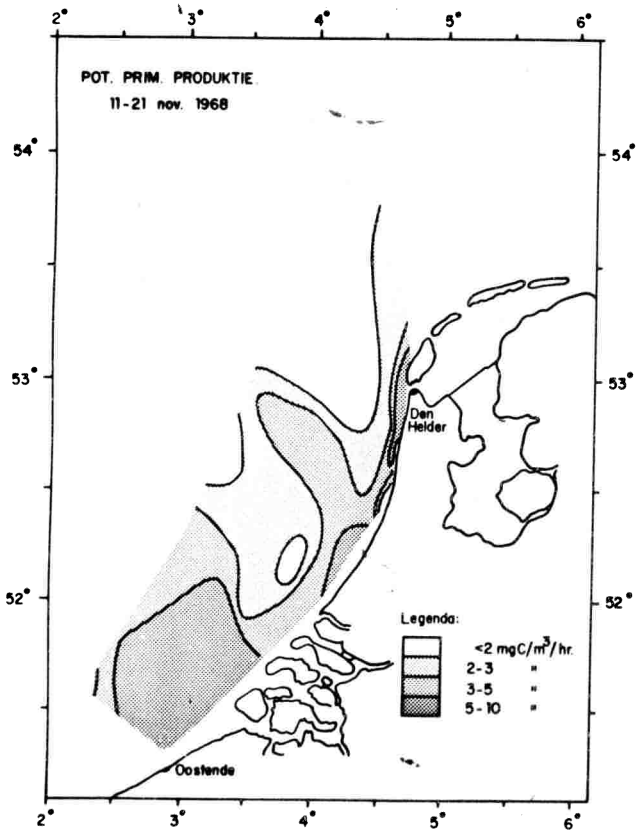

Fig. 4c

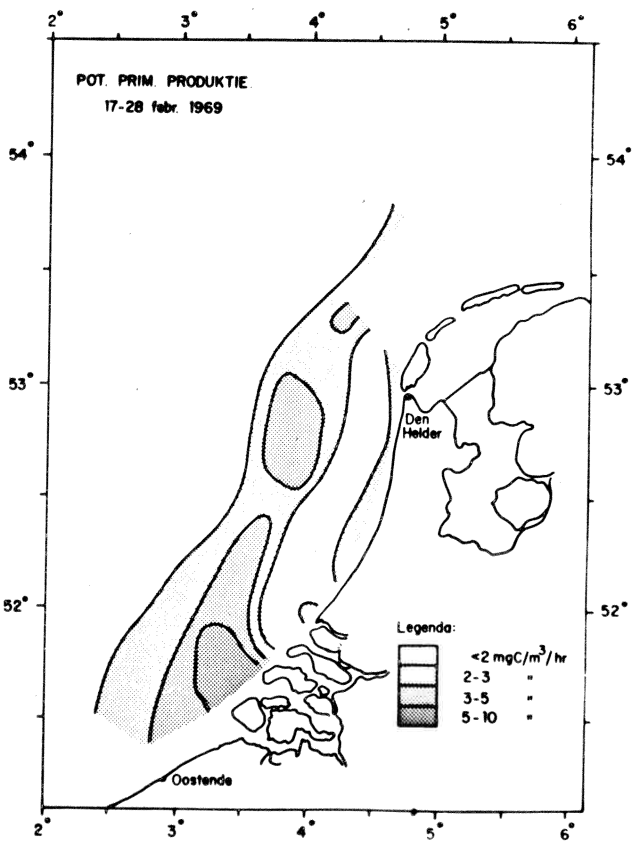

Fig. 4d

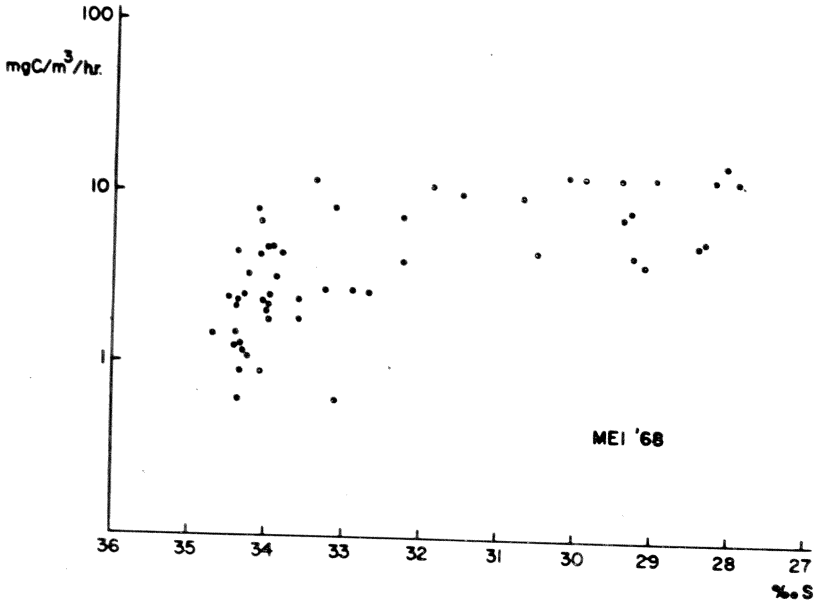

Fig. 5 a

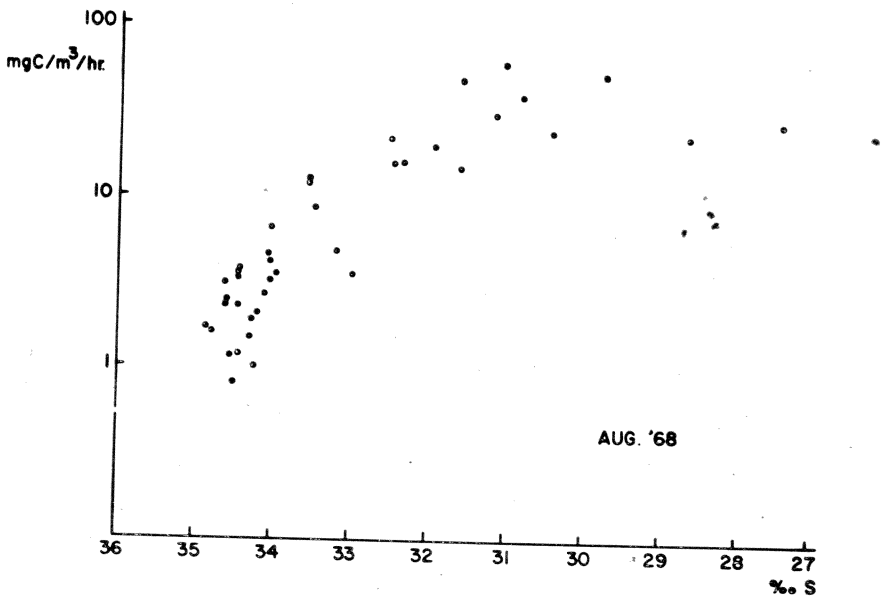

Fig. 5 b

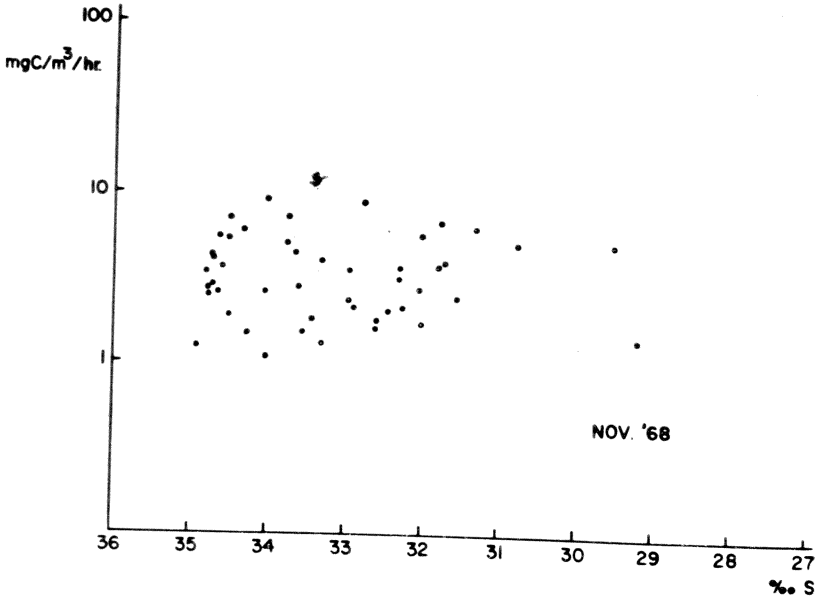

Fig. 5 c

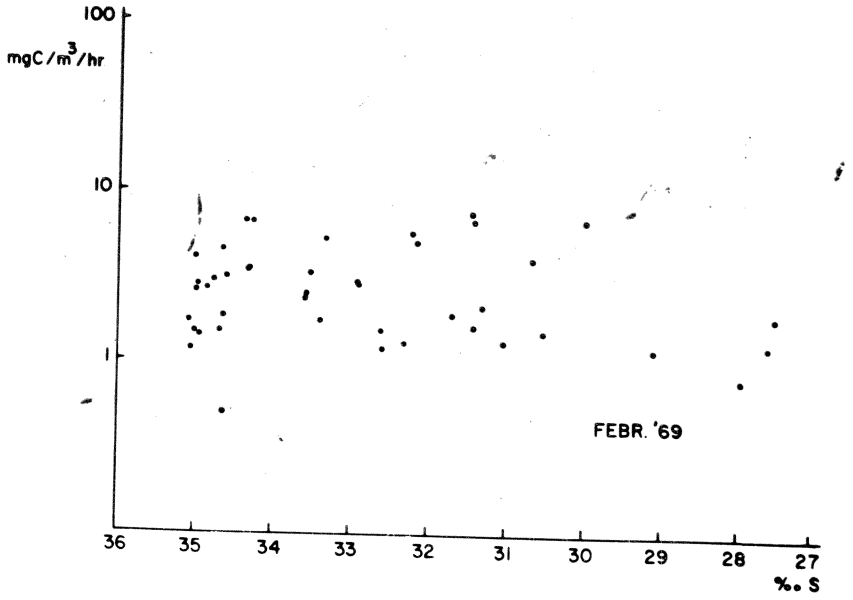

Fig. 5 d

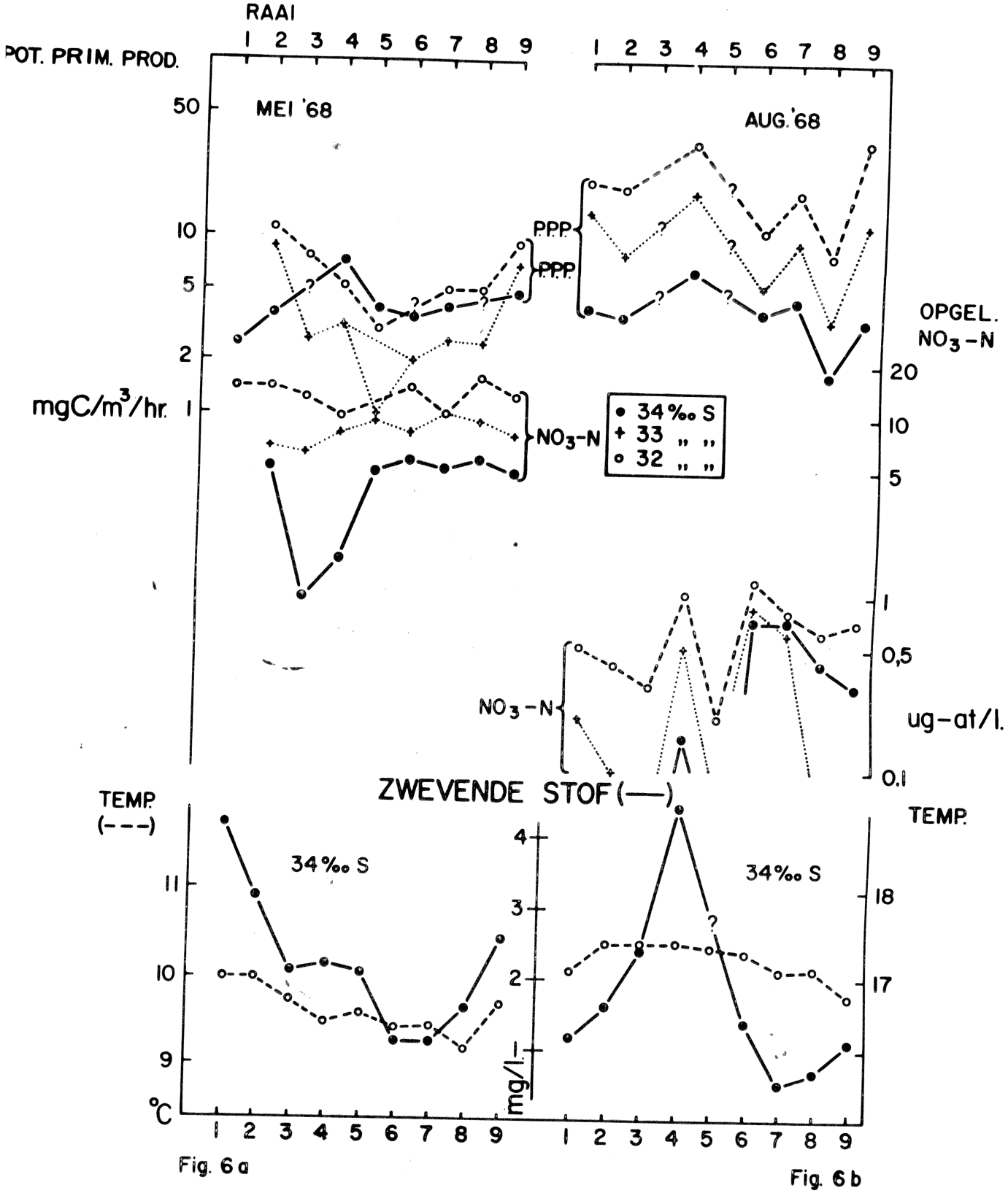
RAAI
1 2 3 4 5 6 7 8 9
POT. PRIM. PROD.
MEI '68
AUG. '68
50
10
5
2
1
mgC/m³/hr.
PPP
PPP
NO3-N
• 34‰ S
+ 33 „ „
○ 32 „ „
OPGEL. NO3-N
20
10
5
1
0,5
0.1
ug-at/l.
NO3-N
ZWEVENDE STOF (——)
TEMP. (---)
TEMP.
34‰ S
34‰ S
11
10
9
°C
4
3
2
mg/l.
18
17

Fig. 6a

Fig. 6b

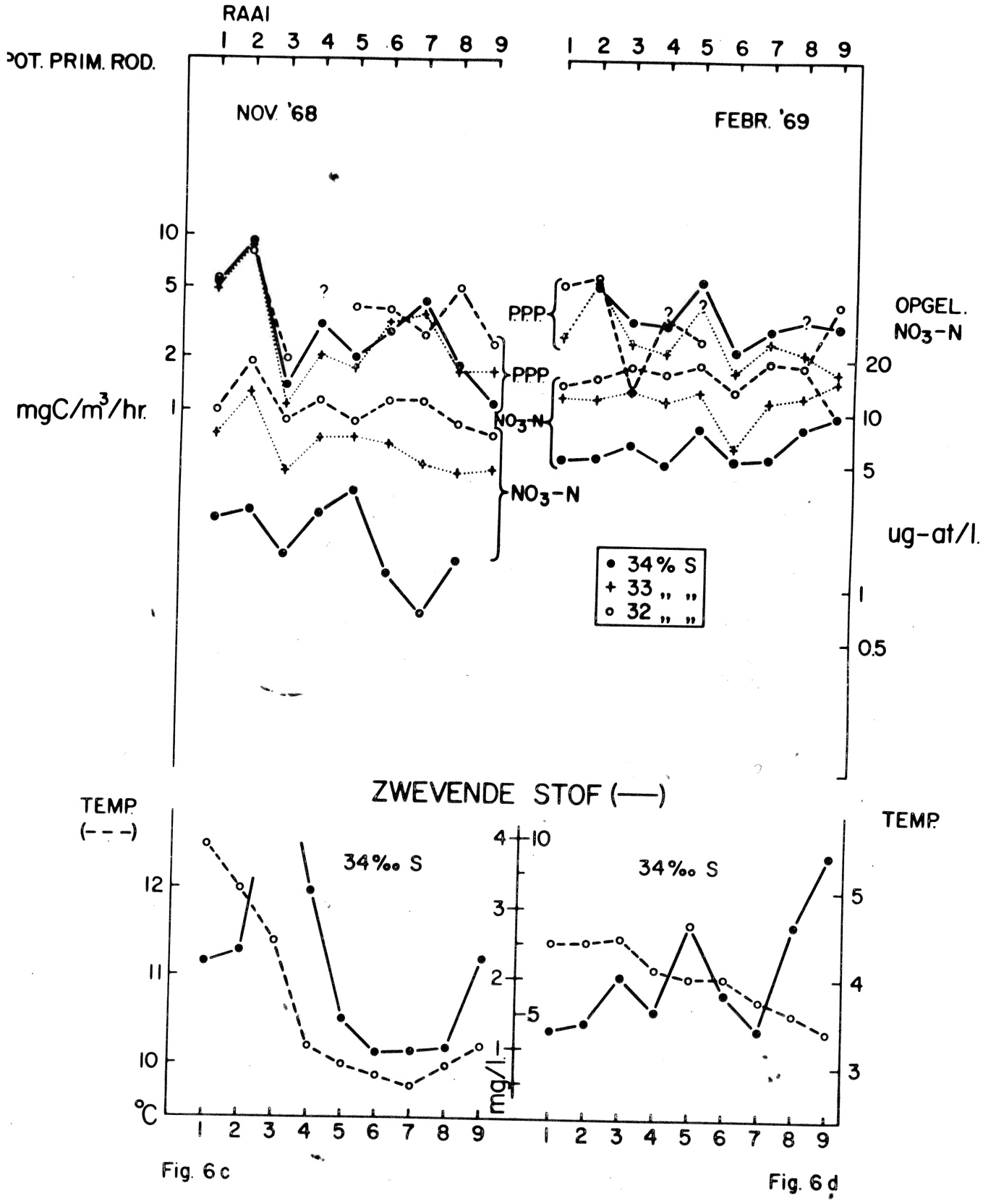
RAAI
1 2 3 4 5 6 7 8 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9
POT. PRIM. ROD.
NOV. '68
FEBR. '69
10
5
2
1
mgC/m³/hr.
PPP
PPP
NO3-N
NO3-N
OPGEL. NO3-N
20
10
5
1
0.5
ug-at/l.
• 34 % S
+ 33 „ „
○ 32 „ „
ZWEVENDE STOF (——)
TEMP (- - -)
TEMP
34‰ S
34‰ S
12
11
10
°C
4
3
2
1
mg/l
10
5
4
3
1 2 3 4 5 6 7 8 9
1 2 3 4 5 6 7 8 9

Fig. 6c

Fig. 6d

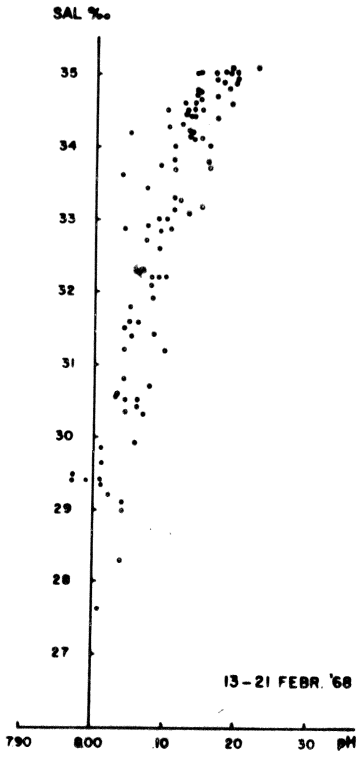

Fig. 7 a

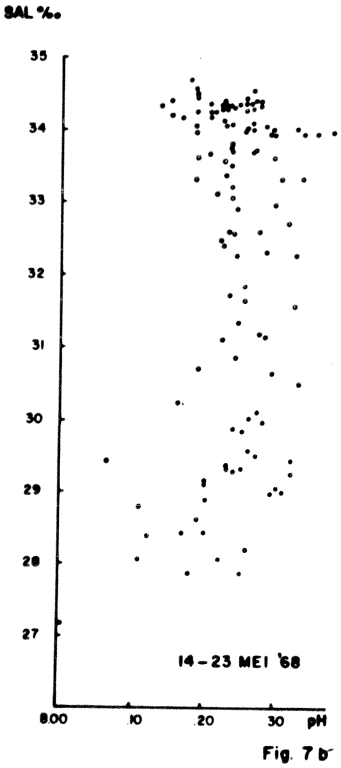

Fig. 7 b

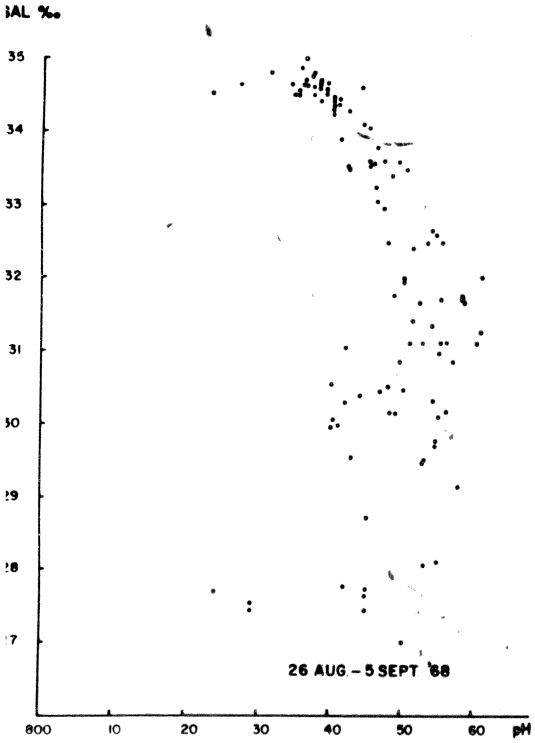

Fig. 7 c

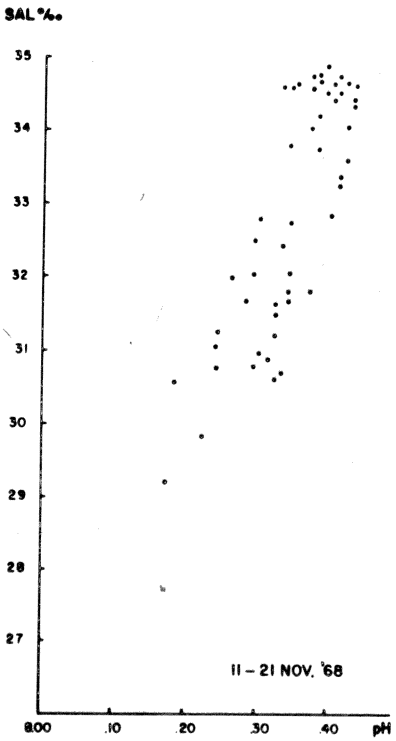

Fig. 7 d

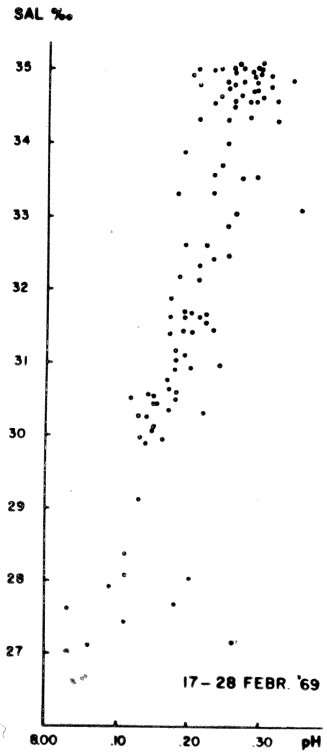

Fig. 7 e

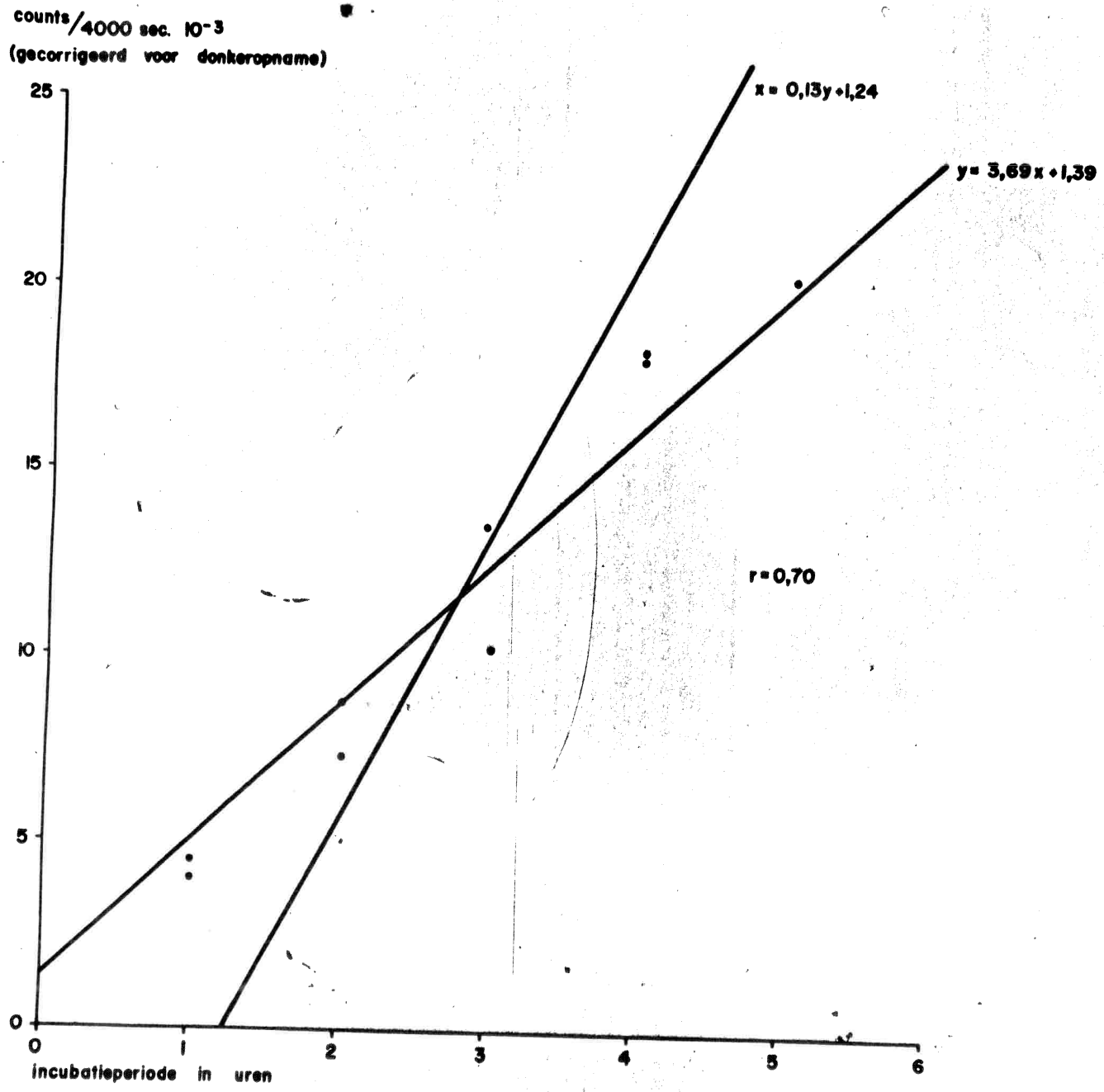
counts/4000 sec. 10⁻³
(gecorrigeerd voor donkeropname)
25
20
15
10
5
0
0
1
2
3
4
5
6
incubatieperiode in uren
x = 0,13y + 1,24
y = 3,69x + 1,39
r = 0,70

Fig. 8