

Resultaten van een hydrografisch onderzoek
in de Waddenzee benoorden de Groningse kust
in april en september 1968

door

H.G.J. Schröder

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN:

nummer 1970-9

Resultaten van een hydrografisch onderzoek
in de Waddenzee benoorden de Groningse kust
in april en september 1968

door

H.G.J. Schröder

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN:

nummer 1970-9

Rechten voorbehouden

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

Resultaten van een hydrografisch onderzoek
in de Waddenzee benoorden de Groningse kust
in april en september 1968

door

H.G.J. Schröder

Intern verslag
over
werkzaamheden verricht als doctorale studie
in het tijdvak februari-november 1968
aan

NIOZ te Den Helder

voor

Prof. Dr. H. Postma en

Drs. K. Essink

November 1969

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN:

nummer 1970-9

Resultaten van een hydrografisch onderzoek in de Waddenzee
benoorden de Groningse kust in april en september 1968

door

H.G.J. Schröder

(Intern verslag)

Inhoud:

I. Summary	1
II. Inleiding	1
III. Methoden	4
a. Het vaarplan	4
b. De monstername	4
c. De analyses	5
IV. Resultaten	6
V. Discussie	6
a. De temperatuur	6
b. Het zoutgehalte	11
c. Het verband tussen temperatuur en zoutgehalte	18
d. De troebelheid	20
e. Het zuurstofgehalte	22
f. De fosforverbindingen	25
g. De fluorescentie	36
VI. Literatuur	42

I. Summary

Results of hydrographical research in the Wadden Sea north of the Groningen coast in April and September 1968.

II. Inleiding

Over de Nederlandse Waddenzee is in hydrografisch opzicht al vrij veel bekend. Het betreft dan echter veelal gegevens die betrekking hebben op de Waddenzee ten westen van Ameland. Het deel ten oosten van Ameland is tot nu toe, het Eems-estuarium uitgezonderd, relatief slecht onderzocht. Dit is waarschijnlijk grotendeels te wijten aan het feit dat dit gebied zo moeilijk toegankelijk is vanwege zijn geringe diepte. Een eerste vereiste voor hydrografisch onderzoek in dit gebied is dan ook een redelijk snel onderzoekingsvaartuig met een zo gering mogelijke diepgang. Aan de andere kant is een ondiep gebied voor biologisch onderzoek, vooral van bodem-flora en fauna van het Wad, juist uitermate geschikt. Daarom is het biologisch onderzoek in dergelijke ondiepe gebieden ook vrij intensief (bijvoorbeeld op het Wad bij Schiermonnikoog). Het leek daarom in het kader van een onderzoek naar de gevolgen van lozing van ongezuiverd afvalwater op de Waddenzee wenselijk om behalve onderzoek op biologisch gebied ook iets meer te weten te komen over de hydrografie van dit deel van de Waddenzee. Dit onderzoek moet dan ook als een bijdrage tot dit afvalwater-onderzoek gezien worden, met dien verstande dat het een indruk wil geven van de hydro-chemische situatie zoals die in dat gebied was vóórdat er afvalwater geloosd werd.

Het onderzochte gebied strekt zich uit van de Groningse kust in

het zuiden en de Wester-Eems in het Oosten tot de eilanden Rottumeroog Rottumerplaat en Simonszand in het noorden en het wantij tussen Simonszand en de Groningse kust, het z.g. Hornhuizerwad, in het westen. Dit gebied zal in het vervolg vermeld worden als de oostelijke Waddenzee of de Waddenzee bij de Groningse kust.

De belangrijkste geulen in dit gebied zijn:

- 1) ten westen van Rottumerplaat de Lauwers, overgaande naar het westen in de Spruit en naar het oosten in de Zuid-Oost-Lauwers.
- 2) tussen Rottumerplaat en Rottumeroog de West- en Oost-Schild, later samengaan in het Pinkstergat. (de West-Schild is verder nog via het Boschwad en het Boschgat met de Lauwers verbonden).
- 3) ten oosten van Rottumeroog tenslotte de Wester-Eems met als zijgeulen in westelijke richting het Sparregat en het Ra (of Eemswadje). Deze laatstgenoemde geul (Ra) heeft over het wantij verbinding met de Zuid-Oost Lauwers.

Een overzichtskaart van dit gebied is gegeven in Fig. 1. Deze figuur is een fotokopie van de kaart van het Eems-estuarium van Rijkswaterstaat met een schaal 1:100.000. Verder wordt ook nog gewezen naar de zeekaart nr. 1460- "Monden van de Eems" van de hydrografische dienst te Den Haag en naar een fraaie foto van het onderzochte gebied in het Waddenboek (uitgave van de Nederlandse Geologische Vereniging)

De aanvoer van zoet water in het gebied vindt voornamelijk plaats via de Wester-Eems uit de rivier de Eems en uit het Eemskanaal te Delfzijl. Bovendien wordt er bij voldoende hoge waterstand ook nog zoet water geloosd via de spuisluizen te Noordpolderzijl. De aanvoer van zoet water is sterk afhankelijk van de hoeveelheid regen die in de voorafgaande periode gevallen is.

Veel dank ben ik verschuldigd aan degenen die mij met woord en daad

bij mijn onderzoek bijgestaan hebben: Prof. Dr. H. Postma, Drs. S.B. Tijssen, Drs. K. Essink, G.J. v.d. Hoek, M.W. Manuels, J.H. Oversluizen, mej. E.E. Welling en de bemanning van het M.S. Jafanka.

III. Methodes

a. Het vaarplan

Over het te onderzoeken gebied werd een lijnen-stelsel uitgezet met een onderlinge lijnafstand van 2 kilometer. De snijpunten van dit lijnenstelsel werden de te bemonsteren punten, met dien verstande dat de snijpunten, die zelfs bij H.W. niet met een boot te bereiken waren indien mogelijk naar de dichtsbij gelegen geul verplaats werden. Was dit niet goed mogelijk dan werd het punt weggelaten.

De positie van de monster- of waarnemingspunten werd in het veld, bij gebrek aan Decca apparatuur, aan de hand van de betonnenning bepaald (zeekaart nr. 1460).

b. De monsternamen

Tijdens de vaartochten werden de volgende werkzaamheden aan boord verricht:

1. Een Nansen-waterschepper werd met behulp van een lier, waaraan een meterwiel zat, op de gewenste diepte gebracht. De diepte werd in april meestal aan de hand van de zeekaart of door peiling met een peilstok of zwaar gewicht bepaald. Bij de tocht in september werd de diepte met behulp van een echolood bepaald. Na 5 minuten in het water gehangen te hebben werd de waterschepper door middel van een valgewicht gekanteld en opgehaald.
2. Direct hierna werd water uit de waterschepper via een rubber slangetje in de zuurstofflesjes getapt. De uiteindelijke zuurstof-

bepaling geschiedde in het laboratorium. Aan boord werd er door middel van een voorbehandeling voor gezorgd dat de zuurstof in een neerslagvorm gebonden werd volgens de Winkler-methode.

3. De temperatuurmetingen werden op de tocht van april met behulp van een Kantelthermometer (zittend in een houder aan de Nansenwaterschepper) gemeten. De temperatuur is met deze kantelthermometers tot op honderdsten graden Celcius nauwkeurig te bepalen. Tijdens de vaartocht van september geschiedde de temperatuurmetingen met een oppervlaktethermometer in een metalen houder. Deze was tot op tienden graden Celcius nauwkeurig af te lezen.
4. Voor de bodenmonsters (dit zijn watermonsters genomen ca. 1 meter boven de bodem) werd een literfles, bestemd voor saliniteits- en fluorescentiebepalingen, gevuld uit de Nansen-waterschepper. Voor de oppervlakte-monsters (dit zijn watermonsters genomen net beneden het wateroppervlak) werd deze literfles gevuld met water dat met behulp van een puts geschept was.
5. Met behulp van een waterschepper of een puts werd water opgehaald en in een liter beugelfles gedaan voor fosfaatbepalingen.
6. Secchi-schijfmetingen werden verricht ter bepaling van de troebelheid van het water.

c. De analyses

De volgende grootheden werden gemeten:

1. De temperatuur van het water.
2. De troebelheid van het water.
3. De saliniteit van het water (conductometrisch).
4. De zuurstof-concentratie (volgens Winkler); hieruit werd het zuurstof-verzadigingspercentage van de watermonsters berekend.

5. De concentratie aan opgeloste fosfaten en opgelost organische fosfor. (volgens Murphy en Riley).
6. De flourescentie bij 400 en bij 463 m (volgens Kalle; zie Nienhuis, 1967).

IV. Resultaten

De gemeten hydrografische grootheden staan voor april in Tabel I en voor september in Tabel II.

De gegevens uit de Tabellen I en II zijn in kaart gebracht op zee-kaarten en op deze kaarten zijn de bijbehorende isolijnen ingetekend. Kopieën van deze kaarten (op sterk verkleinde schaal) bevinden zich als bijlage bij dit verslag (Figs. 1 - 18). Bij de nu volgende resultaten-beschrijving van deze factoren zal hier meermalen naar verwezen worden.

V. Discussie

a. De Temperatuur (Figs. 1 en 2).

1. April: de laagste watertemperaturen ($10-11^{\circ}$ C) komen in de Eems voor en de hoogste bij de stations 15 en 22 tot en met 26. Hierbij dient echter voor nr. 15 opgemerkt te worden dat bij dit station het oppervlaktewater een temperatuur van 14.65° C bezit en het bodemwater een temperatuur van $13,64^{\circ}$ C. Aangezien dit station ongeveer $2\frac{1}{2}$ uur na HW bemonsterd is en het niet erg ver van een ondiepe bank verwijderd ligt, is het waarschijnlijk, dat het oppervlaktewater de ochtend tijdens HW bijna stil gestaan heeft op de bank, en daar door de zon verwarmd is.

POSTMA (1950) en POSTMA en VERWEY (1950) vonden in de

Westelijke Waddenzee soms ook een aanzienlijk temperatuursverschil op tussen oppervlaktewater en bodemwater en zij verklaren dit als volgt. Het water, dat omstreeks het moment van HW vanuit de geulen de banken opstroomt, waar de stroomsnelheid snel gereduceerd wordt vanwege de hoge wrijving, komt op deze banken tot stilstand, na enige keert dan de stroomrichting van dit water om, zodat het terug gaat stromen naar de geul. Intussen echter is het water in de geul nog geruime tijd doorgestroomd vanwege zijn grote traagheid, waarbij op het punt van waarneming dus nog steeds water in de geul stroomopwaarts stroomt, dat een lagere temperatuur (tenminste in de lente) en een hogere saliniteit bezit dan het van de banken terugstromende water. Op de rand van de geul ontstaat daardoor een zoutgehalte en een temperatuur-contrast. Dit zal groter zijn naarmate het na-ijlverschijnsel tussen bank en geul groter is. Als het water nu van de bank afvloeit naar de geul en geleidelijk aan ook in deze de ebstroom gaat lopen, schuift de stroomnaad (dit is de grens tussen het water met hoge temperatuur en lage saliniteit op de bank en het water met een lage temperatuur en een hoge saliniteit in de geulen) van de bankrand af de geul in en hierdoor zeewaarts (vaak schuift het water van de bank dan over dat van de geul heen; het eerste heeft immers een lagere saliniteit dan het water in de geul). Menging kan dan optreden tussen oppervlaktewater en bodemwater, afhankelijk van de diepte van de geul en de stroomsterkte. De uiteindelijke temperatuur van het gemengde water zal afhangen van het temperatuurverschil en natuurlijk ook van de volume-verhouding van de bij menging betrokken watermassa's. Zo kan zijn dat het water de Oostelijke Waddenzee na de menging bij eb de temperatuur van het water, dat op de banken gestaan heeft, dichter

benadert dan het water in de Westelijke Waddenzee dat doet: 1. omdat de volumeverhouding in de Oostelijke Waddenzee iets meer verschoven kan zijn naar de kant van de watermassa op de banken, 2. omdat de geringere diepte in de Oostelijke Waddenzee in veel sterkere mate beïnvloed kan worden door zon en luchttemperatuur dan in de Westelijke Waddenzee. Door deze factoren zal de watertemperatuur in de Oostelijke Waddenzee ook sneller dalen in de herfst en stijgen in de lente dan die in de Westelijke Waddenzee. De hoge watertemperatuur van het gebied (stations 22 tot en met 26), op 25-4 tijdens LW of in de buurt daarvan bemonsterd, in de namiddag van een warme, zonnige windstille dag, kan hiermee verklaard worden. Vier dagen later werd in dit gebied (stations 29 tot en met 32), nu tijdens vloed (ca. HW) weer gemonsterd, en wel 's ochtends op een dag met meer wind en een halfbewolkte lucht. De watertemperatuur van deze stations blijkt dan tussen 12,5-13,0° C te liggen, hetgeen veel beter met de watertemperatuur in de andere geulen van de Oostelijke Waddenzee overeenkomt.

De temperatuur van het diepere water, in de Wester-Eems en de Noordzee, volgt de stijging van de luchttemperatuur in het voorjaar veel langzamer dan het water in de Oostelijke Waddenzee zelf. Er ontstaat zodoende in het voorjaar een temperatuurgradient, waarin de watertemperatuur afneemt, als we van de ondiepe en meer stroomopwaarts liggende delen van de Waddenzee en van de geulen gaan naar de diepere en stroomafwaarts gelegen delen. Een dergelijk gradient blijkt ook in de Oostelijke Waddenzee duidelijk aanwezig (zie kaartje van Fig. 1 achterin het verslag). Zulke temperatuurgradienten worden ook veelvuldig in de literatuur vermeld: KÜHL und MANN (1954) vonden voor de Eems van Hubertgat

naar Leer-ort een temperatuurtraject van 8 tot 15° C voor 17-21 april. De stations van KÜHL und MANN in de Eems, die qua ligging te vergelijken zijn met die van dit onderzoek hebben een watertemperatuur van 8-10° C; die van dit onderzoek zijn 10-11° C. Die temperatuurwaarden zijn dus iets (1 tot 2° C) hoger, maar aangezien de zeewatertemperatuur in de Noordzee, zoals blijkt uit de gegevens van het Lichtschip Terschellinger bank, gemakkelijk in één week 1° C kan stijgen, blijken mijn resultaten dus zeer goed met die van KÜHL und MANN overeen te komen.

Ook POSTMA (1954) en DORRESTEIN (1960) vonden respectievelijk voor geulen in Westelijke Waddenzee en voor de Eems een longitudinale watertemperatuurgradient, die in het voorjaar en vroege zomer tegengesteld was aan de gradient die in de herfst en vroege winter optrad.

Vergeleken met de watertemperatuur in het aan de Oostelijke Waddenzee grenzen de deel van de Noordzee (n.l. 7-9° C) heeft de Waddenzee eind april ook beduidend hogere watertemperaturen (n.l. 10,1-14,8° C), hetgeen ook gemakkelijk aan de hand van voornoemde verschijnselen verklaard kan worden.

2. September:

We zien in september dat de ondiepere gedeelten (zoals bij de stations 5, 6, 36 en 37) de laagste watertemperaturen (11,7-13,5° C) bezitten. De andere stations variëren in watertemperatuur van 13,6-14,8° C en vertonen een gelijkmatiger beeld dan in april. Toch is er nog wel een gradient in de watertemperatuur aanwezig, nu omgekeerd verlopend met de gradient in het voorjaar. De temperatuur van het Noordzeewater is in deze tijd ongeveer 15° C.

Nu is de watertemperatuur in de Oostelijke Waddenzee dus lager dan die van het aangrenzende deel van de Noordzee.

Ook POSTMA (1954), DORRESTEIN (1960) en KÜHL und MANN (1954) vonden voor de herfst dat de watertemperatuur, als men vanuit zee in de richting van de kust banken of wantij ging, afnam. KÜHL und MANN (1954) troffen tijdens hun vaartocht van 4-8 oktober op de Eems watertemperaturen aan van 11-15° C. Ook dit komt goed met de resultaten van dit onderzoek overeen. De in september tweemaal bemonsterde stations leverden de volgende verschillen in watertemperatuur op: waarnemingspunt 21: 14,7° C en 14,2° C
 16: 13,8 en 14,4
 4: 13,6 en 14,2

We zien dus een verschil van 0,6° C optreden bij deze 3 stations. Bekijken we de isothermenkaart van september dan valt echter op dat als we bij deze stations in plaats van 14,7, 13,8 en 13,6° C respectievelijk invullen 14,2, 14,4 en 14,2° C de ligging van de isothermen niet of nauwelijks verandert. Vatten we de temperatuurresultaten van de maanden april en september samen dan kunnen we vaststellen, dat de Oostelijke Waddenzee (de Westelijke Waddenzee natuurlijk evenzo) een vrij belangrijke rol speelt bij het opwarmen of afkoelen respectievelijk in het voorjaar en in het najaar van het Noordzeewater. Hier (Oostelijke Waddenzee) kan over een betrekkelijk groot oppervlak een redelijk grote watermassa, wat zijn eigen temperatuur betreft, de heersende luchttemperatuur immers veel sneller op de voet volgen dan het Noordzeewater. Er is een redelijke menging van deze watermassa met het water in de Noordzee onder invloed van het getij.

b. Het zoutgehalte (Figs. 3 en 4)

De saliniteit op een gegeven plaats kan beïnvloed worden door:

1. het getij.
2. de aanvoer van zoet water door rivieren, kanalen en spuisluizen
3. saliniteit van het zeewater, dat bij vloed het estuarium inkomt.
4. neerslag en verdamping.
5. landinwaartse of zeewaartse bewegingen van het water onder invloed van aanhoudende krachtige wind.
6. verticale menging door middel van golfwerking en stromen.
7. variatie in bodemtopografie (te wijten aan natuurlijke oorzaken of kunstmatige als baggeren e.d.).

De hoeveelheid zoet water, die de rivier de Eems afvoert, kan sterk variëren. EGGINK (1965) vond bijvoorbeeld als maandgemiddelde voor de maand april in 1960 een afvoer van $34 \text{ m}^3/\text{sec}$ en voor 1961 bedroeg dit $232 \text{ m}^3/\text{sec}$. EGGINK vond in april dan ook tussen Borkum en Rottumeroog in 1960 een saliniteit van ongeveer 34 ‰, tegen 28 ‰ in 1961. Ook bij de vaartocht van KÜHL und MANN (1954) lagen de waarden van de saliniteit in deze orde van grootte tijdens het voorjaar (27-29 ‰). De hier waargenomen salinitietswaarden in de Wester-Eems (circa 29 ‰) liggen dus tussen deze gegevens in. De zoetwaterafvoer van spuisluizen als die te Noordpolderzijl en Zoutkamp kunnen de saliniteit vooral in hun onmiddellijke nabijheid in vrij sterke mate beïnvloeden.

Neerslag en verdamping spelen een directe (wellicht ondergeschikte) rol op het water in de Waddenzee, maar zij zijn ook van belang door de invloed die zij op het grote achterland van de rivieren en kanalen, die stroomafwaarts in de Waddenzee uitmonden, kunnen hebben. Zij kunnen hierdoor voor een aanzienlijke variatie

zorgen in de zoetwaterafvoer, en dit is voor de saliniteit op een bepaald tijdstip voor een bepaald station in het estuarium van zeer veel belang, aangezien naast de zoetwater aanvoer die op dat moment optreedt, vooral ook de variatie van de zoetwateraanvoer der rivieren in de tijd, aan de monstername voorafgaand, belangrijk is.

Waarschijnlijk was de afvoer van de rivier de Eems en de spuisluizen te Noordpolderzijl in april niet al te groot, aangezien in de hele maand april veel minder neerslag was gevallen dan normaal.

Zonder menging zou het zoete water in een laag boven het zoute water afgevoerd worden naar zee. Verticale menging verzwakt of verhindert de gelaagdheid van het water. De oorzaak van menging is het optreden van turbulentie. Deze turbulentie ontstaat weer onder invloed van: getijbewegingen, bodemtopografie en vorm van het estuarium en van de wind. (EGGINK, 1965; DORRESTEIN, 1960; KAMPS et al, 1960; DORRESTEIN EN OTTO, 1960). Het Eems-estuarium behoort tot de groep van niet gestratificeerde estuaria, omdat hier de turbulentie overheersend is. Het zoutgehalte vertoont zeewaarts gaande een geleidelijke stijging.

De vrij geringe aanvoer van zoet water en de goede menging door turbulentie zijn de oorzaak van het vrij uniforme saliniteitspatroon (de variatie in saliniteit in het hele gebied is 28,1-29,9 ‰) dat we in april in de Oostelijke Waddenzee en Wester-Eems waarnemen. POSTMA (1950: fig. 2) vond een soortgelijk verschijnsel in de Westelijke Waddenzee als er een tijdlang niet gespuid was bij de sluizen in de afsluitdijk.

De saliniteits-spreiding zoals die in april is waargenomen (zie het kaartje van Fig. 3 achterin het verslag), is als volgt te

verduidelijken:

In de Wester-Eems vindt men 1 of 2 uur na HW een saliniteit van 28,8-29,1 ‰. Naar het westen gaande vindt men op het wantij tussen Rottumeroog en de Groningse kust de laagst waargenomen saliniteiten (n.l. 28,1-28,3 ‰). Deze stations zijn iets na HW demonsterd. We hebben hier dus te maken met het feit, dat op een bank (wantij) zich water bevindt met een lagere saliniteit dan het water in de naastbijgelgen geulen. Eenzelfde geval nam POSTMA (1950; fig. 7) waar. De verklaring hiervoor is als volgt:

Zoet water heeft de neiging zich over zout water heen te bewegen. Het zoete water stroomt van de riviermond af naar zee en tegelijk stroomt zout water (bij vloed) van zee naar de riviermond. Zonder menging krijgen we dus een uit zoet water bestaande bovenlaag en een zoute onderlaag. Het gevolg hiervan zou zijn dat de oppervlakteisohalinen zich met dezelfde snelheid als het oppervlaktewater van de riviermond af zouden bewegen. Door menging evenwel krijgen we een stijging van de saliniteit van het oppervlakte water en de isohalinen van de oppervlakte verschuiven dus van zee af in de richting van de riviermond. Het resultaat van beide is het ontstaan van een isohalinen-evenwicht; dit is echter verder nog afhankelijk van het getij. Bij LW neemt de stroomsterkte in sterke mate af en het gevolg is een veel geringere turbulentie en dus een geringere menging zodat een zekere gelaagdheid ontstaat, waarbij de oppervlaktelaag zoeter is dan de bodemlaag (DORRESTEIN, 1960). Bij opkomende vloed zal het oppervlaktewater uitwijken in de richting van de banken. In de geul zal het binnendringende zoute water zorgen voor een saliniteitstoename van de zich nog in de geul bevindende zoete oppervlaktelaag. Zo krijgen we tijdens HW op het

wantij een lagere saliniteit dan in de Wester-Eems.

Bekijken we de saliniteiten ten westen van het wantij van Rottumeroog, dan zien we dat de saliniteit van dit wantij af via de geulenstelsels geleidelijk toeneemt, als we de richting van de zeegaten ingaan of in de richting van de Spruit en aanliggende banken (zie kaart van Fig. 3). Van de zijde van de zeegaten stroomt zeewater met een betrekkelijk hoge saliniteit de Oostelijke Waddenzee binnen. De wantij-zijde van dit deel van de Waddenzee kan een lagere saliniteit bezitten. 1) Door ontvangst van zoete water in een aan de monstertijd voorafgaande tijd vanuit de Westelijke Waddenzee (aangevoerd eventueel door een in dit deel van de Waddenzee eventueel heersende reststroom in oostelijke richting). 2) Ontvangst zoet water vanuit de spuisluizen te Noordpolderzijl. 3) Ontvangst van zoet water vanuit de Eems. Gezien de geringe neerslag in april en de vrij geringe wind lijken de mogelijkheden 1 en 2 niet doorslaggevend. De derde mogelijkheid lijkt het waarschijnlijkst, vooral gezien de geleidelijke toename in saliniteit als we van het wantij tussen Rottumeroog en de Groningse kust in westelijke richting de geulen afvaren. Mogelijkheid 1 is vrij onwaarschijnlijk omdat er in de spruit een vrij hoge saliniteit voorkomt. Een mogelijke verklaring voor het transport van zoet water vanuit de Wester-Eems in westelijke richting is de volgende. De Zuid-Oost-Lauwers is hier de geul die, over het wantij het zeegat van de Lauwers met dat van de Eems verbindt. We zagen reeds, dat het water op het wantij ca. 1 uur na HW een lagere saliniteit had dan de Eems en ook lager was dan de Oostelijke Waddenzee. Waarom stroomt het water op het wantij echter na HW in westelijk richting over het wantij heen naar de Zuid-Oost-Lauwers en het geulenstelsel van Pinkstergat en Schild?

(vooral via dit laatste geulenstelsel, dus net ten westen van Rottumeroog, schijnt de stroom te lopen, waar de isohalinen en de isolijnen van de fluorescentie op wijzen). Waarschijnlijk is dit te wijten aan een verschil in na-ijling (POSTMA en VERWEY, 1950; DORRESTEIN, 1960) tussen het water in de Zuid-Oost-Lauwers en dat in de Eems. De watermassa van de Eems is veel groter dan van de Zuid-Oost-Lauwers. De na-ijling zal dus in de Eems groter zijn dan in de Zuid-Oost-Lauwers. Hierdoor zal in de Zuid-Oost-Lauwers de HW-kentering eerder optreden dan aan de overzijde van het wantij in de Eems. De stroomatlas van de Nederlandse kust de kaarten van de Eemsmonding blijkt dit ook duidelijk te bevestigen. Op het wantij is het 2.48 uur voor HW te Delfzijl aan HW-kentering. Om 0.48 uur voor HW te Delfzijl stroomt er al een duidelijke ebstroom in de Schild, het Pinkstergat en de Zuid-Oost-Lauwers. Ook in het Sparregat is er al eb. Op het Eemswadje en over het wantij heen in de richting Schild, Pinkstergat en Zuid-Oost-Lauwers staat er dan echter nog een vrij sterke vloedstroom. Dit heeft dus een stroming van het water (met een geringe saliniteit) vanuit de Wester-Eems over het wantij heen ten gevolge. Er zou dus in het deel van de Waddenzee een reststroom kunnen optreden van oost naar west. De wind speelt echter ook nog een belangrijke rol. Nu overheersen in Nederland de westenwinden en deze zouden er dus wel eens de oorzaak van kunnen zijn dat er vaak niet veel van een reststroom van oost naar west te merken zou zijn. Men zou, om hier achter te komen, continu de stroomrichting en sterkte, niet alleen van het water in de verbindingsgeul van Zuid-Oost-Lauwers naar het Eemswadje maar ook van plaatsen op het wantij moeten meten. Daar deze gegevens echter ontbreken is het niet mogelijk dit te verifiëren.

De in april geconstateerde hoge saliniteit in de Oude Lauwers (stations 27 en 28) is wellicht te wijten aan het feit dat de Oude Lauwers bemonsterd is nog voor HW (er is dan nog geen stroom vanuit de Wester-Eems over het wantij naar het westen toe) en zich dus in de Oude Lauwers alleen nog zeewater met een vrij hoge saliniteit bevond, dat via het zeegat van de Lauwers binnengekomen was. Het is echter ook mogelijk, dat het water over het wantij heenstroomt de Oude Lauwers niet goed kan bereiken, omdat deze geul niet doorloopt tot aan het wantij tussen de Groningse kust en Rottumeroog. De Spruit en het aangrenzende Groninger Wad (stations 33 t/m 38) zouden niet door het Eemswater bereikt kunnen worden; vandaar de voor dit gebied hoge saliniteit in april. Bij de Spruit kan over het algemeen wellicht de in de Westelijke Waddenzee overheersende stroom over het wantij in oostelijke richting plaatsvinden (POSTMA en VERWEY, 1950).

Als we Figuur 4 van de vaartocht in september bezien, vallen hierover de volgende punten op te merken in vergelijking met de kaart van april:

- 1) In de Wester-Eems is een veel duidelijker geleidelijke stijging van de saliniteit in zeewaartse richting.
- 2) Het wantij opnieuw een gebied met een betrekkelijk lage saliniteit.
- 3) Ook in de Spruit zijn nu vrij lage salinitietswaarden, waarschijnlijk veroorzaakt door water met een lage saliniteit, afkomstig vanuit de Westelijke Waddenzee of de Lauwerszee.
- 4) De plek met de hoge saliniteitswaarden die in april in de Oude Lauwers waar te nemen was, blijkt nu tevens het Bosch wad en een deel van de Lauwers te omvatten.
- 5) De stations 36 en 37 vertonen zeer lage saliniteiten; zij zijn echter ongeveer 1 week later bemonsterd dan de rest van de

stations. De oorzaak hiervan kan zijn a) de aanwezigheid van zoet water, gespuid te Noordpolderzijl b) de vele neerslag die in dit gebied gevallen is. 6) Station 25 vertoont eveneens een lage saliniteit; ook de temperatuur wijkt hier sterk af van de omringende stations. Een mogelijke oorzaak kan zijn, dat het hier om een water-massa gaat, die van een bank of eventueel van Rottumerplaat afkomstig is. 7) De tweemaal bemonsterde stations 21, 16 en 14 vertonen alle drie een verschil tussen beide bemonsteringen van ca. 1 ‰. Het isolijnenpatroon verandert echter, afhankelijk van welke saliniteitswaarde men invult voor deze tweemaal bemonsterde stations niet noemenswaardig. De nu duidelijk longitudinale saliniteits-gradiënt in de Wester-Eems, benevens het feit dat de saliniteits-waarden in de Wester-Eems voor de maand september vrij gering zijn duiden erop dat zich een vrij aanzienlijke hoeveelheid zoet water in de Eemsestuarium en in de Oostelijke Waddenzee bevindt, die geleidelijk naar de Noordzee verdwijnt. Ter vergelijking moge dienen: voor september 1959 vond EGGINK (1965) een saliniteit ter hoogte van Borkum van 33,5 ‰, bij een waterafvoer van de rivier de Eems van $17 \text{ m}^3/\text{sec}$. Voor 1960, 1961 en 1962 vond hij respectievelijk 30 ‰ ($101 \text{ m}^3/\text{sec}$), 29 ‰ ($87 \text{ m}^3/\text{sec}$.) en 31 ‰ ($59 \text{ m}^3/\text{sec}$). Ook KÜHL und MANN (1954) troffen in de herfst waarden aan van 31-32 ‰ bij Borkum. Dit alles wijst erop dat de aanvoer van zoet water vanuit het binnenland (niet alleen door de rivier de Eems, maar ook te Noordpolderzijl) in september 1968 groot is geweest, hetgeen niet verwonderlijk is, gezien de grote hoeveelheden neerslag in de hele maand september.

c. Het verband tussen temperatuur en zoutgehalte (Figs. 19 en 20)

Het is duidelijk dat er geen correlatie aan te wijzen valt tussen de wijze waarop de Waddenzee verwarmd of afgekoeld wordt en de wijze waarop deze stijgt of daalt in saliniteit. De volgende regel kan echter op korte termijn van toepassing zijn (POSTMA en VERWEY, 1950): hoe langer een watermassa uit de Noordzee in de Waddenzee heeft doorgebracht, des te meer is ze gemengd met het zoetere Waddenzee-water (mits er natuurlijk zoet water in de Waddenzee geloosd wordt of onlangs geloosd is) en des te meer is de temperatuur aangepast aan die van de Waddenzee. Gedurende één enkele getijperiode kan een watermassa dan dus gekarakteriseerd worden door zijn saliniteit en zijn temperatuur. POSTMA (1954) en POSTMA en VERWEY (1950) waren uit hun waarnemingen in staat de volgende conclusies te trekken: a) Gelijktijdige waarnemingen in één geul van de Waddenzee geven meestal een goede correlatie tussen temperatuur en saliniteit. b) De relatie gaat op voor oppervlakte- en bodemonsters, maar is verschillend voor verschillende geulen. Dit betekent dus dat menging binnen één geulgebied zeer intensief is, maar dat watermassa's van aangrenzende geulen als regel van elkaar gescheiden zijn en er geen echte goede menging optreedt over de tussenliggende banken heen. c) In perioden van stijgende temperatuur (februari tot augustus) neemt de watertemperatuur geleidelijk toe, als men vanaf een zeegat naar de kust gaat. De saliniteit neemt dan echter juist af in deze richting. Er is dan dus een negatieve correlatie. Van september tot januari daalt de watertemperatuur van zeegat naar de kust, terwijl de saliniteit ook daalt in deze richting. Nu is er dus een positieve correlatie. Bekijken we nu de gevonden resultaten: In april vertonen de stations 6 tot en met 14 (dus die in de Wester-Eems, Sparregat

en op het wantij) wel een negatieve correlatie. De gevonden correlatiecoëfficiënt ($r = -0,525$) is echter niet significant en we mogen hier dus niet van een relatie tussen temperatuur en saliniteit spreken. Bekijken we echter alle stations tezamen, dan vinden we een correlatiecoëfficiënt $r = 0,410$ en deze is significant. We mogen dus wel zeggen dat er een relatie bestaat tussen de watertemperatuur en de saliniteit van alle stations. Het merkwaardige is echter dat we een positieve correlatie vinden. Dit is te verklaren doordat er behalve vanuit de Wester-Eems (vanhier echter ook niet veel) nagenoeg geen zoet water in de Oostelijke waddenzee komt en bovendien is dit zoete water in de Wester-Eems vanwege de grotere diepte aldaar nog koud gebleven in vergelijking met de vrij zoute Oostelijke Waddenzee, die vanwege zijn ondiepte wel behoorlijk opgewarmd is. Deze hoge temperatuur van het water wordt natuurlijk veroorzaakt door de hoge luchttemperatuur en de hoeveelheid zonnenstraling, die in april vrij groot was. Ook de bemonstering op verschillende getijperioden en op verschillende tijden van de dag zorgen bij warm weer voor een nagenoeg niet meer opgaan van de temperatuur-saliniteit relatie. Dit laatste is ook door POSTMA (1950) al aangetoond voor de Westelijke Waddenzee.

In september valt een positieve correlatie te verwachten en deze is ook duidelijk aanwezig. De gevonden correlatiecoëfficiënt voor alle stations is $r = 0,880$. Er was een voldoende grote aanvoer van zoet water door de rivier de Eems en vanuit Noordpolderzijlen het was geen warm weer. Onder deze omstandigheden kan blijkbaar voor dit hele bemonsterde Waddengebied met één temperatuur-saliniteit relatie worden volstaan. Deze ene relatie kan echter opgebouwd zijn uit verschillende T-S-relaties, voor elke geul één, die zo dichtbij elkaar liggen, dat ze tezamen één relatie vormen. Er zouden vele

gelijktijdige waarnemingen in elke geul moeten worden gedaan om erachter te komen of dit inderdaad zo is. Een feit is, dat er één gemeenschappelijke T-S-relatie voor het hele hier bemonsterde gebied kan voorkomen en dit duidt op een zeer intensieve menging tussen de watermassa's die zich in de aan elkaar grenzende geulensystemen bevinden.

d. De troebelheid (Figs. 5 en 6)

Het meest opvallende, als we de Secchischijf-metingen bekijken, is dat alle waarden in het gehele bemonsterde gebied zo laag zijn. Deze variëren namelijk tussen 0,10 en 1,60 meter. Op de Noordzee is een dergelijke grote troebelheid alleen dicht bij de kust te vinden en dan nog voornamelijk in de buurt van riviermonden (TIJSSEN, 1968). In de Westelijke Waddenzee varieert de troebeling van 0,20-4,50 meter, afhankelijk van seizoen, getijperiode en plaats (POSTMA, 1961 en DUURSMA, 1961).

De troebelheid van het water in een ondiep en sterk onder invloed van het getij staand gebied als het bemonsterde is van een aantal vaak sterk wisselende factoren afhankelijk:

- a) Samenstelling van de bodem; deze kan uit zand of slib bestaan en de grootte van de korrels, waaruit het sediment bestaat, speelt een belangrijke rol bij het eventueel in suspensie gaan van dit bodemsediment.
- b) De op die plaats heersende stroomsterkte (afhankelijk waarvan het bodemmateriaal al of niet in suspensie gaat); deze is in een ondiep gebied zeer wisselvallig en afhankelijk van waterdiepte ter plaatse, heersende windkracht en windrichting en de fase van het getij.

- c) De aanwezigheid van organisch afvalmateriaal, levend plankton, afgestorven plankton en detritus kan van veel belang zijn (vooral in de nazomer).
- d) De aanwezigheid van een rivier die in zee uitmondt en veel gesuspendeerd materiaal meevoert kan ook een grote invloed hebben op de troebelheid in het gebied waar die rivier uitmondt. Men vindt namelijk vaak bij een in zee mondende rivier in het gebied van de zogenaamde zoutgehaltesprong een troebelingsmaximum. Voor de Eems werd dit door POSTMA (1960 en door KÜHL und MANN (1954) in de buurt van Emden vastgesteld.

Zo zal men de grootste troebeling kunnen vinden op de meest ondiepe, slibrijke plaatsen, waar een sterke stroom staat, die door het getij (eb- of vloedstroom) veroorzaakt wordt, eventueel nog versterkt door de wind en een in zee uitstromende rivier.

De minste troebeling vindt men tijdens de kentering van HW, vanwege de afwezigheid van stroom en het daardoor bezinken van het gesuspendeerde materiaal. Bij LW kentering vindt dit bezinken in veel mindere mate plaats, aangezien de tijd, waarin de stroomsnelheid voldoende laag is om het materiaal in staat te stellen te bezinken dan veel kleiner is dan bij HW. De oorzaken hiervan zijn een daling van de stroomsnelheden in de geulen, van de zeegaten naar de kust toe gaande en de asymmetrische vorm van de eb- en vloodsnelheidcurven in de kleinere geulen, waarvan de maxima, vergeleken met het maximum van een sinuscurve, naar LW verschoven zijn (POSTMA, 1961).

Bij de vaartocht in april zijn dan ook de voor dit gebied vrij hoge waarden voor de Secchischijf te vinden bij de stations die tijdens HW-kentering bemonsterd zijn waar verder weinig stroom stond, en

dan nog voornamelijk op diepere plaatsen (geen opwerveling van bodemmateriaal tot aan de oppervlakte).

In september is in het hele gebied zo weinig variatie in de troebelings (0,10-0,60 meter), dat hier weinig valt te interpreteren aan de hand van de isolijnen. Door de vrij krachtige wind (veel opwerveling van materiaal) zijn de Secchischijf-waarden wellicht zo erg laag.

e. Het zuurstofgehalte (Figs. 7 en 8)

Vele onderzoekers hebben waargenomen, dat het zuurstofverzadigingspercentage van open zee naar de kust en wantijen van estuaria een daling vertoont. Voor het Eemsestuarium is dit b.v. door KÜHL und MANN (1954), EGGINK (1965) en KAMPS et al. (1960) waargenomen. Zij vonden bij de uitmonding van de rivier de Eems in het estuarium een O_2 -verzadingswaarde van 75 à 90 %, terwijl dit ter hoogte van Borkum gestegen was tot een percentage van 90 - 120 %. Nu wordt de aanvoer van zuurstof in het water van een estuarium (EGGINK, 1965) bewerkstelligd door: 1) reaëratie, 2) fotosynthese, die afhankelijk is van temperatuur, daglicht en tijd van het seizoen, 3) aanvoer van zuurstof met het zeewater en/of rivierwater. Zuurstof wordt afgevoerd uit het estuarium door: 1) biochemische afbraakprocessen deze afvoer van zuurstof is afhankelijk van temperatuur en belasting van het water met organisch afvalmateriaal, 2) afvoer van brak estuariumwater naar elders, 3) ademhaling van organismen.

De lozing van organisch afvalmateriaal bij Delfzijl en te Nieuw Statenzijl draagt natuurlijk bij tot een onderverzadiging van het water daar ter plaatse. Deze onderverzadiging met zuurstof speelt echter volgens gegevens van KAMPS et al. (1960) en EGGINK (1965)

alleen een rol in een betrekkelijk directe omgeving van de plaats van lozing en de invloed hiervan is zeker op het deel van de Eems, dat bij dit onderzoek bemonsterd werd, nog van geringe betekenis. Een onderverzadiging in de Oostelijke Waddenzee zal dus waarschijnlijk evenals in de Westelijke Waddenzee (De GROOT en POSTMA, 1968) veroorzaakt worden door locale "natuurlijke" omstandigheden. Dit is opmerkelijk aangezien getijstromen en de daardoor veroorzaakte sterke turbulentie zorg dragen voor het ontbreken van een gelaagdheid in het water. Men zou dan ook verwachten dat de snelle vernieuwing van het oppervlaktewater een snelle zuurstofopname uit de lucht ten gevolge zou hebben. De GROOT en POSTMA (1968) veronderstellen dat het zuurstofverbruik door organisch materiaal en dieren hoog moet zijn en dat de zuurstofproductie door fotosynthese tegelijk laag moet zijn. Deze veronderstellingen werden geschraagd door het feit dat POSTMA (1954) aangetoond heeft, dat in de Westelijke Waddenzee een ophoping optreedt van gesuspendeerd organisch materiaal, dat vanuit de Noordzee binnen komt door de zeegaten en in de Waddenzee afgebroken wordt. Bovendien is de troebelheid van het water in het binnenste deel van de Waddenzee er oorzaak van dat de fotosynthese sterk beperkt blijft. Verder verbruiken de dichte populaties bodemdieren ook nog veel zuurstof.

De gevonden zuurstofverzadigingswaarden zijn in april over het algemeen boven de 100% verzadiging. Alleen op de banken van het Groningse Wad en in de Spruit is een onderverzadiging te vinden, die waarschijnlijk wel aan de hand van een van de bovengenoemde verschijnselen verklaard kan worden. In de Wester-Eems is een daling te constateren van station 10 (116%) naar het wantij (station 6: 111%). Deze waarden komen ook uitstekend met die van KÜHL und MANN

(1954), KAMPS et al. (1960) en EGGINK (1965) overeen. In het Boschwad en de Schild zijn de verzadigingspercentages het hoogst (120-128%). Dit is waarschijnlijk alleen te verklaren door de aannahme van een grote fotosynthese ter plaatse, gepaard met een zeer geringe zuurstofverbruik door biochemische afbraakprocessen en ademhaling. In het gebied van de Oude Lauwers daarentegen is een sterke onderverzadiging te constateren, evenals op de aan de overzijde van de Z-O-Lauwers gelegen Andelbult. Dit zijn wellicht watermassa's, die bij eb samenkomen in de Zuid-Oost-Lauwers, dan mengen en vervolgens bij vloed weer uiteengaan. De tijdens de vaartocht in het gebied van de Zuid-Oost-Lauwers en Oude Lauwers werkzame zandzuigers kunnen door het opzuigen van zuurstofarm grondwater en zuurstofverbruikend materiaal ook van invloed geweest zijn op de onderverzadiging met zuurstof in dit gebied.

De zuurstofverzadigingspercentages van oppervlakte en bodemonsters verschillen volgens KÜHL und MANN (1954), EGGINK (1965) en KAMPS et al. (1960) meestal niet noemenswaardig en indien ze verschillen, dan bezit het bodemwater meestal een hoger verzadigingspercentage. Het gemiddelde verschil tussen oppervlakte- en bodemonsters in het Eemsestuarium (KAMPS et al.) bedraagt 3%. Bij de in dit onderzoek genomen bodemonsters is het maximale verschil met de oppervlaktemonsters 3,8%. Echter zijn 4 van de 6 genomen bodemonsters, zij het in geringe mate, lager in zuurstof dan de daarbij behorende oppervlaktemonsters.

In september is er geen oververzadiging met zuurstof, behalve op station 32 (101%). Rondom station 32 neemt het verzadigingspercentage geleidelijk af. Waarschijnlijk is dit laatste te wijten aan een ter plaatse nog bestaande phytoplankton-populatie en/of een

geringe afbraak van een zeer kleine hoeveelheid organisch materiaal. In de Eems zijn de waarden 92-94% (KAMPS et al. 1960, vonden ook dergelijke waarden). De Spruit, het Groninger Wad en de Andelbult hebben verzadigingswaarden van 95-96%. In de Zuid-Oost Lauwers ter hoogte van Noordpolderzijl treedt echter weer een daling in het verzadigingspercentage op (minder dan 93%) waarschijnlijk ten gevolge van de afvoer van zoet water met veel afgestorven organisch materiaal. TIJSSSEN (1968) vermeldt voor de Noordzee gedurende 7-19 augustus 1967 een zuurstofverzadigingspercentage van het oppervlakte-water tussen 95-100% en bij riviermonden een percentage onder de 95%.

Bij de tweemaal bemonsterde stations (16, 21 en 4) blijken de zuurstofverzadigingspercentages niet meer te verschillen dan de standaarddeviatie van de zuurstofbepaling (21: 93,4% en 93,3%; 16: 94,2% en 94,2%; 4: 92,0% en 93,0%).

f. De fosforverbindingen

POSTMA (1954) verklaart het fiet, dat de concentratie aan opgeloste P in de Westelijke Waddenzee gedurende het gehele jaar hoger is dan in de Noordzee. In de Westelijke Waddenzee is vergeleken met de Noordzee een hogere concentratie organisch materiaal, hetgeen veroorzaakt wordt door een ophopingsmechanisme dat weer het resultaat is van een voortschrijdende afname in waterbeweging (voornamelijk een afname in gemiddelde stroomsnelheid) van buiten naar binnen. De werkelijke concentratie van organisch materiaal, die men waarneemt, is dan ook het resultaat van het evenwicht, dat er heerst tussen deze ophoping en het verlies door wateruitwisseling. Het mechanisme van ophoping voorkomt immers niet het verlies van opgeloste verbindingen naar de Noordzee met zijn geringere

concentratie aan die verbindingen. Zo is er ook ten gevolge van de concentratie-gradiënt van opgelost P een transport van opgelost P vanuit de Westelijke Waddenzee naar de Noordzee. De gradiënt van opgeloste P wordt echter gehandhaafd door de activiteit van bodemdieren, gecombineerd met de afbraak van grote hoeveelheden organisch materiaal (via biochemische processen), dat zowel in het water als op de bodem van de Waddenzee opgehoopt is door de constant grote aanvoer van gesuspendeerd materiaal naar binnen. Chemisch en fysische verschillen tussen Westelijke Waddenzee en Noordzee spelen waarschijnlijk slechts een ondergeschikte rol in dit proces.

f. I. De concentratie aan anorganisch opgelost P (Figs. 9 en 10)

De opgeloste anorganische P ($\text{PO}_4\text{-P}$) concentraties in Noordzee en Westelijke Waddenzee volgens verschillende auteurs zijn gegeven in Tabel III.

In de Oostelijke Waddenzee bedroegen de concentraties aan $\text{PO}_4\text{-P}$ in april: 0,3-1,5 $\mu\text{g-at P/1}$ (in Oostelijke Waddenzee) en 0,2-0,5 $\mu\text{g-at P/1}$ (in Eems). In september: 1,1-2,8 $\mu\text{g-at P/1}$ (in Oostelijke Waddenzee) en 1,2-1,4 $\mu\text{g-at P/1}$ (in Eems).

Uit deze gegevens blijkt dat de concentratie van opgelost anorganisch P in de Oostelijke Waddenzee en Eems veel hoger is dan in de aangrenzende Noordzee. De concentratie in de Oostelijke Waddenzee is zelfs nog hoger dan die van de Westelijke Waddenzee. Dit alles wijst erop dat de gradiënt van opgelost anorganisch P, die POSTMA vond tussen Westelijke Waddenzee en Noordzee, nog groter is tussen Oostelijke Waddenzee en Noordzee. Door deze grotere gradiënt in $\text{PO}_4\text{-P}$ zal er hier meer opgelost anorganisch P naar de Noordzee gaan tijdens eb. De gradiënt zou wellicht gehandhaafd kunnen blijven

door de grotere en snellere afname in waterbeweging van buiten naar binnen in de Oostelijke Waddenzee. Hierdoor zou de gradiënt aan gesuspendeerd materiaal tussen de Oostelijke Waddenzee en de Noordzee groter kunnen zijn. Het gevolg hiervan zou een in de Oostelijke Waddenzee voorkomende hogere concentratie aan organisch materiaal zijn, dat waarschijnlijke ook weer snel afgebroken zou worden. Zo zou de gradiënt van $\text{PO}_4\text{-P}$ in evenwicht gehouden worden, mede door toedoen van het vrij grote aantal op en in de bodem levende organismen in de Oostelijke Waddenzee.

Ook de Eems voert vrij veel opgelost anorganisch P met zich mee (POSTMA 1960), vergeleken bij de $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie van de Noordzee en zo is het mogelijk dat de Oostelijke Waddenzee, bij de plaatsvindende wateruitwisseling met de Eems, niet zoveel anorganisch P aan de Eems hoeft af te staan als aan de Noordzee, omdat de gradiënt in $\text{PO}_4\text{-P}$ tussen de Oostelijke Waddenzee en de Eems kleiner is dan tussen de Oostelijke Waddenzee en de Noordzee.

f. II. De $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie-verdeling in het bemonsterde gebied

1) in april treden de laagste waarden in de Eems op een in het water dat vanuit de Eems over het wantij in andere geulen gekomen is (zie saliniteit). De hoogste $\text{PO}_4\text{-P}$ waarden worden gevonden op de banken (stations 27 tot en met 30 en 33 tot en met 38). Merkwaardig is dat de stations 25 en 32 ook een hoger $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie bezitten. 2) In september heeft onder invloed van de wind de concentratiegradiënt van het $\text{PO}_4\text{-P}$ een geleidelijker verloop van zee naar de kust gaand dan in april, toen de concentraties van plaats tot plaats meer variëerden. De hoogste $\text{PO}_4\text{-P}$ concentraties zijn op de banken en het wantij langs de Groningse kust te vinden (stations 1 tot en met 6, 15 en 16, 28

en 33 tot en met 37). De laagste waarden zijn aan de Noordzee-zijde (stations 9 en 10, 17 en 18, 20, 22, 26). Merkwaardig is nu station 24, dat een hoge $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie bezit.

f. III. De seizoensvariatie in $\text{PO}_4\text{-P}$

In de winter domineert de afbraak van organisch materiaal over de assimilatie en het organische P wordt zo gemineraliseerd tot anorganisch P. In de lente en zomer wordt het opgeloste anorganisch P door het phytoplankton verbruikt. Fosfor kan zelfs de beperkende factor worden voor de phytoplanktongroei, want in de zomer is het $\text{PO}_4\text{-P}$ in zee bijna of geheel verbruikt. Dit alles heeft in januari een maximum in de $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie tot gevolg (zoals bijvoorbeeld voor Het Kanaal aangetoond is door SVERDRUP et al. 1942) en in augustus een minimum. In de Westelijke Waddenzee is van april tot en met juni de $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie erg laag op een lage plateau-waarde; in juli en augustus begint zich alweer een stijging te vertonen om omstreeks september een hoog plateau te bereiken, waarvan de piek in januari gelegen is (POSTMA, 1954). Ook bij dit onderzoek is duidelijk te zien dat april lage $\text{PO}_4\text{-P}$ waarden heeft in vergelijking met september. Het feit dat het $\text{PO}_4\text{-P}$ in de Oostelijke Waddenzee en de Eems waarschijnlijk niet geheel opgebruikt wordt, kan wellicht komen doordat de phytoplanktongroei in dit gebied beperkt is omdat het water zo troebel is en hierdoor het zonlicht maar tot een zeer geringe diepte kan doordringen, terwijl ook de sterke temperatuur- en zoutgehalteschommelingen niet bijzonder gunstig zijn voor het leven van het phytoplankton. Hierdoor zal ook een deel van het phytoplankton, dat met vloed uit de Noordzee via de zeegaten binnenkomt (volgens POSTMA, 1954, is in de Westelijke Waddenzee de hoeveelheid

organisch materiaal die vanuit de Noordzee binnenkomt van dezelfde orde van grootte als de productie aan organisch materiaal in de Westelijke Waddenzee zelf) zich, vanwege het minder gunstige milieu niet kunnen handhaven en afsterven. Zo zal het $\text{PO}_4\text{-P}$'s zomers in de Oostelijke Waddenzee voor een betrekkelijk gering deel door het daar aanwezige phytoplankton verbruikt worden, terwijl het afstervende plankton daarentegen nog een vrij grote bijdrage levert aan de ophoping van organisch materiaal en dit laatste levert op zijn beurt via het mineralisatieproces weer opgelost anorganisch P. Het niet geheel opgebruikt worden van het $\text{PO}_4\text{-P}$ in de Oostelijke Waddenzee is ook te verklaren door alleen een verschuiving van het evenwicht aan te nemen tussen het ophopingsmechanisme van organisch materiaal (waarna mineralisatie optreedt hiervan) en het verlies van het $\text{PO}_4\text{-P}$ (eindprodukt van de mineralisatie) in de richting van de Noordzee. In de winter zal dit evenwicht weer terugschuiven, omdat nu de $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie in de Noordzee niet meer zo laag is als in de zomer en hierdoor het verlies aan $\text{PO}_4\text{-P}$ van de Oostelijke Waddenzee aan de Noordzee geringer wordt.

f. IV. Opgelost organisch fosfor (Figs 11 en 12)

De concentratie van opgelost organisch fosfor verschilt vrij aanzienlijk van plaats tot plaats. Hierdoor is er nauwelijks iets aan het isolijnenpatroon op te merken. Voor een deel zullen dit werkelijke verschillen zijn, maar voor een ander deel zullen deze verschillen te wijten zijn aan de minder accurate analysemethode. De standaarddeviatie bij de bepaling van opgelost organisch P is immers gelijk aan de standaarddeviatie van de $\text{PO}_4\text{-P}$ bepaling vermeerderd met de standaarddeviatie van de total opgelost P bepaling. POSTMA (1954)

vond in de Westelijke Waddenzee geen sterke gradiënt van opgelost organisch P in de richting van de Noordzee zoals bij het $\text{PO}_4\text{-P}$. In de Oostelijke Waddenzee en de Eems bleken de volgende opgelost organisch P concentraties voor te komen:

Van 24-30 april varieerde de opgelost organisch P concentratie van 0,19-0,51 $\mu\text{g-at P/1}$; van 23 september tot en met 1 oktober was er een variatie van 0,11-0,46 $\mu\text{g-at P/1}$. Deze waarden zijn vergeleken met die in de Westelijke Waddenzee iets lager. De oorzaak hiervan is, gezien de geringe gegevens die van dit gebied bekend zijn, niet zonder meer aan te geven. Wellicht is er een geringere opgelost organisch P concentratie omdat in dit gebied minder phytoplankton voorkomt, of omdat de mineralisatie in dit gebied iets sneller verloopt dan in andere delen van de Waddenzee. RAYMONT (1963) vermeldt, dat in vrij diep water de regeneratie van fosfaat voornamelijk in de watermassa plaatsvindt en dat er weinig of geen verlies van materiaal naar de bodem en geen adsorptie van fosfor in de bodem-modder is. In ondiepe gebieden echter kan veel van het organisch materiaal de bodem bereiken en een aanzienlijk deel van het regeneratieproces moet zo optreden op de modder/water grens. Een modderige bodem bezit verder grotere hoeveelheden fosfor dan een zandige bodem en bovendien verloopt de regeneratie van fosfaat in gebieden met fijnere sedimenten (die een hoger gehalte aan organisch materiaal bevatten) sneller. De mineralisatie van gesuspendeerd organisch materiaal en organisch opgelost materiaal tot opgelost anorganisch P zal dus misschien in een gebied als de Oostelijke Waddenzee iets sneller kunnen verlopen dan in de Westelijke Waddenzee, als we tenminste aan mogen nemen dat de bodem van de laatste meer uit zand en minder uit zeer fijn slijk met veel organisch materiaal zou bestaan dan die van de Oostelijke

Waddenzee.

f. V. Seizoensvariatie van opgelost organisch fosfor.

POSTMA (1954) vermeldt, dat de seizoensvariatie van opgelost organisch P omgekeerd is aan die van het PO_4 -P. Een stijging van organisch gesuspendeerd materiaal in de lente, als weerslag van de toegenomen phytoplanktonproductie, gaat vergezeld van een toename in oplosbare afbraakproducten die fosfor bevatten. De in de Oostelijke Waddenzee gevonden verschillen tussen de vaartocht in april en die in september zijn echter klein om vast te stellen of het door POSTMA vermelde verschijnsel hier ook opgaat.

f. VI. Totaal opgeloste hoeveelheid fosfor (Figs. 13 en 14)

De volgende hoeveelheden worden in de litteratuur vermeld:

(concentratie $\mu\text{g-at P/1}$)

<u>tijd van monsternamen</u>	<u>Noordzee</u>	<u>Westelijke Waddenzee</u>	<u>auteur</u>
jaargemiddelde	0,69	1,02	POSTMA, 1954
jaarvariatie	-	0,47-1,62	DUURSMA, 1961

De in april en september gevonden waarden ($0,42-3,20 \mu\text{g-at P/1}$) komen goed met de hier vermelde waarden overeen: ze zijn echter voor een deel duidelijk hoger, hetgeen te danken is aan de hogere PO_4 -P waarden. Het isolijnenpatroon van het totale opgelost P gehalte is in april identiek aan het PO_4 -P isolijnenpatroon van april en is in september nagenoeg gelijk aan het PO_4 -P isolijnenpatroon van september. POSTMA (1954) merkt op dat de totale hoeveelheid opgelost P in de Waddenzee slechts geringe seizoensveranderingen vertoont. Dit is te verklaren aan de hand van het feit dat de seizoensvariatie van het opgelost organisch P tegengesteld is aan die van het PO_4 -P. Als men

de in de Oostelijke Waddenzee gevonden waarden in april en september met elkaar vergelijkt, is het echter duidelijk dat de hoeveelheden totaal opgelost P in september beduidend hoger zijn dan in april, hetgeen voornamelijk op rekening van het $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte geschreven moet worden, dat hier in september circa tweemaal zo groot is als in april.

f. VII. Het verband tussen hoeveelheid $\text{PO}_4\text{-P}$ en de saliniteit en tussen de hoeveelheid totaal opgelost P en de saliniteit (Figs. 21-24)

Er blijkt een zekere correlatie te bestaan tussen de hoeveelheid $\text{PO}_4\text{-P}$ en de saliniteit; deze correlatie schijnt echter sterk te beïnvloeden te zijn, zoals blijkt uit vergelijking van de Figs. 21 en 23. Het verband tussen $\text{PO}_4\text{-P}$ en saliniteit en dat tussen totaal opgelost P en de saliniteit blijkt, als ze beide eenzelfde bemonsteringsperiode bepaald zijn vrijwel identiek te verlopen. Zo heeft in april de grafiek van $\text{PO}_4\text{-P}$ tegen de saliniteit (Fig. 21) bijna dezelfde gedaante als de grafiek tussen totaal opgelost P en de saliniteit (Fig. 22); voor september geldt dit eveneens voor de (Figs. 23 en 24. Dit komt doordat in de Oostelijke Waddenzee het totaal opgelost P gehalte voor het grootste deel bepaald wordt door het $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte. In het vervolg kunnen we daarom volstaan met de Figs. 21 en 23 te bespreken ($\text{PO}_4\text{-P}$ tegen saliniteit), omdat we de Figs. 22 en 24 als afgeleid zijnde kunnen beschouwen uit de Figs. 21 en 23 en de oorzaken van de optredende variaties in deze Figs. 22 en 24 gelijke zijn aan de oorzaken van de variaties in het $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte.

Vergelijken we nu de Figs. 21 en 23, respectievelijk van de maanden april en september, dan is er een duidelijk verschil te zien.

We zien, dat er in september een correlatie bestaat tussen het $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte en de saliniteit; voor alle stations tezamen is de correlatiecoëfficiënt dan $r = -0,852$ en deze is significant. Evenals de aangetoonde temperatuur-saliniteitsrelatie in de maand september er op duidt, dat er in die maand een goede menging optreedt tussen de in het bemonsterde gebied in de verschillende geulen aanwezige watermassa's, is de bestaande relatie tussen $\text{PO}_4\text{-P}$ en de saliniteit hiervan nog een duidelijke bevestiging. Immers er is hier ook een duidelijke (negatieve) correlatie aanwezig.

In april nemen we geen correlatie waar tussen het $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte en de saliniteit van alle stations. We zien hier echter iets merkwaardigs in de grafiek. We kunnen namelijk in de grafiek enkele groepen punten onderscheiden, die samen wel gecorreleerd schijnen te zijn. In total zijn er zo 3 lijnen van punten te onderscheiden, ieder met een negatieve correlatie. Ook liggen er nog stations tussen deze zg. "lijnen". Nu is het echter opvallend, dat de punten die telkens zo'n lijn vormen stations zijn die min of meer in eenzelfde geul of gebied liggen of alleen een ondiepe plaats op een bank of aan de Groningse kust vertegenwoordigen. Zo is er een lijn van de stations 6 tot en met 14 (correlatiecoëfficiënt $r = -0,925$; deze is significant). Dit zijn juist die punten, die in de Wester-Eems, het Sparregat en het Eemswadje (of Ra) liggen tot en met het wantij. Het water in het gebied van deze stations (invloedssfeer van de Wester-Eems) schijnt dus in deze maand een sterke menging te vertonen, zodat er een geleidelijke gradiënt optreedt van saliniteit en $\text{PO}_4\text{-P}$. Andere stations vallen kennelijk niet in deze invloedssfeer en er bestaat in april dus geen goede menging door het hele

bemonsterde gebied heen.

De volgende lijn bevat min of meer de stations 15 tot en met 21 en verder 24, 29, 32 en 1. De correlatiecoëfficiënt is hier $r = -0,883$ (deze is ook significant). Dit zijn de stations in het diepere deel van de zuid-oost Lauwers en de Lauwers; verder nog het Boschgat en een paar stations als 32 en 24 in het Schild-gebied, 29 in het Pinkstergat en 1 bij Noordpolderzijl. Of deze laatste stations (1, 24, 29 en 32) ook echt bij dit Zuid-Oost-Lauwersgebied behoren is niet met zekerheid te zeggen. Men kan hier wellicht te maken hebben met monsterpunten, die op de grens van menggebieden liggen en daardoor afwijken. Tussen twee lijnen in liggen de stations 2, 3, 4 en 5, die dus een menging vertonen van water uit de invloedssfeer van de Wester-Eems en uit die van de Zuid-Oost-Lauwers. Daarnaast liggen de stations 22, 23, 26 en 31 ook nog tussen deze twee lijnen in. Als we de fase aan het getij bij bemonstering mede in acht nemen is het mogelijk te veronderstellen, dat het gebied van Schild, West-Schild en Pinkstergat een menggebied is tussen verschillende water-soorten: 1) water uit zee, dat voornamelijk samenstelling bezit van water uit diepere delen van de Lauwers en de Zuid-Oost-Lauwers (station 32 kan hiertoe behoren) 2) water uit de invloedssfeer van Wester-Eems. Menging hiervan met (1) zou de stations 22, 23, 26 en 31 op kunnen leveren. 3) water dat van de banken en ondiepe delen van het wad afkomstig is (dit is lijn 3) (zie vervolg). Menging van (2) en (3) of van (1), (2) en (3) zou dan het water van de stations 24, 25, 29 en 30 kunnen vormen. Indien deze hypothese juist zou zijn, dan is dit dus een bevestiging van het feit, dat er water van de Wester-Eems-invloedssfeer in westelijke richting migreert (zie ook de saliniteit).

De derde lijn is de lijn van de stations 33 tot en met 38 gelegen in de Spruit en op de banken langs de kust en in de Oude Lauwers (stations 27 en 28), die waarschijnlijk vanwege hun ondiepte een dergelijk hoog $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte bezitten (de correlatiecoëfficiënt $r = -0,750$; deze is significant). Op de banken en ondiepe plaatsen zou dus een hoog $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte aanwezig zijn en, als de omstandigheden gunstig daarvoor zijn, ook een hoge saliniteit. Deze omstandigheden zijn: weinig menging (dus weinig wind), een zeer geringe aanvoer van zoet water, eventueel gepaard gaande met een sterke zonnestraling. Dit zou overeenkomen met de situatie in april, toen er weinig menging was waardoor er tussen de afzonderlijke geulensystemen maar een geringe wateruitwisseling plaats kon vinden. Bovendien konden de stations aan de Groningse kust een hoge saliniteit bereiken door de geringe neerslag in die maand. In september met veel wind en neerslag zijn de drie lijnen niet meer van elkaar te onderscheiden. Zo blijkt de situatie in de Oostelijke Waddenzee ten zeerste afhankelijk te zijn van meteorologische grootheden als wind en neerslag. Dat het verband tussen $\text{PO}_4\text{-P}$ en de saliniteit een negatieve correlatie is, komt doordat het water een mengsel is tussen zeewater van betrekkelijk hoge saliniteit en lage $\text{PO}_4\text{-P}$ concentraties en gespuid, of door een rivier aangevoerd zoet water met een lage saliniteit en een meestal hoge $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie. Ondiepe plaatsen in de Oostelijke Waddenzee bezitten verder vaak een hoge $\text{PO}_4\text{-P}$ concentratie, waarschijnlijk omdat daar de concentratie van organisch materiaal, dat uit zee aangevoerd wordt via de geulen groter is; daar vindt dan voor een groot deel de mineralisatie van het organisch materiaal tot $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte van het zoete water dat gespuid wordt kan vaak heel hoog zijn, omdat er

in het zoete water vaak grote hoeveelheden organisch materiaal worden afgebroken.

g. De fluorescentie

De meting van de fluorescentie geschiedde om aan de hand van het verband tussen de fluorescentie en de saliniteit te trachten een onderscheid te maken tussen verschillende watertypen, die tezamen door menging de watermassa's in de Oostelijke Waddenzee karakteriseren. De natuurlijke fluorescentie van water wordt veroorzaakt door opgeloste organische verbindingen. Voor de chemische aard van die fluorescerende verbindingen wordt verwezen naar de artikelen van OTTO (1967), DUURSMA (1961, 1965 en 1966) en het verslag van NIENHUIS (1967). Volgens NIENHUIS (1967) zou dan in zee vrij labiele fluorescerende stoffen worden gevormd met een fluorescentiemaximum bij 400 nm. Andere, meer stabiele, fluorescerende stoffen zouden van terrestrische oorsprong zijn en deze worden met het zoete water via rivieren of spuisluizen naar zee gevoerd. Deze laatste zouden een fluorescentiemaximum bezitten bij 463 nm (NIENHUIS, 1967).

g. I. De fluorescentie van stoffen met een fluorescentiemaximum bij 463 nm

Indien men zou mogen aanemen, dat zich bij menging van watertypen geen speciale nevenverschijnselen voordoen, zou men voor ieder watermonster in dit gebied kunnen berekenen hoeveel procent van ieder watertype in elk monster aanwezig was, mits men ook voor ieder watertype voldoende factoren zou kennen, die onafhankelijk van elkaar zijn. De nevenverschijnselen zijn bijvoorbeeld: opname of

afgifte van verbindingen door organismen, chemische afbraak of omzetting, in oplossing gaan of neerslaan. De fluorescerende stoffen (463 nm) zijn vrij stabiel (KALLE, 1956, NIENHUIS, 1967, DUURSMA 1966).

Zo kon OTTO (1967) op grond van het verband tussen fluorescentie en saliniteit in de zuidelijke Noordzee onderscheid maken tussen continentaal kustwater en water van de Engelse kust. Volgens dezelfde publicatie van OTTO kon de continentale watermassa nog opgesplitst worden in een Rijn-Maas watermassa en een Schelde-water massa, waarbij deze watermassa's weer beschouwd bleken te kunnen worden als mengsels van drie watertypen: 1) water van de Straat van Dover, 2) water van de Rijn en Maas, 3) water van de Schelde. Menging (1) en (2) geeft de Rijn-Maas watermassa, terwijl menging van (1) en (3) de Schelde-watermassa levert. OTTO (1967) was echter niet in staat, evenmin als NIENHUIS (1967), om op grond van het verband van fluorescentie en saliniteit een IJssel (meer)-watermassa of Waddenzee-watermassa aan te tonen op de Noordzee voor de kust van Texel en Vlieland. Voor de Oostelijke Waddenzee-watermassa is nu ook het verband tussen fluorescentie (463 nm) en saliniteit bepaald, in de hoop aan te tonen dat deze watermassa een mengsel was van drie of eventueel vier watertypen: 1) Noordzeewater van voor de Waddeneilanden Schiermonnikoog, Rottumerplaat en Rottumeroog, 2) Waddenzee-water afkomstig uit de Westelijke Waddenzee, 3) Eemswater, 4) eventueel zoet water afkomstig van de Groningse kust. In de Figs. 25 en 26 zijn de waarden van de fluorescentie (463 nm) voor elke station tegen de saliniteit uitgezet respectievelijk voor de maanden april en september.

g. II. Verband tussen fluorescentie en saliniteit in april

(463 nm) (Fig. 25)

Bekijken we de grafiek van april, dan zien we dat sommige stations op één lijn liggen. Zo zijn te onderscheiden: 1) een lijn door de stations 6 t/m 10 en 11 t/m 14 (respectievelijk met correlatiecoëfficiënt $r = -0,999$ en $r = -0,988$ en deze twee lijnen vertonen een duidelijke correlatie). Ook door alle stations 6 t/m 14 gaat een lijn met correlatiecoëfficiënt $r = -0,980$; ook deze is significant en dus is er verband tussen fluorescentie en saliniteit bij deze stations. De stations zouden karakteristiek kunnen zijn voor het water van de Wester-Eems. 2) Een lijn door stations 1 en 33 t/m 38 (correlatiecoëfficiënt $r = -0,954$; deze is significant). Deze vertegenwoordigt de punten langs de Groningse kust en in de Spruit.

Tussen deze twee lijnen is echter geen significant onderscheid te maken, want er bestaat een significante correlatie tussen de stations 6 t/m 14, 1 en 33 t/m 38 (correlatiecoëfficiënt $r = -0,725$). Beschouwen we alle stations tezamen dan bestaat er ook daartussen een significante correlatie tussen fluorescentie en saliniteit.

De correlatiecoëfficiënt voor alle stations in april is $r = -0,730$. Deze is significant. Doordat er niet twee duidelijke lijnen zijn te onderscheiden is er dus op grond van het verband tussen fluorescentie en saliniteit ook geen onderscheid te maken tussen verschillende watertypen in het bemonsterde gebied, die tezamen de Oostelijke Waddenzee zouden kunnen karakteriseren. Het is echter wel duidelijk, dat het water in het hele bemonsterde gebied min of meer tot één watermassa gerekend kan worden, die we dan ook de Oostelijke Waddenzee-watermassa kunnen noemen. Of deze watermassa weer als een onderdeel van de watermassa in de gehele Waddenzee beschouwd moet worden, is met de beschikbare gegevens niet te achterhalen. De

vergelijkingen van de twee lijnen die door alle stations in april bepaald worden luiden, als we de fluorescentie van de saliniteit afleiden: $F = -2,2S + 79,31$ (saliniteit in ‰ en de Fluorescentie in mFluorescentie-eenheden). Als $F = 0$ mFl is S gelijk aan 36,05 ‰.

Als $S = 0$ ‰ is F gelijk aan 79,31 mFl.

De vergelijking van de lijn, bij afleiding van de saliniteit uit de fluorescentie wordt:

$F = -4,10 S + 134,9$ Als $F = 0$ mFl is S gelijk aan 32,90 ‰.

Als $S = 0$ ‰ is F gelijk aan 134,9 mFl.

g. III. Het verband tussen fluorescentie en saliniteit in september (463 nm) (Fig. 26)

Deze grafiek vertoont op het oog geen verschillende lijnen. Alle stations tezamen vormen hier één lijn ($r = -0,880$), die een significante correlatie bezit tussen de fluorescentie en de saliniteit. Nu is er dus ook geen onderscheid te maken tussen verschillende watertypen, die de Oostelijke Waddenzee watermassa zouden kunnen karakteriseren. De vergelijking van de lijn door alle stations is, als we F van S afleiden:

$F = -4,7 S + 151,1$ Als F gelijk is aan 0 mFl is S gelijk aan 32,15 ‰

Als S gelijk is aan 0 ‰ is F gelijk aan 151,1 mFl.

Als we S van F afleiden, wordt de vergelijking van de lijn door alle stations:

$F = -6,0 S + 189,4$ Als F gelijk is aan 0 mFl is S gelijk aan 31,5 ‰

Als S gelijk is aan 0 ‰ is F gelijk aan 189,4 mFl.

Ook nu is het water in het gehele bemonsterde gebied te beschouwen als behorende tot één watermassa. Vergelijken we de gevonden vergelijkingen met die van andere auteurs (zie NIENHUIS,

1967):

DUURSMA (1961) vindt, gaande vanuit het Molengat (Noordzeewater) via Malzwin naar de sluis van Den Oever en het IJsselmeer opvarende in de fluorescentie een variatie van 12,0 mFl-eenheden (bij een saliniteit van 30 ‰) t/m 59 mFl (bij een saliniteit van 0,9 ‰). Er blijkt dus dat DUURSMA bij een saliniteit van 0 ‰ een fluorescentie vindt voor de Westelijke Waddenzee van circa 60 mFl. In de Oostelijke Waddenzee zijn veel hogere waarden te vinden bij een saliniteit van 0 ‰ (omgerekend vanuit de vergelijking van de gevonden lijnen), namelijk in april circa 100 mFl en in september circa 170 mFl. Dit wijst duidelijk op een grotere aanvoer van fluorescerende stoffen van het land, eventueel ook van een grotere produktie hiervan in de Waddenzee. De lijnen die het verband weergeven tussen de fluorescentie en de saliniteit in de Oostelijke Waddenzee lopen (zowel in april als in september) dus steiler dan die voor de onderzochte Noordzee- en Waddenzegebieden. In april blijkt de fluorescentie in de Oostelijke Waddenzee over het geheel gezien lager te zijn dan in september, hetgeen weer een gevolg kan zijn van de geringe aanvoer van zoet water in april.

g. IV. Het verdelingspatroon van de concentratie van fluorescerende stoffen (463 nm) in het onderzochte gebied (Figs. 15 en 16)

In april bevinden de minimumwaarden zich in de Lauwers en de Zuid-Oost Lauwers en de hoge waarden voor de fluorescentie zijn te vinden op het wad tussen Rottumeroog en de Groningse kust en verder vlak bij Noordpolderzijl. De fluorescerende stoffen zijn dus voornamelijk op de ondiepe plaatsen opgehoopt (al is het niet al te grote concentratie), die droogvallen bij eb.

In september is dit patroon gewijzigd en kunnen we opmerken:

- 1) Er is een veel grotere gradiënt, van zee naar de kust gaand.
- 2) De minimumwaarden vinden we nu in het zeegat van de Lauwers.
- 3) Verder de Lauwers en de Zuid-Oost Lauwers opvarend vinden we steeds hogere waarden voor de fluorescentie (463 nm).
- 4) Ook het wantij tussen Rottumeroog en de Groningse kust bezit nog vrij hoge fluorescentie-waarden.
- 5) De Wester-Eems bezit iets lagere waarden dan het wantij.
- 6) De hoogste waarden bevinden zich nu vlak langs de Groningse kust.

g. V. De fluoresceentie van de fluorescerende stoffen met een fluorescentiemaximum bij 400 nm (Figs. 17 en 18)

In april treedt er een variatie op van 1,8 - 3,5 mFl en in september van 2,5 - 10,3 mFl.

Het verband tussen fluorescentie en saliniteit bezit in april een correlatiecoëfficiënt $r = -0,255$ voor alle stations. Deze is niet significant en er is dus geen relatie tussen fluorescentie (400 nm) en saliniteit. Wellicht is dit voor een groot deel te wijten aan de kleine verschillen in fluorescentie tussen de verschillende stations. In september is de correlatiecoëfficiënt $r = -0,915$ en nu is er zeer duidelijke correlatie tussen de saliniteit en de fluorescentie (400 nm). De bij deze relatie behorende lijnen in september bezitten de volgende vergelijkingen:

$$1) F_{400} = -1,305 S + 41,9 \text{ Als } F_{400} = 0 \text{ mFl dan is } S \text{ gelijk aan } 32,1 \text{ ‰}$$

$$\text{Als } S = 0 \text{ ‰ dan is } F_{400} \text{ gelijk aan } 41,9 \text{ mFl.}$$

$$2) F_{400} = -1,357 S + 43,5 \text{ Als } F_{400} = 0 \text{ mFl dan is } S \text{ gelijk aan}$$

32,0 ‰

Als S = 0 ‰ dan is F_{400} gelijk aan

43,5 mFl.

Het verdelingspatroon van de fluorescentie bij 400 nm, die volgens NIENHUIS (1967) veroorzaakt wordt door fluorescerende stoffen, die in zee gevormd worden, blijkt in de maanden april en september, vergeleken met die van de fluorescentie bij 463 nm, nagenoeg identiek te zijn.

Hoe zouter het water, hoe minder fluorescerende stoffen (400 nm) dus aanwezig zijn. Dit valt niet erg goed te rijmen met de veronderstelling van NIENHUIS, dat deze fluorescerende stoffen (400 nm) vooral in zee gevormd zouden worden. Hoewel produktie hiervan in zee geenszins onmogelijk is, worden zij in ieder geval tevens in vrij sterke mate met het zoete water aangevoerd, of zij ontstaan in het brakke water op het Wad in de Oostelijke Waddenzee.

VI. Litteratuur

- BARNES, H., 1959. Apparatus and methods for oceanography. I: Chemical. G. Allen & Unwin Ltd. London.
- CARPENTER, J.D.H., 1966. New measurements of oxygen solubility in pure and natural water. Limnol. Oceanogr. 11 (2): 264-277.
- CARRITT, D.E. & J.H. CARPENTER, 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater. J. Mar. Res. 24 (3): 286.

- DAM, L. van, 1940. Estimation of chlorides in one ml seawater by means of syringe pipettes. *Treubia*, 17: 473-477.
- DORRESTEIN, R., 1960. Einige klimatologische und hydrologische Daten für das Ems-Estuarium. *Verh. Ned. Geol. Mijnb. k. Gen.*, Geol. Serie 19: 39-42.
- , 1960. On the distribution of salinity and of some other properties of the water in the Ems-estuary. *Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. k. Gen.*, Geol. Serie 19: 43-74.
- DORRESTEIN, R., & L. OTTO, 1960. On the mixing and flushing of the water in the Ems-estuary. *Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. k. Gen.*, Geol., Serie 19: 83-102.
- DUURSMA, E.K., 1961. Dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus in the sea. *Neth. J. Sea Res.*, 1 (1/2): 1-148. (These, 1960).
- DUURSMA, E.K., & J.W. ROMMETS, 1961. Interprétation mathématique de la fluorescence des eaux douces, saumâtres et marines. *Neth. J. Sea Res.*, 1: 391-405.
- DUURSMA, E.K., 1965. The dissolved organic constituents of seawater. Chapter 11 of "Chemical Oceanography" ed. by J.P. Riley and G. Skirrow. Academic Press, London.
- DUURSMA, E.K., 1966. Prediction of dissolved organic compounds in natural waters from decomposition and recomposition processes. In "Chemical environment in the aquatic habitat" -Proceedings of an I.B.P. Symposium held in Amsterdam and Nieuwersluis 10-16 Oct. 1966. ed. by H.L. Golterman and R.S. Clymo. Uitg. Noordhollandse uitg. mij. Amsterdam 1967.
- EGGINK, H.J., 1965. Het estuarium als ontvangend water van grote hoeveelheden afvalstoffen. Thesis, Wageningen.

- FISHMAN, M.J. & M.W. SKOUGSTAD, 1965. Rapid field and laboratory determination of phosphate in natural waters. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper no. 525-B: 167-169.
- GROOT, S.J. de, & H. POSTMA, 1968. The oxygen content of the Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., 4: 1-10.
- HARVEY, H.W., 1955. The chemistry and fertility of seawater. Cambridge University Press, Cambridge.
- JONGE, H. de, 1963. Inleiding tot de medische statistiek. Dl. I en II. Ned. Instituut voor praeventieve geneeskunde.
- KALLE, K., 1949. Fluoreszenz und Gelbstoff im Bottnischen und Finnischen Meerbusen. D. Hydr. Ztschr., 2: 117-124.
- , 1956. Chemisch-hydrographische Untersuchungen in der inneren Deutscher Bucht. D. Hydr. Ztschr., 9: 55-65.
- KAMPS, L.F., R. DORRESTEIN & L. OTTO, 1960. Note on the annual variation of salinity, temperature and oxygen-content in the Ems.estuary. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. k. Gen., Geol. Serie 19: 75-81.
- KON. NED. METEOROL. INST., 1968. Maandoverzichten der weersgesteldheid (april en september 1968).
- , 1968. Dagoverzichten der weersgesteldheid (april en september 1968).
- KOROLEFF, F., 1968. Determination of total phosphorus in natural waters by means of Persulfate oxidation. Int. Council for the Exploration of the Sea. Hydrography Committee C.M. 1968/C: 33, Ref. L (Plankton C).
- KÜHL, H. und H. MANN, 1954. Über die hydrochemie der unteren Ems. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., 3: 126-158.
- MAAS, 1966. Aangehaald in J. Leydekker's: "Fluorophors and light-

absorbing substances in natural waters" 7.

- MENZEL, D.W. & N. CORWIN, 1965. The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fractions by persulfate oxidation. *Limn. Oceanogr.*, 10 (2): 280-282.
- MINISTERIE VAN MARINE AFD. HYDROGRAFIE, 1951. Stroomatlas van de Nederlandse kust.
- MURPHY, J. & J.P. RILEY, 1956. The storage of seawater samples, for the determination of dissolved inorganic phosphate. *Anal. chim. acta.* 14: 318-319.
- , 1958. A single solution method for the determination of soluble phosphate in seawater. *J. Mar. biol. Ass. U.K.* 37: 9-14.
- , 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- NED. GEOL. VER., 1964. Het Waddenboek. Thieme, Zutphen, (foto van de Waddenzee benoorden de Groningse kust op p. 11).
- NIENHUIS, J., 1967. Fluorescentieverschijnselen in het Noordzeewater. Doctoraal verslag, N.I.O.Z., Den Helder.
- OHLE, W., 1938. Zur Vervollkommnung der hydrochemischen Analyse 3. Die Phosphorbestimmung. *Z. Angew. Chem.* 51: 906-911.
- OLSEN, S., 1967. Recent trends in the determination of orthophosphate in water. In "Chemical environment in the aquatic habitat" -Proceedings of an I.B.P. Symposium 1966, held in Amsterdam and Nieuwersluis. Noord-Hollandse uitg. mij., Amsterdam. . 63-105.
- OTTO, L., 1966. Optical properties and watermasses of the Southern

- Bight of the North Sea during March 1966. Int. Council for the Exploration of the Sea. Hydrographical Committee C.M. 1966/N: 13.
- , 1967. Investigations on optical properties and watermasses of the southern North Sea, Neth. J. Sea Res., 3: 523-551.
- POSTMA, H. 1950. The distribution of temperature and salinity in the Wadden Sea. Waddensymposium. Tijdschrift Kon. Ned. Aardrijksk. Gen., 67: 34-42.
- POSTMA, H. & J. VERWEY, 1950. Resultaten van hydrografisch onderzoek in de Waddenzee, Waddensymposium. Tijdschrift Kon. Ned. Aardrijksk. Gen., 67: 3-33.
- POSTMA H., 1954. Hydrography of the Dutch Wadden Sea. Arch. Néerl. Zool. 10: 405-511.
- , 1960. Einige Bemerkungen über den Sinkstofftransport im Ems-Dollart Gebiet. Das. Eems-Estuarium, ein sedimentologisch Symposion. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. k. Gen., Geol. Serie, 19: 103-110.
- , 1961. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., 1: 148-190.
- , 1961. Suspended matter and Secchi disc visibility in coastal waters. Neth. J. Sea Res., 1: 359-390.
- RAYMONT, J.E.G., 1963. Plankton and productivity in the Oceans. Pergamon Press, Oxford & London. 471-482.
- RIJKSWATERSTAAT, afd. Waterhuishouding en Waterbeweging, 1968. Getijtafels.
- RIJKSWATERSTAAT, afd. Studiedienst, 1968. Dieptelijnenkaart Eems-Estuarium 1: 100.000.

- RILEY, J.P., 1965. Analytical chemistry of seawater. In:
RILEY & SKIRROW (ed.) Chemical Oceanography 2:
295-424.
- RILEY, J.P. & G. SKIRROW, 1965. Chemical Oceanography. 1 and 2.
Academic Press, London and New York.
- STRAATEN, L.M.J.U. van, 1964. De bodem der Waddenzee in het "Wadden-
boek"- der Ned. Geol. Ver. Thieme, Zutphen. 75-151.
- STRICKLAND, J.D.H. & T.R. PARSONS, 1965. A manual of seawater analysis.
Ottawa. Fish. Res. Board of Canada, . 125 (second edition,
revised).
- STROOMATLAS van de Nederlandse kust, Ministerie van Marine, afd.
Hydrografie, 1951.
- SVERDRUP, H.U., M.W. JOHNSON & R.H. FLEMING, 1942. The Oceans, their
physics, chemistry and general biology. Prentice Hall.
- TIJSSEN, S.B., 1968. Hydrographic and chemical observations in the
southern Bight, August and November, 1967. Annales
Biologiques 24: 52-56.
- U.S. NAVAL OCEANOGRAPHIC OFFICE, 1964. National Oceanographic Data
Center. Manual Series. Processing, physical and chemical data
from oceanographic stations. Part I: Coding and Key punching.
Publications M-2 (Rev. Aug. 1964). Washington D.C. 20390
1964.
- WIJVEKATE, M.L., 1966. Verklarende Statistiek. Het Spectrum, Utrecht.
- ZEEKAARTEN, Hydrografische Dienst, 's Gravenhage. 1962. Zeekaart no.
1460. Monden van de Eems.

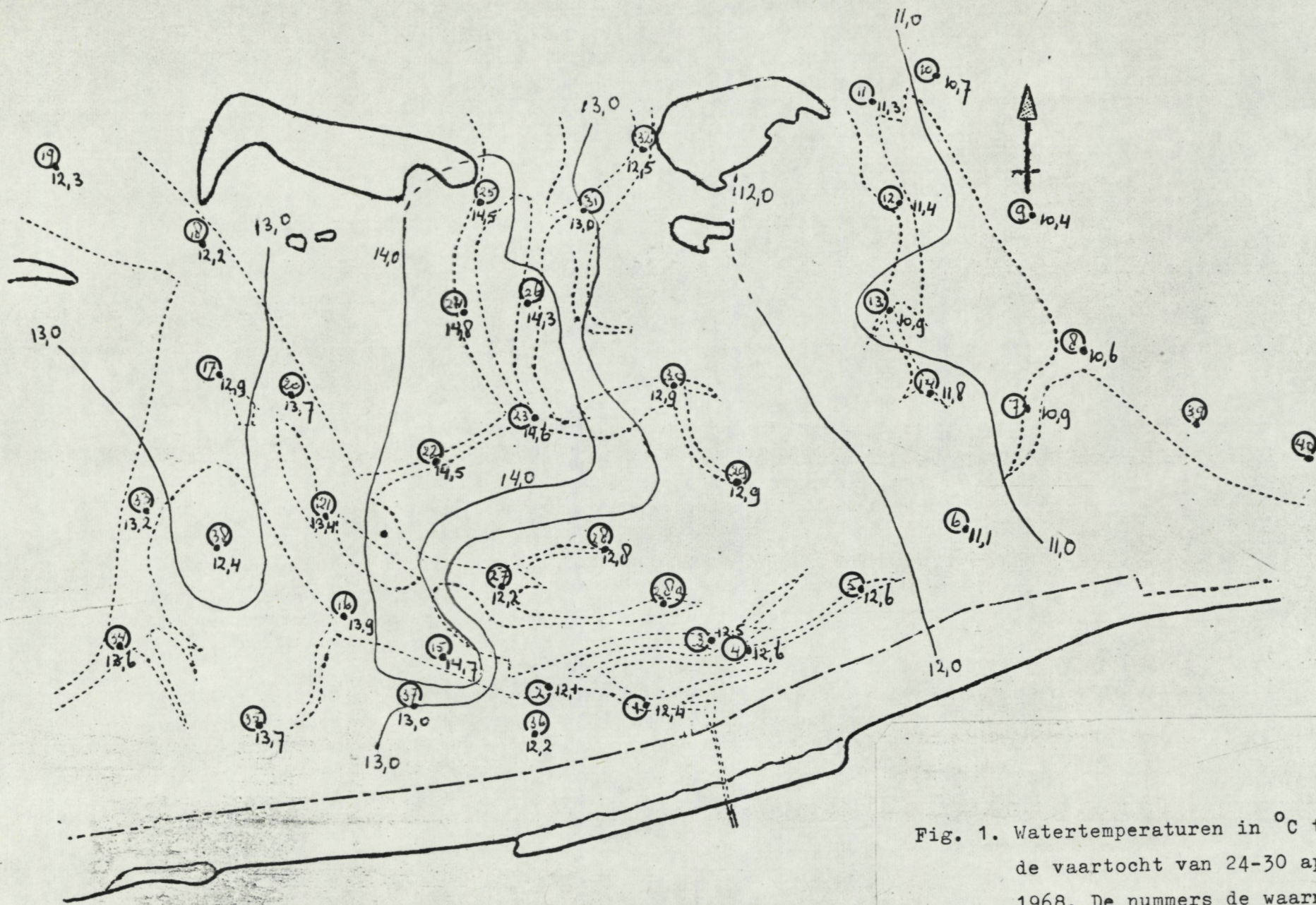


Fig. 1. Watertemperaturen in °C tijdens de vaartocht van 24-30 april 1968. De nummers de waarnemingspunten binnen cirkels.

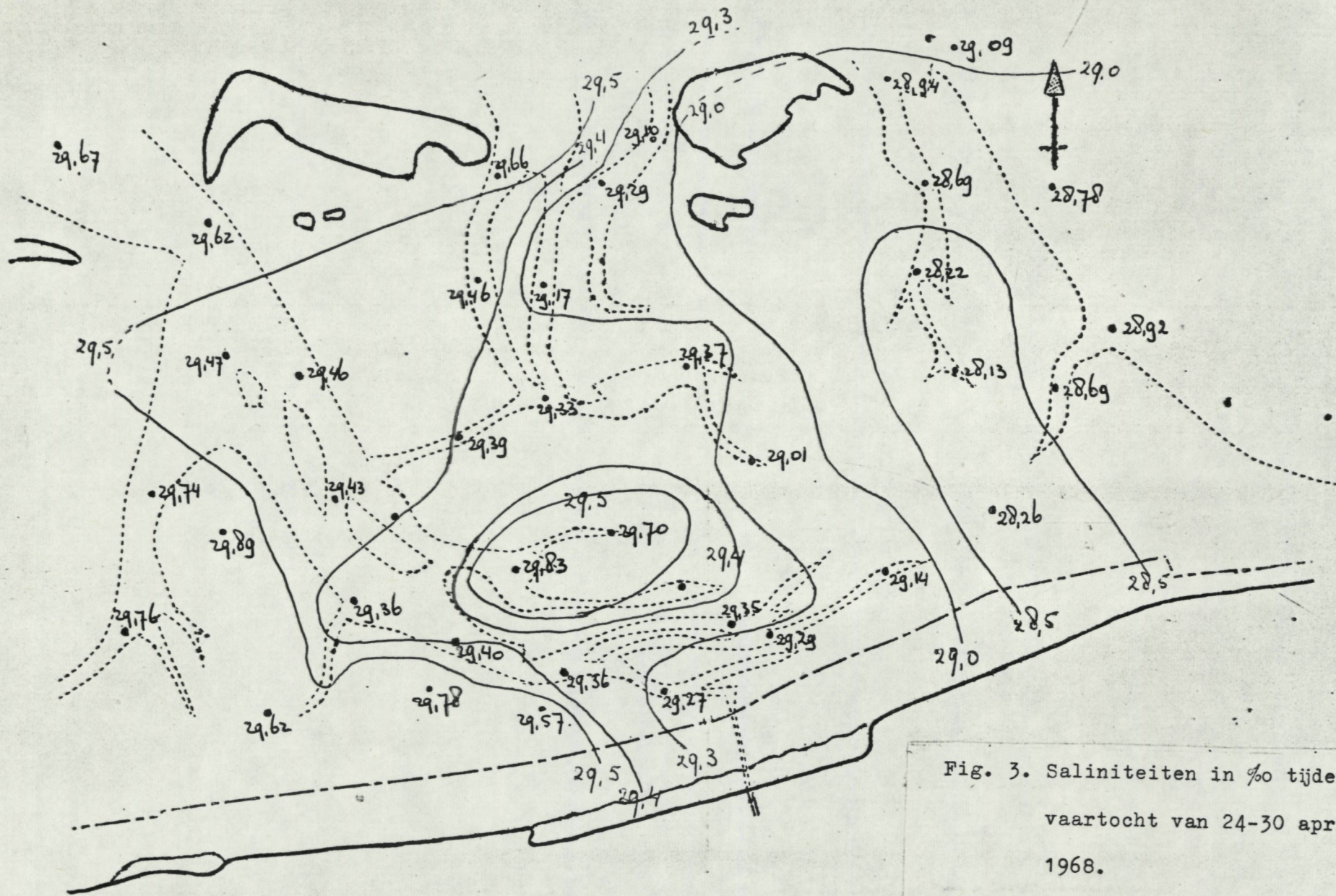


Fig. 3. Saliniteiten in ‰ tijdens de vaartocht van 24-30 april 1968.

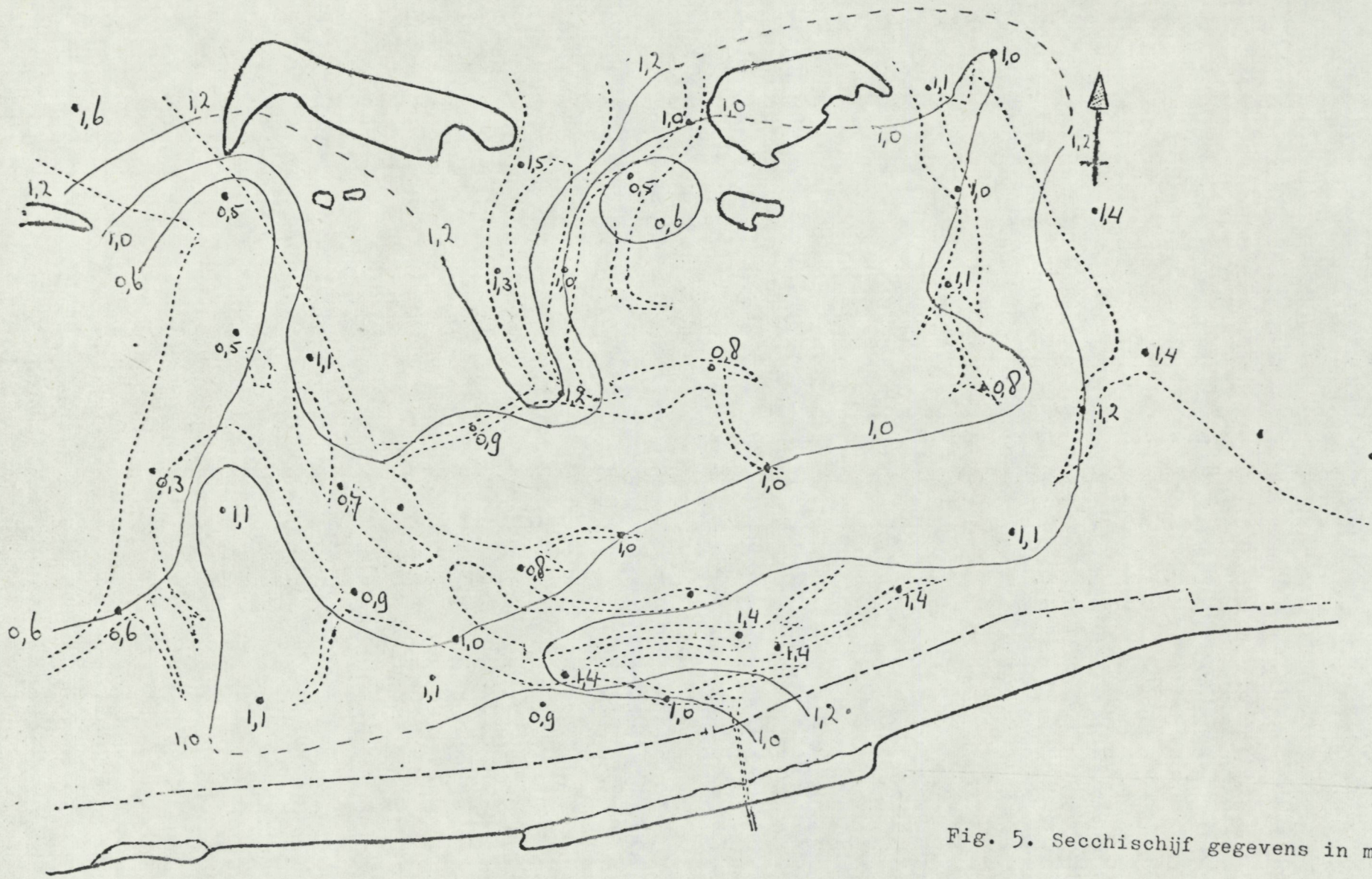


Fig. 5. Secchischijf gegevens in meters
 tijdens de vaartocht van 24-30
 april 1968.

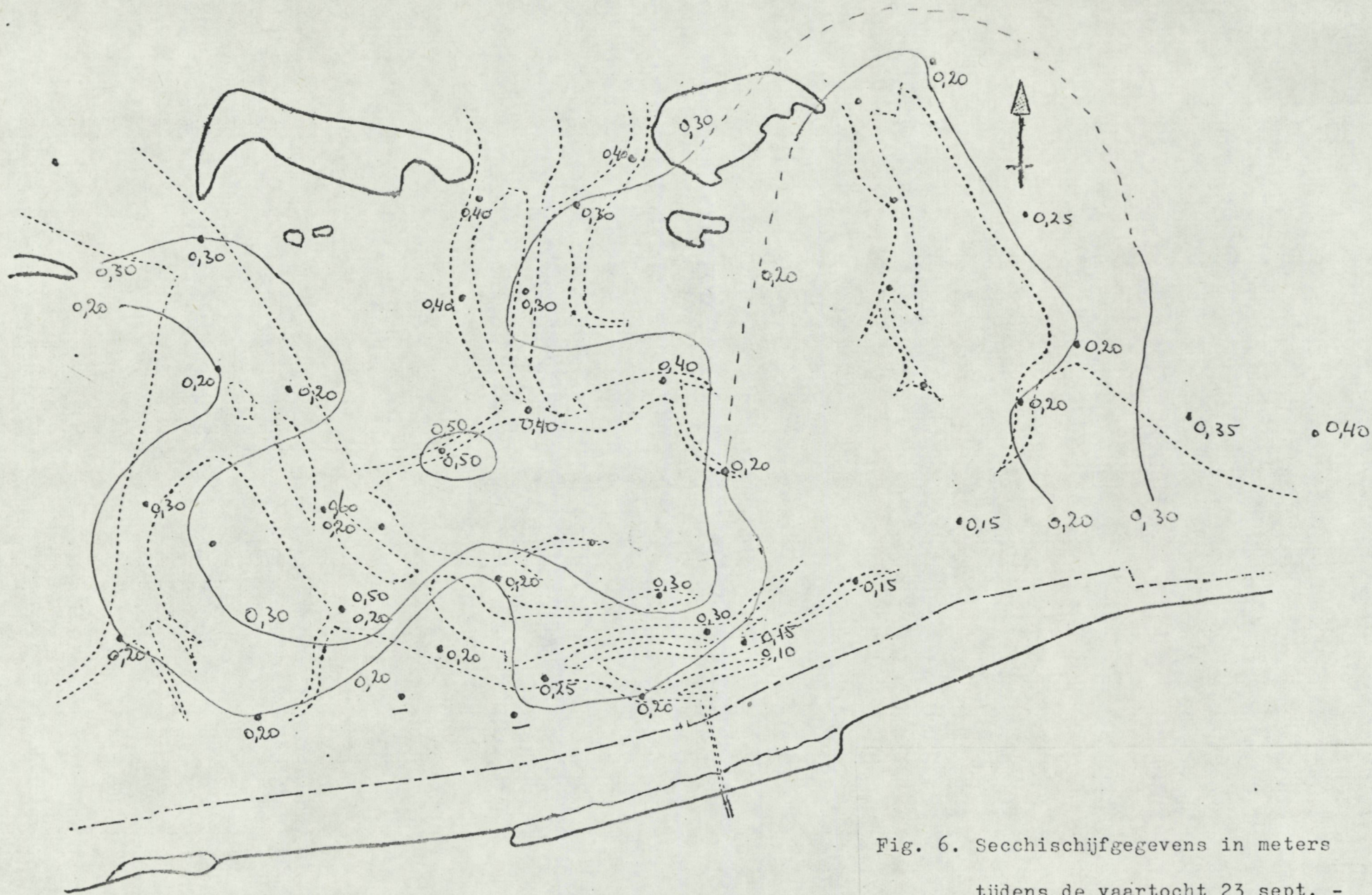


Fig. 6. Secchischijfgegevens in meters
 tijdens de vaartocht 23 sept. -
 1 oct 1968.

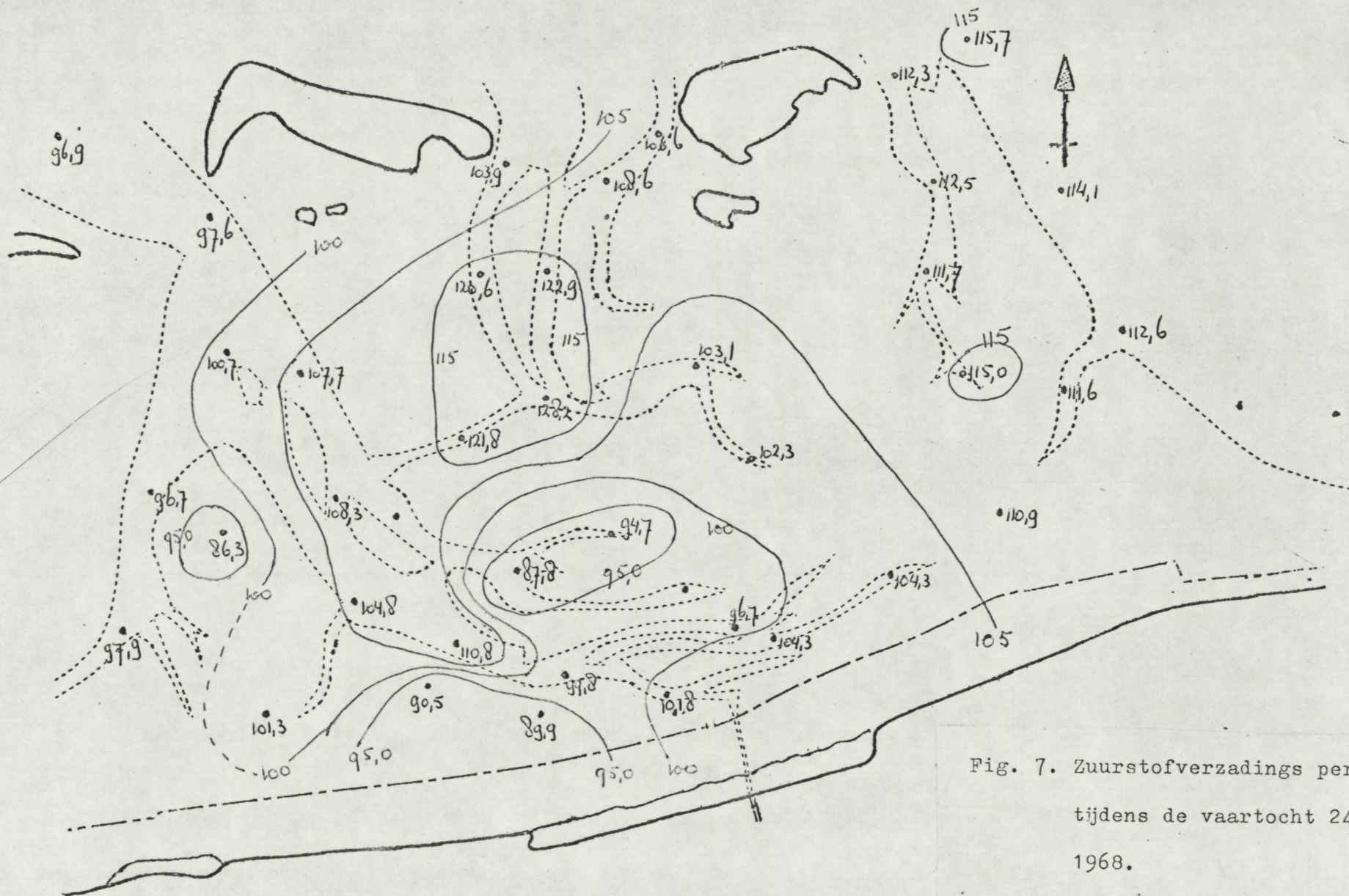


Fig. 7. Zuurstofverzadings percentages tijdens de vaartocht 24-30 april 1968.

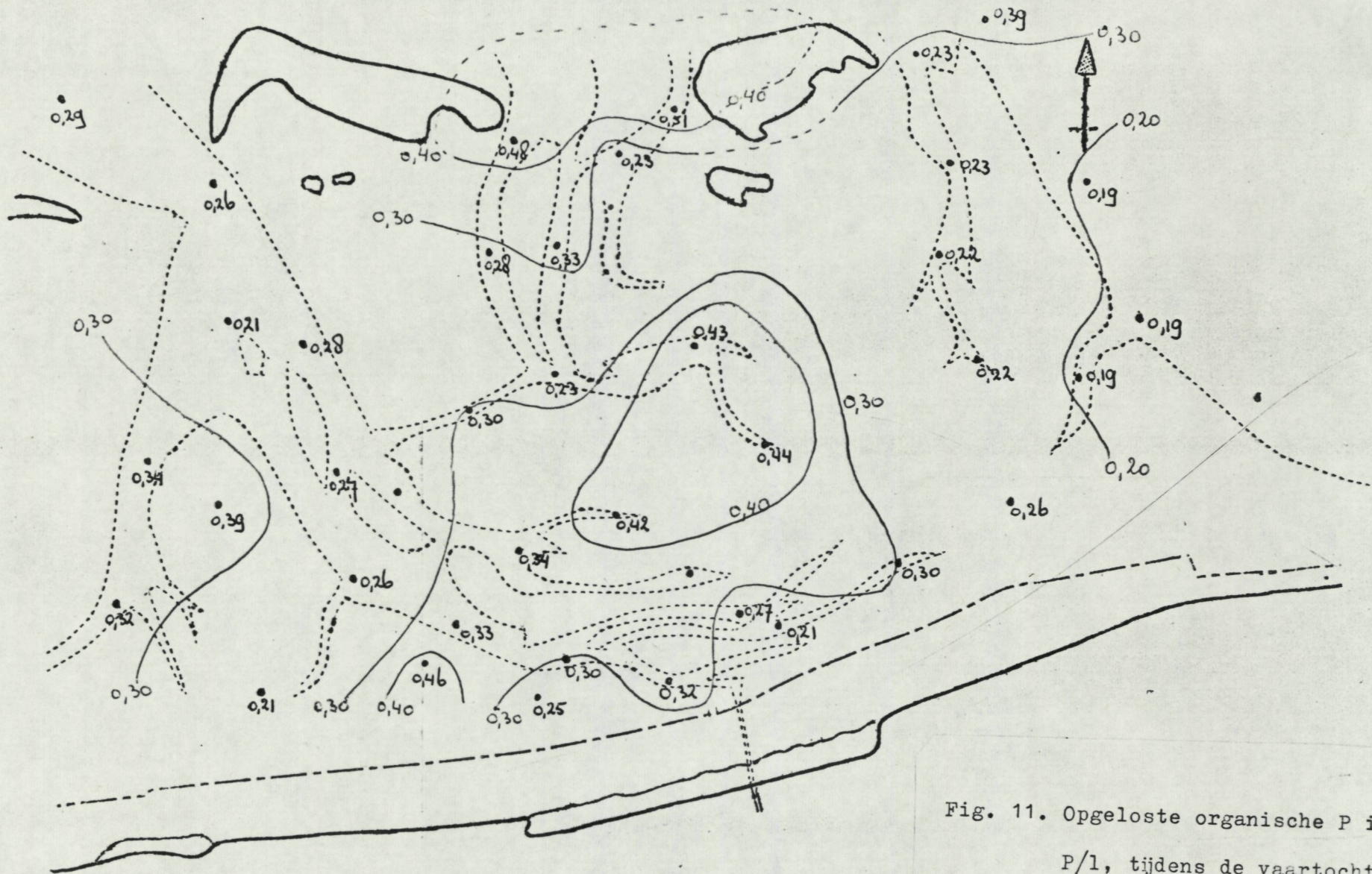


Fig. 11. Opgeloste organische P in μ grat P/1, tijdens de vaartocht 24-30 april 1968.

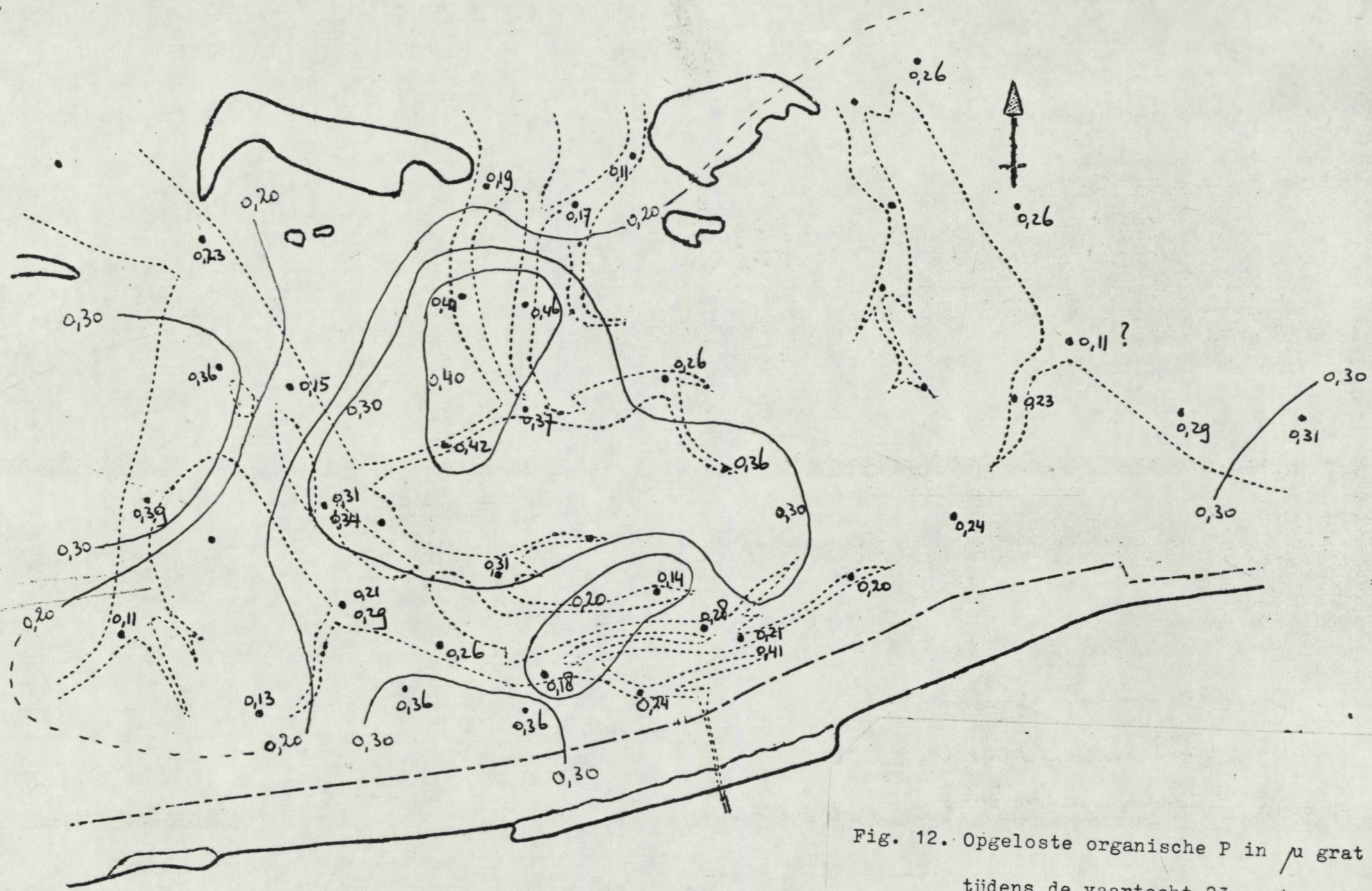
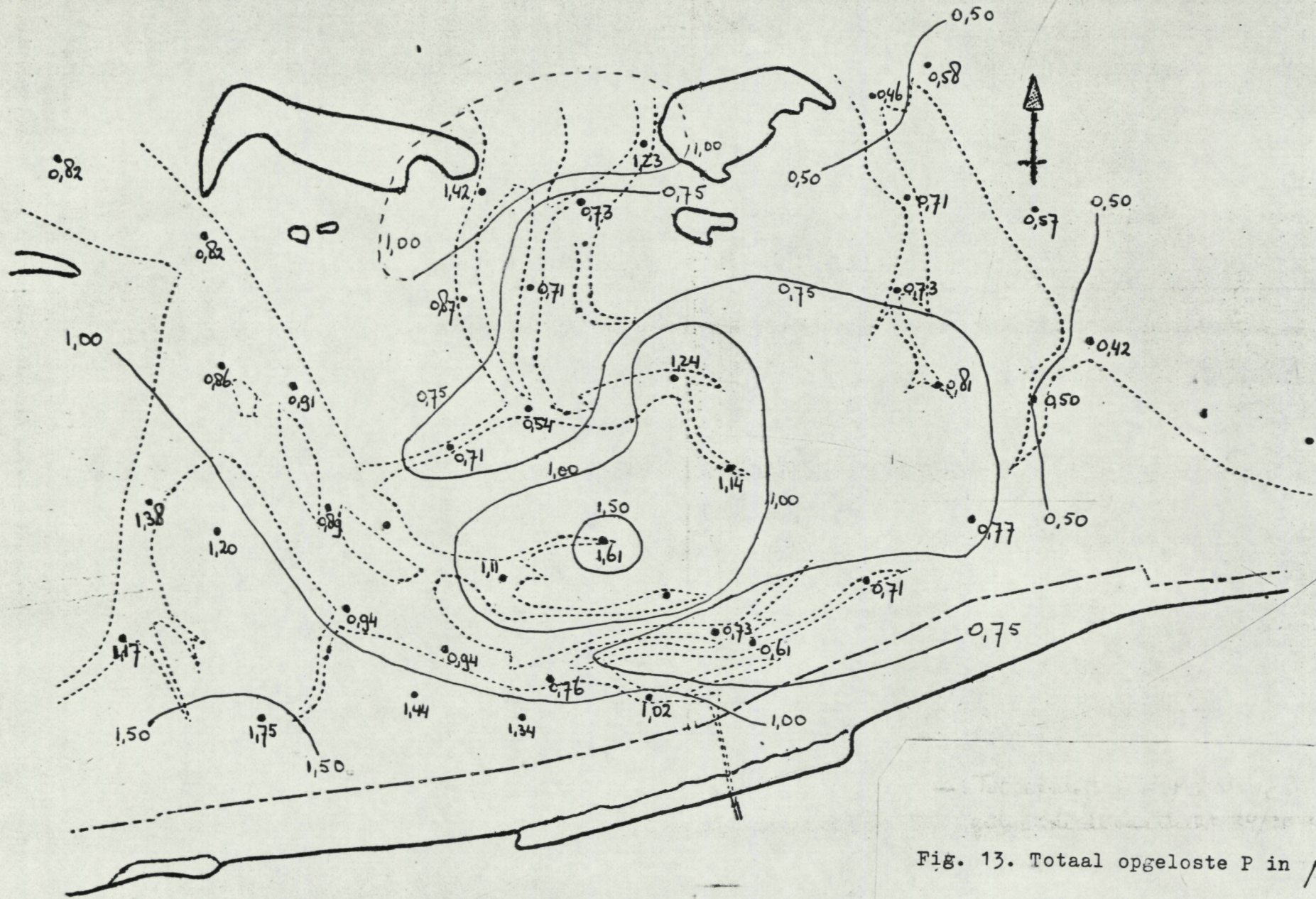


Fig. 12. Opgeloste organische P in μ grat P
 tijdens de vaartocht 23 sept. - 1 oct
 1968.



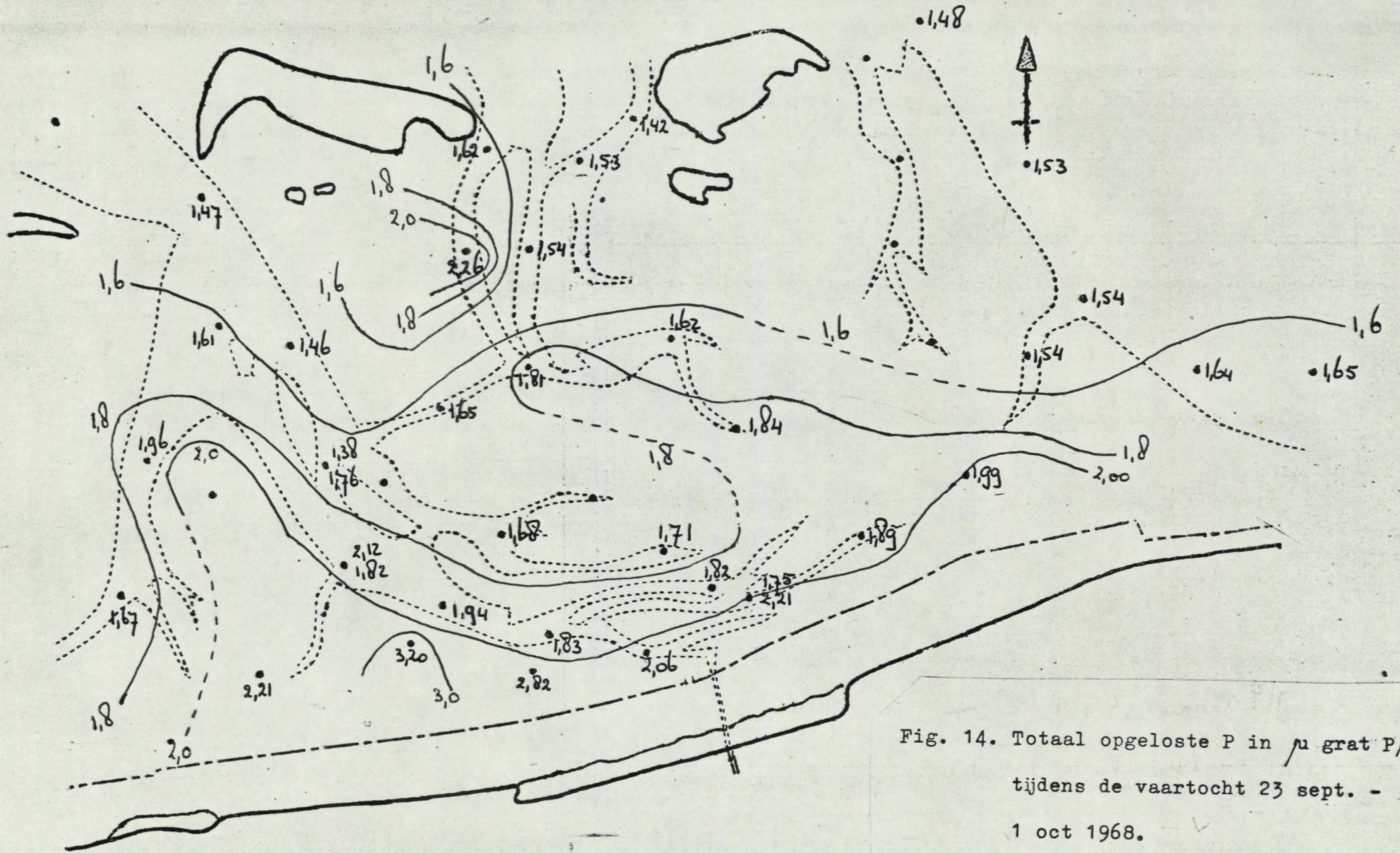


Fig. 14. Totaal opgeloste P in μ grat P/1,
 tijdens de vaartocht 23 sept. -
 1 oct 1968.

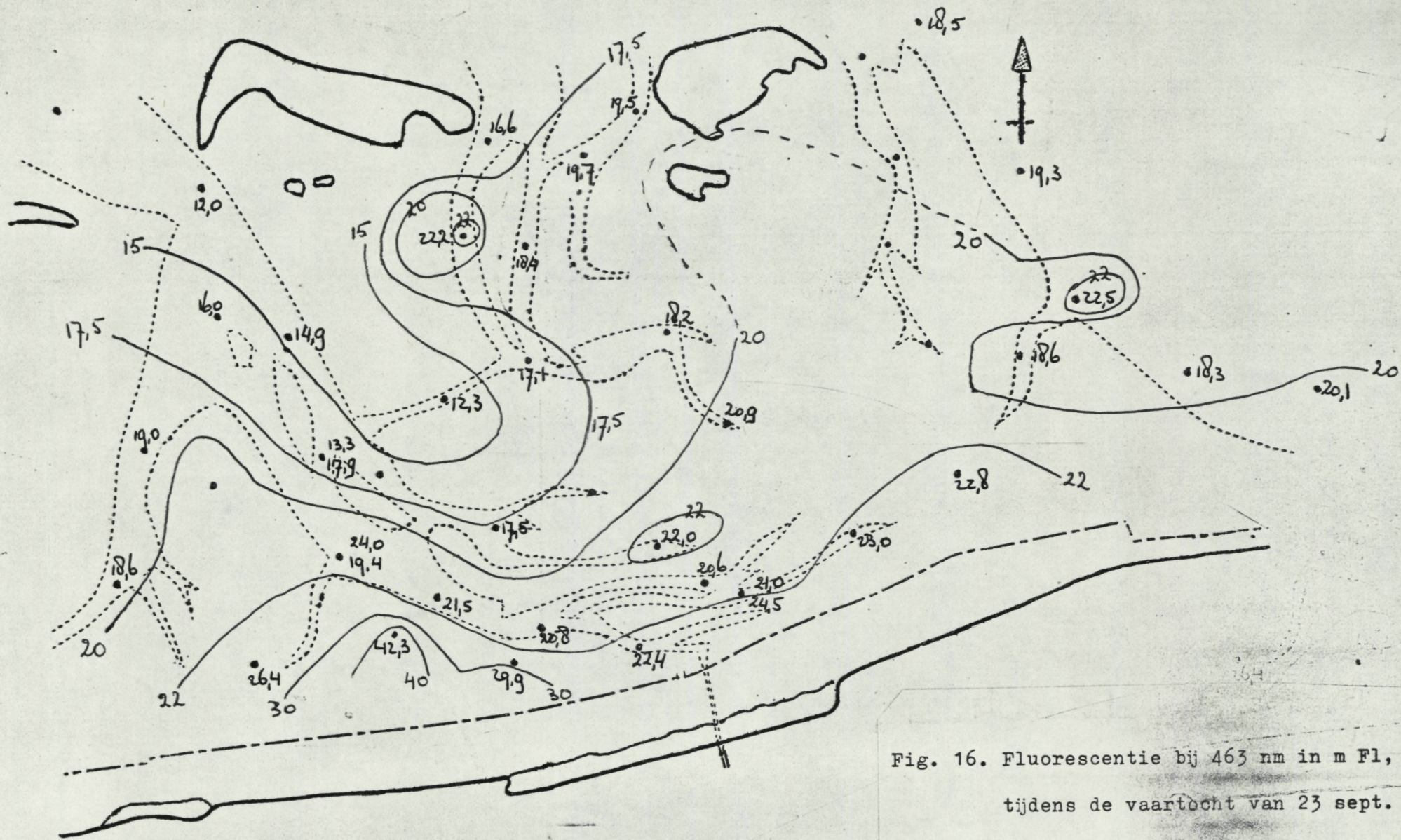


Fig. 16. Fluorescentie bij 463 nm in m Fl,
 tijdens de vaartocht van 23 sept.
 1 oct 1968.

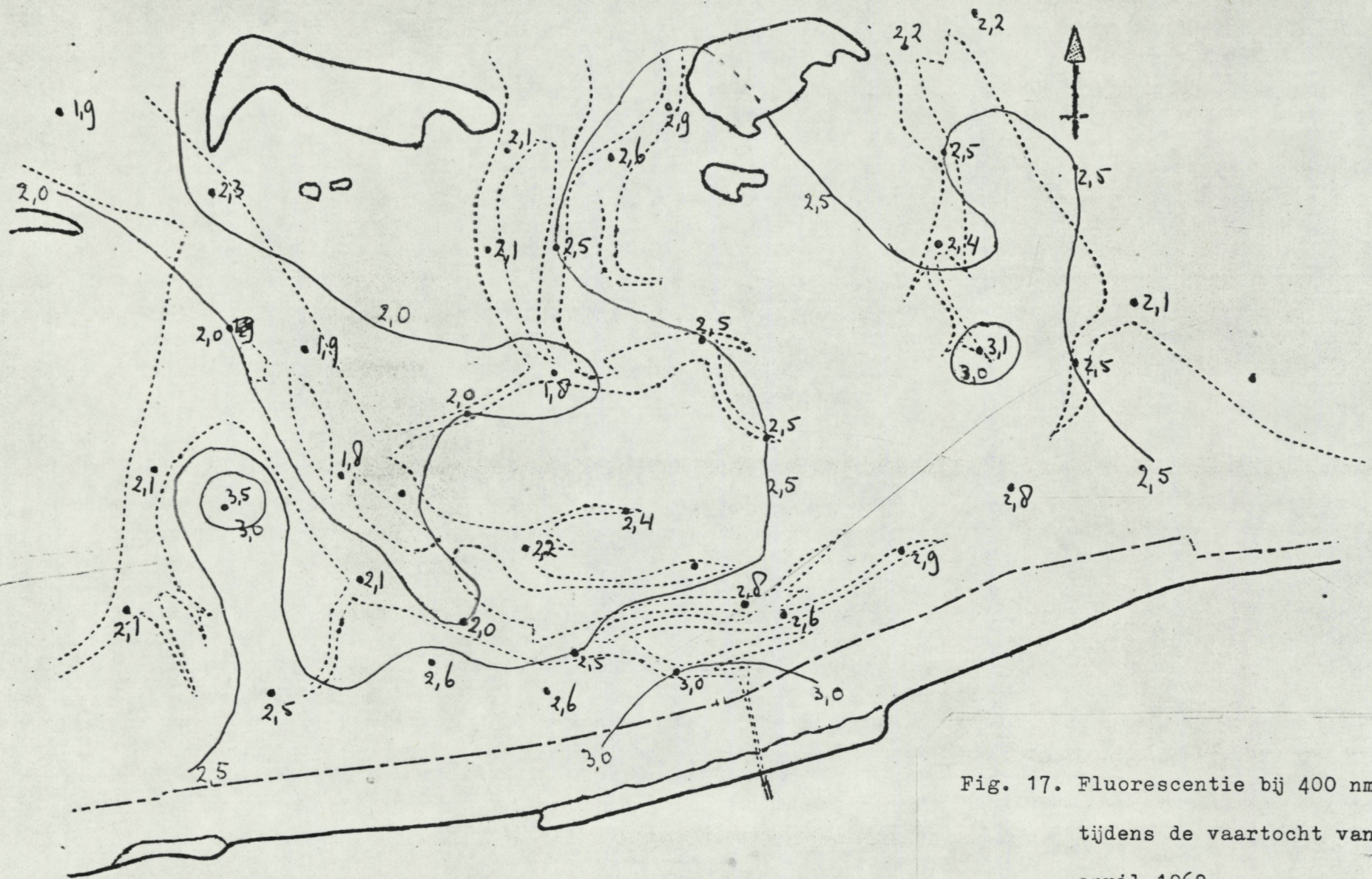


Fig. 17. Fluorescentie bij 400 nm in m Fl,
 tijdens de vaartocht van 24-30
 april 1968.

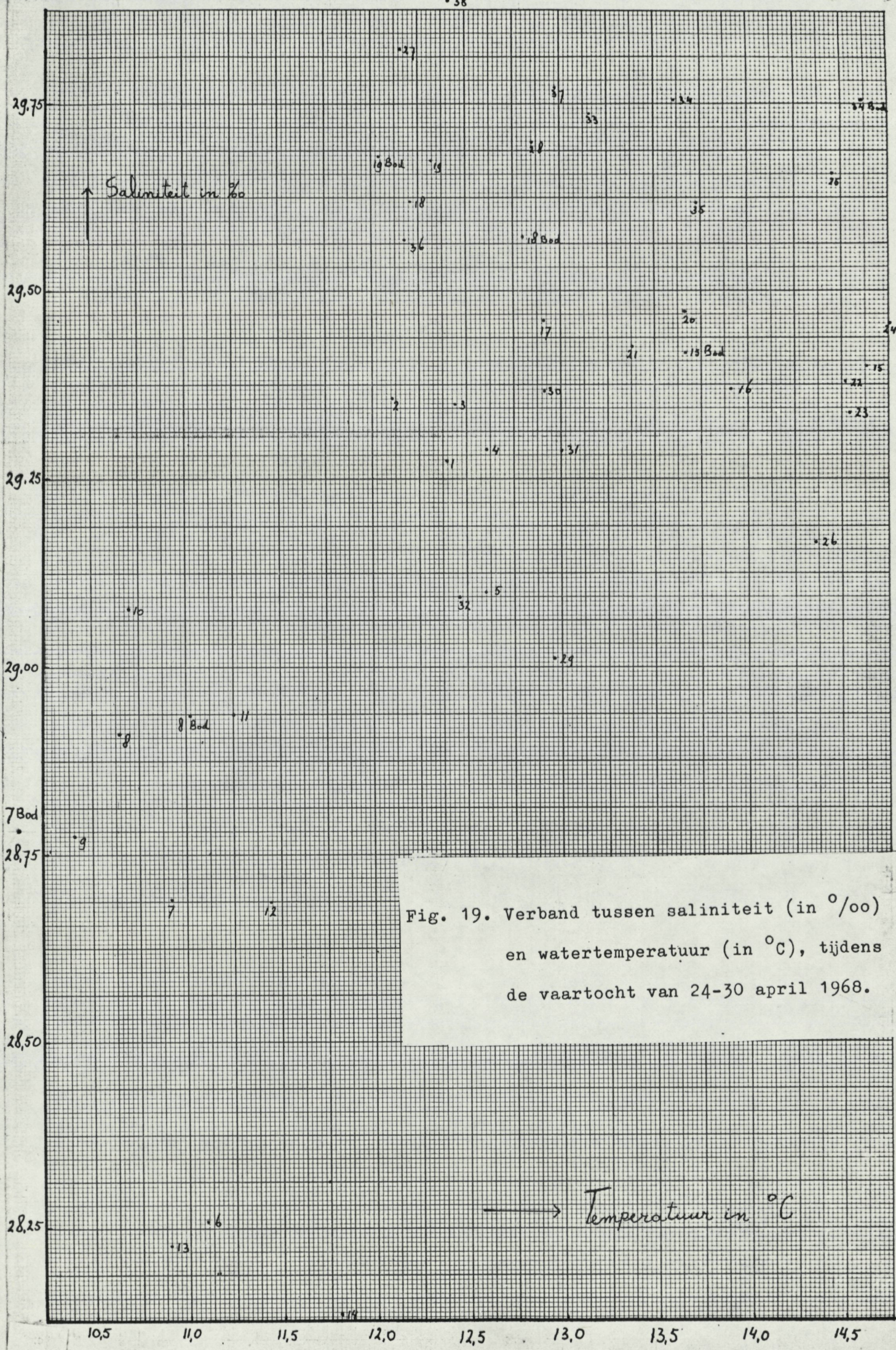


Fig. 19. Verband tussen saliniteit (in ‰) en watertemperatuur (in °C), tijdens de vaartocht van 24-30 april 1968.

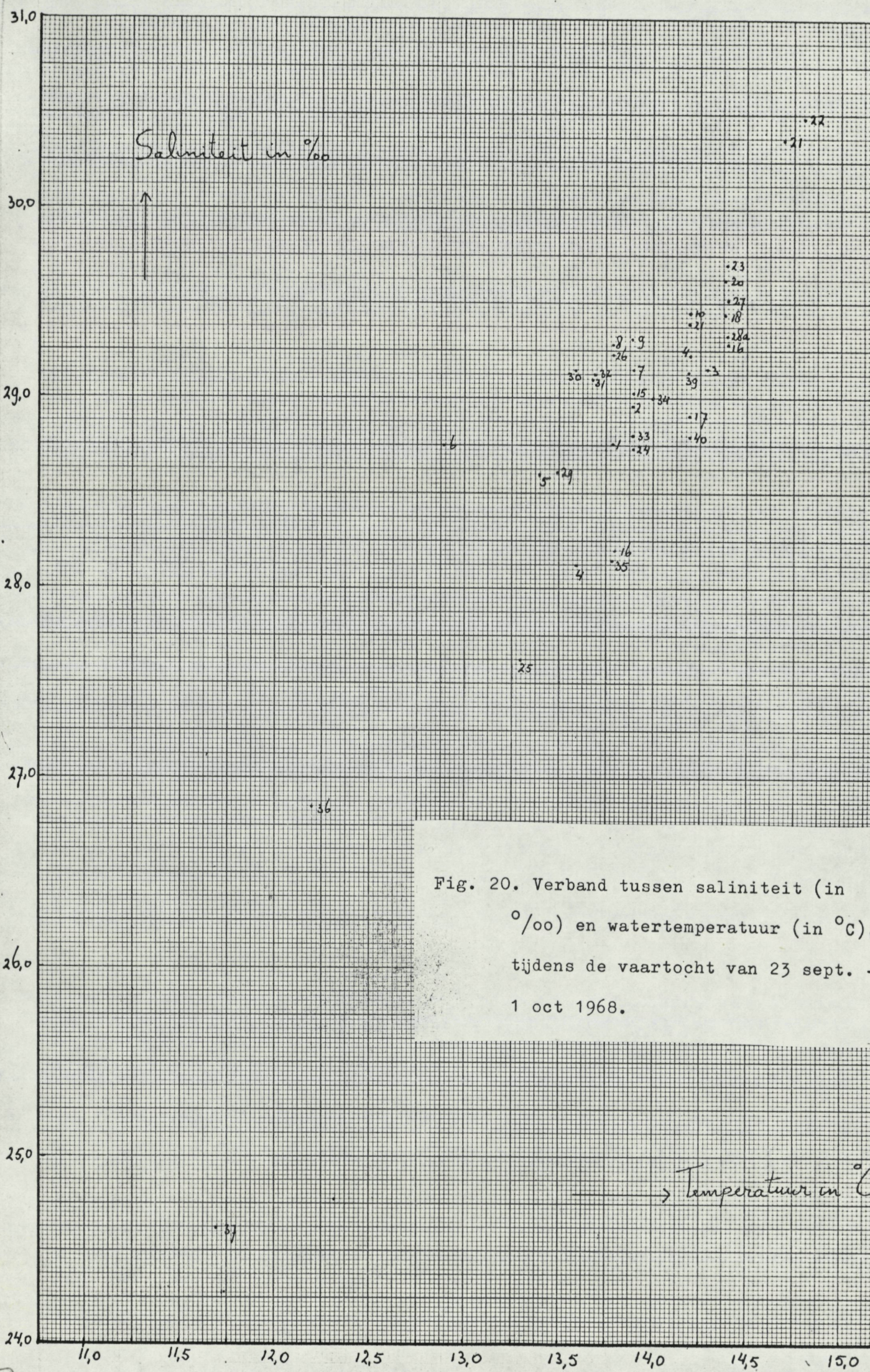


Fig. 20. Verband tussen saliniteit (in ‰) en watertemperatuur (in °C) tijdens de vaartocht van 23 sept. - 1 oct 1968.

PO₄-P conc. in μ grat $\frac{P}{l}$

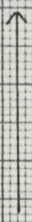
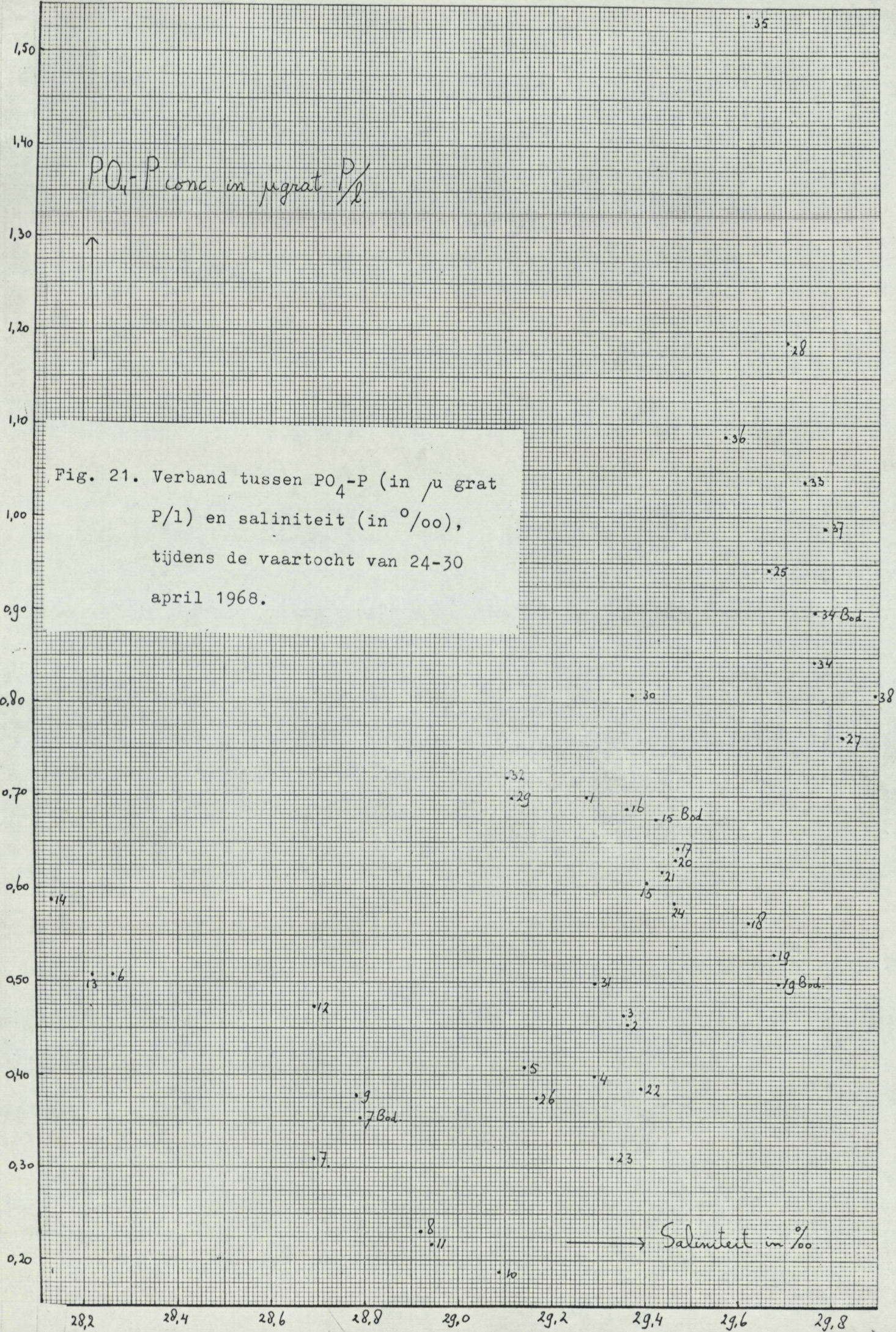


Fig. 21. Verband tussen PO₄-P (in μ grat P/l) en saliniteit (in ‰), tijdens de vaartocht van 24-30 april 1968.



→ Saliniteit in ‰

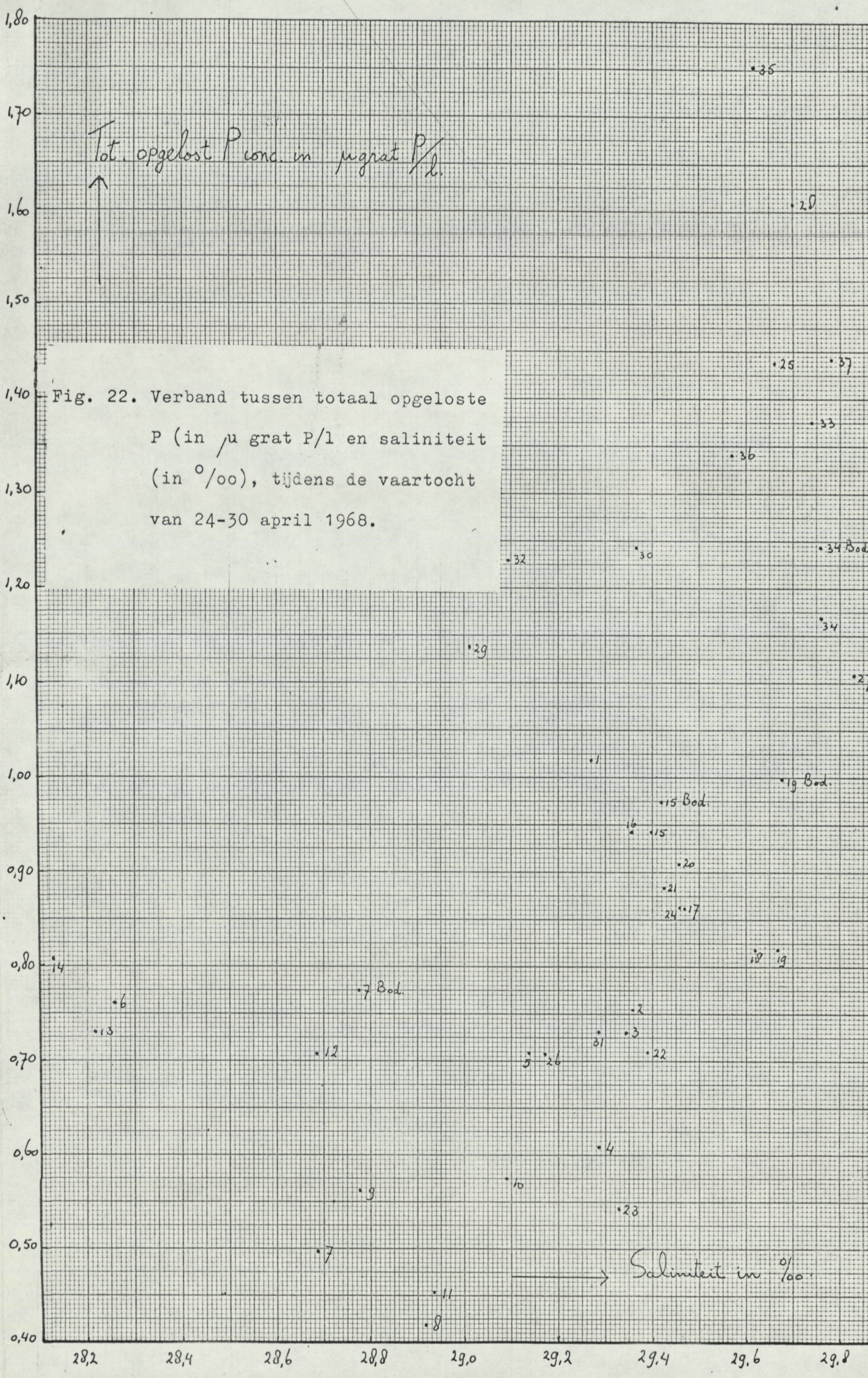


Fig. 23. Verband tussen PO_4 -P (in μ grat P/l) en saliniteit (in ‰), tijdens de vaartocht 23 sept. - 1 oct 1968.

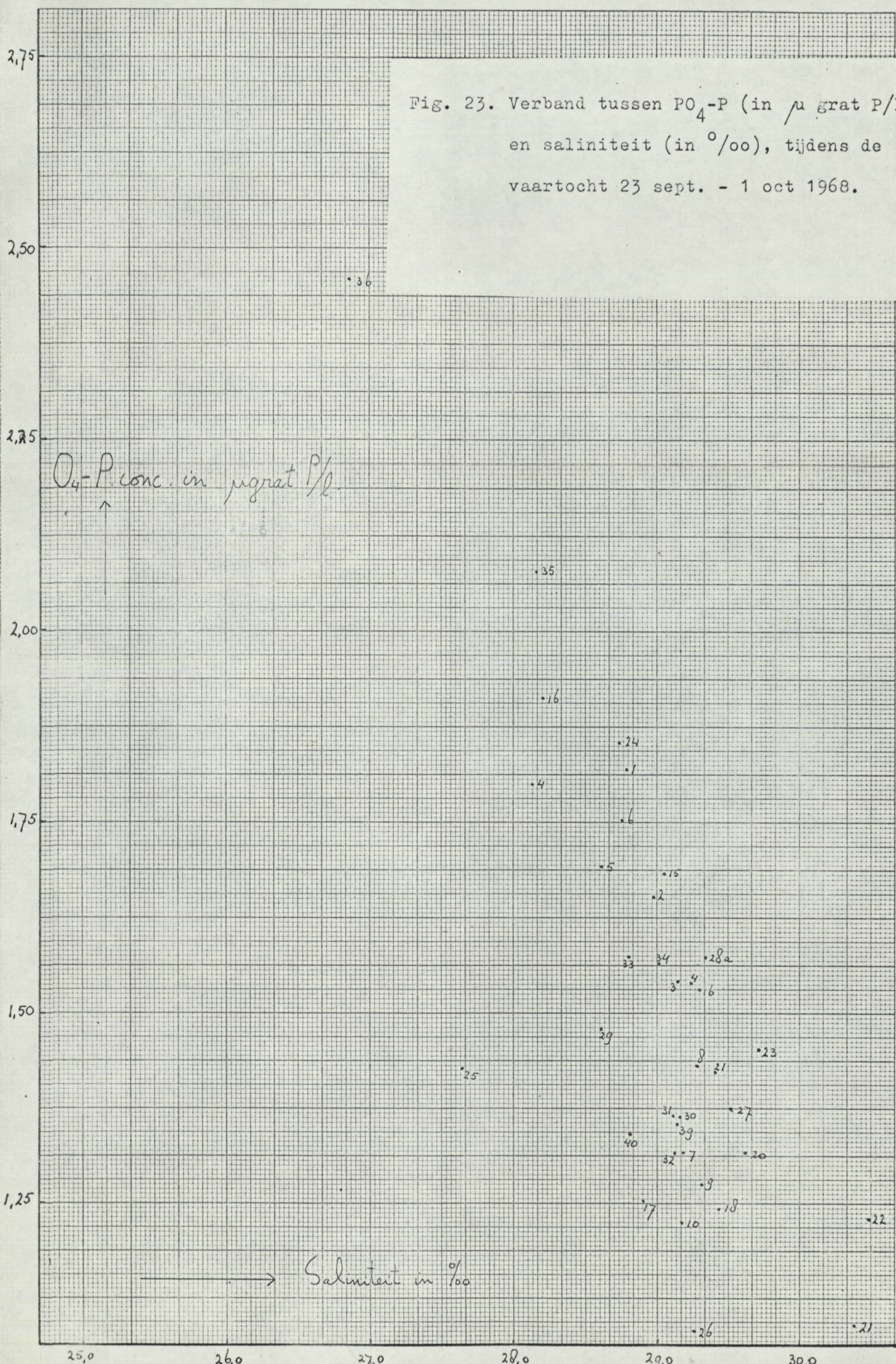
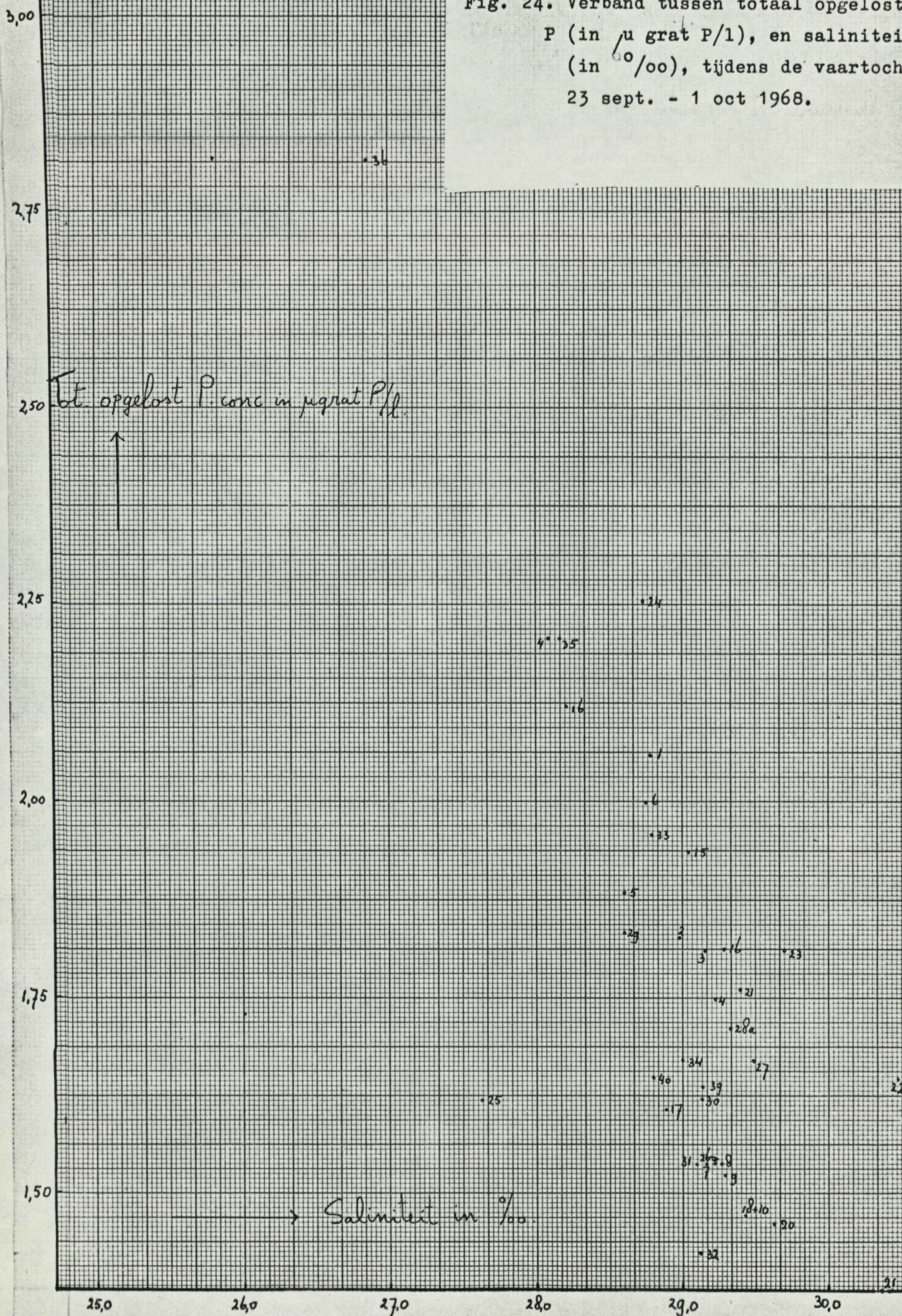


Fig. 24. Verband tussen totaal opgelost
 P (in μ grat P/l), en saliniteit
 (in ‰/‰), tijdens de vaartocht
 23 sept. - 1 oct 1968.



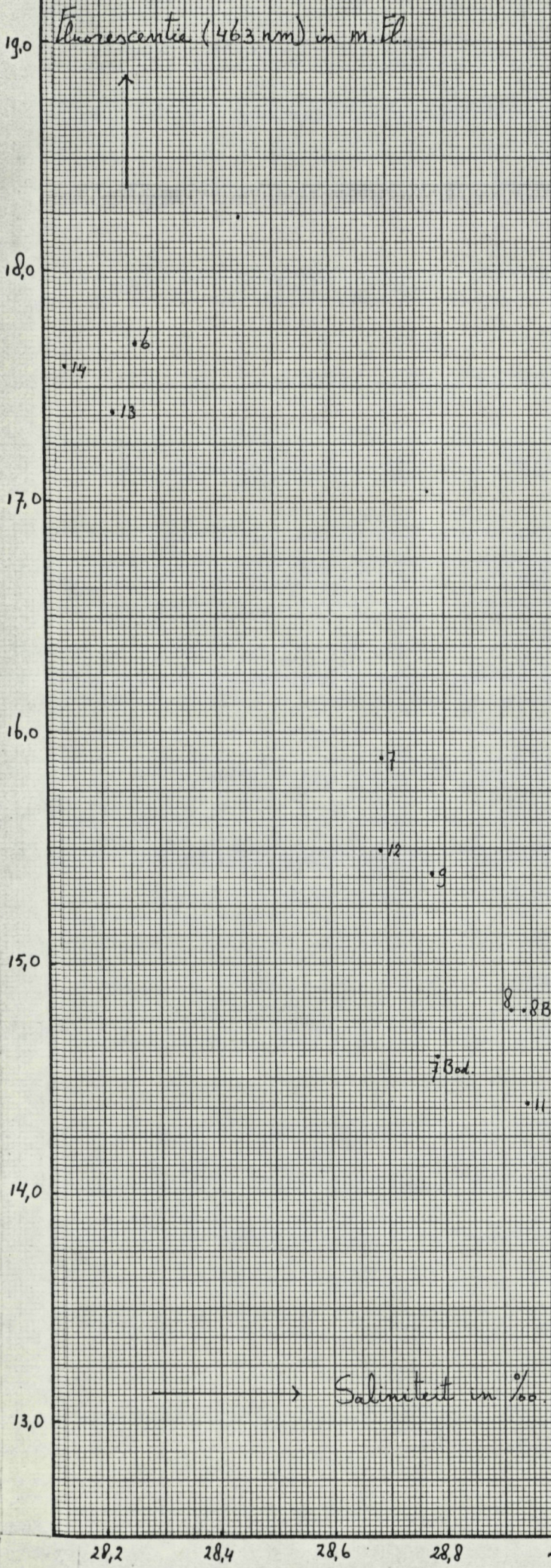


Fig. 25. Verband tussen Fluorescentie (bij 463 nm, in m Fl) en saliniteit (in ‰), tijdens de vaartocht van 24-30 april 1968.

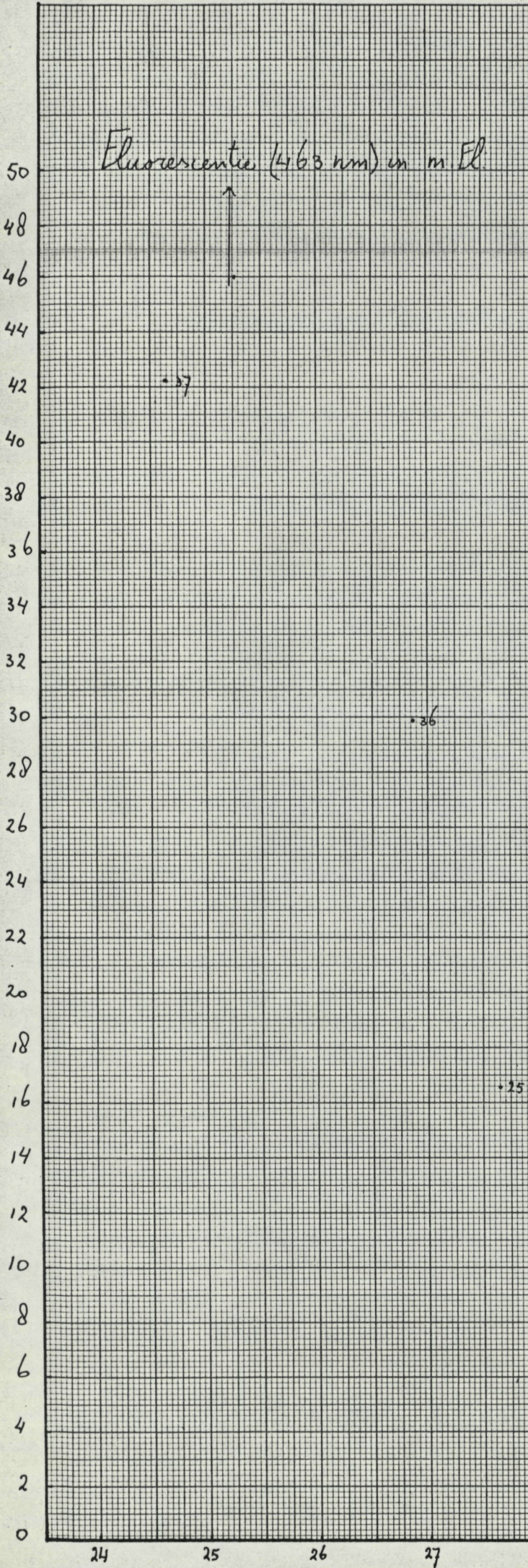


Fig. 26. Verband tussen Fluorescentie (bij 463 nm, in m Fl) en saliniteit (in ‰), tijdens de vaartocht van 23 sept. - 1 oct 1968.

