

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Wetenschappelijk rapport
W.R. 70-1

A.J. MEERBURG

Een diffusieexperiment voor de Nederlandse
kust met behulp van Rhodamine B

De Bilt, 1969

Publikatienummer: K.N.M.I. W.R. 70-1

All rights reserved
No part of this work may be reproduced
without the permission of the
Royal Netherlands Meteorological Institute

U.D.C. 551.465.153

Een diffusieexperiment voor de Nederlandse kust met behulp van Rhodamine B

A.J. Meerburg

Samenvatting

In juni 1968 werd een instantane lozing van 200 kg Rhodamine B uitgevoerd voor de Nederlandse kust tussen Hoek van Holland en Scheveningen. Gedurende $4\frac{1}{2}$ dag werd de ontstane vlek opgemeten. Het gemeten verloop van de maximale concentratie in het centrum van de vlek komt redelijk overeen met wat door van Dam (1968) gevonden werd voor de Nederlandse kustwateren. Bij vergelijking van de gemeten diffusiecoëfficiënt met door Okubo (1968) verzamelde waarden voor de open zee komt de versterkte diffusie ten gevolge van de sterke getijstroom langs de kust duidelijk tot uiting. In het eindstadium van de Rhodamine vlek is een overgang zichtbaar van de invloed van de getijstroom naar de situatie op de open zee.

A diffusion experiment off the Netherlands coast with Rhodamine B

Summary

A diffusion experiment was executed near the Dutch coast, linking up with similar work done by Rijkswaterstaat. 200 kg of Rhodamine B was released on 13th June 1968 during a strong tidal current. Because of technical difficulties the release took 35 minutes. See fig. 1. About 5 hours after the release a few ships happened to cross the patch. After that nine surveys were made with a research vessel by standard methods. Water was taken in at 3 meter depth by means of a pipe which was mounted at midship on portside. Observations made by the ship at varying positions were afterwards shifted to the position where the water would have been at a certain standard time for each survey, by means of a computer programme in which current measurements at station C (fig. 1-10) were used, which were supposed to be representative for the current in the area. The nine surveys are shown in the fig. 2-10. Times of the surveys are given in Table 1. The mean time of the surveys 1 to 6 was approximately the time of the turning of the tidal current.

Using the method given by Okubo (1968), the variance σ^2 of the patch was calculated from a graphical display of concentration vs. equivalent radius (fig. 11-13), assuming a Gaussian distribution function. The results are given in Table 3 and fig. 14.

The amount of dye in the patch was calculated, assuming a uniform distribution with depth, and the result was compared with the quantity released. See Table 4. From fig. 14 and Table 4 it was concluded that survey 2 was of bad quality: probably a part of the patch was missed.

In 2.8 some sources of errors are discussed. It is suggested that the background was assumed too high for survey 4, which should account for the deviating behaviour of the variance of survey 4. To account for the effects of the unfavourable release and the disturbances afterwards, a release time correction was found by calculating the time necessary to get the variance of survey 1, which was 23.7 hour longer than the actual time interval between release and survey 1. In this calculation use was made of diffusion data collected by van Dam (1968) for the Dutch coastal area, while a t^3 dependency was assumed for the variance.

The maximum concentration in the centre of the patch C_{\max} and the apparent diffusivity $K_a = \frac{1}{4} \frac{\sigma^2}{t}$ (Okubo 1968) were derived and compared with existing data. (Table 3, figs. 16, 17 and 18).

Conclusions: From fig. 18 it is clear that the diffusion rate is greater along the Dutch coast than in the open sea. This can be understood by supposing a turbulence energy source in the strong tidal currents in the area (Ozmidov 1965). The maximum concentrations are in accordance with the data collected by van Dam (1968) (fig. 16), while the suggested transition to large scale diffusion is confirmed by the data of our two last surveys. See fig. 16 and 18.

In Appendix 2 and 3 relevant wind and current data are given.

Een diffusieexperiment voor de Nederlandse kust met behulp van Rhodamine B

1. Inleiding

De laatste jaren, voornamelijk vanaf 1960, zijn er vele experimenten uitgevoerd over de gehele wereld, waarbij de diffusie van verontreinigingen of merkstoffen in zee werd bestudeerd. Het lijkt hier niet de plaats om de verschillende theorieën van dit verschijnsel te behandelen, daar dit reeds uitgebreid gedaan is door Okubo (1962). Okubo (1968) geeft een uitgebreid overzicht van de tot nu toe behaalde resultaten met kleurstoffen, die in de open oceaan instantaan geloosd werden; van Dam heeft resultaten van de Noordzee verzameld, zowel voor de open zee als voor de kuststrook. Het hier beschreven experiment moet men slechts als een bescheiden bijdrage zien tot de kennis die men de laatste jaren heeft opgedaan.

De afdeling Oceanografie en Maritieme Meteorologie van het KNMI houdt zich al lange tijd bezig met het beschrijven van de circulatie van de Noordzee. Van natuurlijke tracers als zoutgehalte, "natuurlijke" fluorescentie e.d. wordt gebruik gemaakt om de menging van watermassa's te bestuderen. Deze methode is geschikt wanneer men op grote schaal de uitwisseling van watermassa's wil bekijken. Op schalen kleiner dan b.v. 20 km. kan men voor de bestudering van de turbulente diffusie met vrucht gebruik maken van kunstmatige tracers, zoals b.v. de kleurstof Rhodamine B. De Mathematisch Fysische Afdeling van Rijkswaterstaat houdt zich al enkele jaren bezig met praktische problemen, zoals de verspreiding van verontreinigingen aan de Nederlandse kust. Hiertoe heeft deze afdeling voor de kust continue en instantane lozingen met Rhodamine uitgevoerd. Om een brug te slaan tussen de meestal op wat kleinere schaal uitgevoerde experimenten in het kustgebied en de watermassa uitwisseling op grote schaal in de gehele zuidelijke Noordzee, leek het (het KNMI) dienstig een aantal Rhodamine proeven uit te voeren, die niet direct op de kuststrook betrekking hebben. Deze proeven zullen in 1969 en 1970 worden uitgevoerd. In 1968 werd, om ervaring op te doen en tevens een aansluiting te vinden op de door Rijkswaterstaat gedane proeven, een instantane lozing voor de Nederlandse kust uitgevoerd. Hierbij was de schaal van het experiment wat groter dan bij de Rijkswaterstaat gebruikelijk, zodat een zinvolle uitbreiding van de door hen verkregen resultaten kon worden verkregen.

2. Meetmethode en verwerking van de resultaten

- 2.1 Voor de diffusieproef werd gebruik gemaakt van de kleurstof Rhodamine B. Deze stof leent zich zeer goed voor tracer studies, daar de stof in zeer kleine concentraties in zeewater aantoonbaar is met behulp van een fluorimeter. De Rhodamine B, die in poedervorm was aangekocht, werd opgelost in alcohol en daarna verdund met water. De opgeloste kleurstof (totaal ca. 1500 liter) werd getransporteerd in een vat dat aan boord van het m.s. "Willem Beukelsz" werd geplaatst.

Vanuit dit vat werd op 13 juni 1968 tussen 11.15 en 11.50 uur de vloeistof in zee geloosd. De lozing geschiedde via een stijve buis, waarvan de opening op enkele meters afstand van het schip net onder het wateroppervlak stak. De lozing nam veel tijd (35 minuten) in beslag omdat de kraan van het vat niet goed openging. Teneinde het schip niet te veel te contamineren werd het schip aan één kant van de ontstane vlek gehouden, waardoor de vlek een langgerekte vorm kreeg. De baan van het schip gedurende de lozing is in fig. 1 aangegeven. Tijdens de lozing stond een sterke

ZW ebstroom.

Enkele uren na lozing van de kleurstof werd om de ontstane vlek heengevaren om een indruk te krijgen van de uitgestrektheid. Zie eveneens fig. 1.

De vlek lag na enkele uren nogal ongelukkig voor de Nieuwe Waterweg, waardoor niet voorkomen kon worden dat ongeveer 5 uur na de lozing een aantal schepen door de vlek heenvoeren, hoewel de kleurstof toen nog duidelijk zichtbaar was. Een dergelijk doorvaren heeft uiteraard een storende invloed op de grootte van de vlek. Zie ook Okubo (1968).

2.2 In de avond werd begonnen met het opmeten van de vlek. Hiertoe voer het schip door de vlek, terwijl continu water van 3 meter diepte opgepompt en door een "Turner" fluorimeter geleid werd. Het oppompen gebeurde via een slang in een stalen pijp, die midscheeps aan bakboordzijde was bevestigd en verticaal in het water stak tot 3 meter diepte. De uitslag van de fluorimeter werd met een recorder vastgelegd, terwijl regelmatig tijdsenissen werden bijgeschreven. Ondertussen werd tevens de positie van het schip in Decca coördinaten (Chain 0) als functie van de tijd opgeschreven. De temperatuur van het opgepompte water werd regelmatig genoteerd, daar de uitslag van de fluorimeter enigszins afhankelijk is van de temperatuur van de opgeloste Rhodamine. Met behulp van een standaardoplossing Rhodamine werd regelmatig de ijking van de fluorimeter gecontroleerd.

De eerste zes opmetingen (surveys) werden met opzet zo uitgevoerd dat het midden van de tijd waarin de survey werd uitgevoerd ongeveer overeen kwam met de tijd van stroomkentering. Bij de 7e t/m 9e survey was de tijd van opmeten zo groot, dat dit niet veel zin meer had. In Tabel 1 zijn de tijden van de verschillende surveys gegeven.

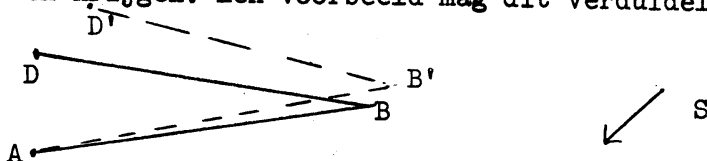
Tabel 1

Tijden van de surveys

survey	datum	tijd	tijd na lozing uur	duur van de opmeting uur	tijd na lozing seconden	tijd na lozing gecorrigeerd in seconden (zie 2.8.5)
1	13/6	21.10	9.6	4.2	3.46	10 ⁴ 1.20
2	14/6	3.45	16.2	2.9	5.83	" 1.44 "
3	"	10.25	22.8	4.5	8.21	" 1.67 "
4	"	15.25	27.8	3.6	1.00	10 ⁵ 1.85 "
5	"	21.38	34.1	4.2	1.23	" 2.08 "
6	15/6	3.56	40.4	3.5	1.45	" 2.31 "
7	"	11.50	48.3	7.7	1.74	" 2.59 "
8	17/6	15.18	99.7	4.4	3.59	" 4.44 "
9	18/6	2.14	110.7	7.2	3.98	" 4.83 "

2.3 Op het punt dat aangegeven staat met C (fig. 1 t/m 10) was een stroommeter (merk Plessey) verankerd op 8 meter diepte. De gegevens van deze stroommeter werden verondersteld representatief te zijn voor de stroom in het gehele gebied waarin de Rhodamine vlek zich bevond. De stroommetingen zijn gegeven in Appendix 3. Met deze stroommetingen werden de posities van het schip "verzeild". Dit is noodzakelijk om de volgende reden: gedurende het opmeten van de vlek verplaatst de gehele watermassa zich langs

de kust door de heersende stroom. Daar het opmeten van de vlek een aantal uren kost, zou men, zonder hiervoor te corrigeren, een verwrongen beeld van de vlek krijgen. Een voorbeeld mag dit verduidelijken:



Het schip vaart van A via B naar D. In de tijd die het hiervoor nodig heeft, heeft de gehele watermassa zich verplaatst over een afstand S. We noemen de tijd waarop het schip in A was t_0 . Het water dat in D wordt opgemeten, was op het tijdstip t_0 in D'. We kunnen ook zeggen: als het water had stilgestaan dan was de concentratie Rhodamine, die we nu in D meten, in D' aanwezig geweest. We kunnen een juist beeld van de vlek krijgen door de baan van het schip te corrigeren t.o.v. een bepaalde referentietijd t_0 . Deze correctie is uitgevoerd met de computer van het KNMI. Hiertoe werden eerst de Decca coördinaten omgezet in rechthoekige coördinaten. Hierna werden, met behulp van de stroomgegevens op positie C (fig. 1) deze posities verzeild, waarna ze geplot werden met de computer. In Appendix 1 is een dergelijke verzeiling gegeven. Als referentiepunt van het verzeilen werd een tijd genomen, die ongeveer in het midden van een opmeting lag. Deze tijd kwam voor de eerste zes surveys overeen met de stroomkentering.

2.4 De recorderstrook waarop de uitslag van de fluorimeter was vastgelegd als functie van de tijd, werd uitgetrokken met behulp van het diagram-aflees apparaat van het KNMI en aldus op ponsband gezet. Met behulp van een computerprogramma werd deze uitslag omgezet in Rhodamine concentraties, waarbij rekening werd gehouden met de achtergrondfluorescentie van het zeewater, de temperatuur van het water, de gevoeligheid van de fluorimeter en het gebruikte diafragma.

2.5 De combinatie van de baan van het schip en de Rhodamine concentratie, beiden als functie van de tijd, maakte het mogelijk kaarten te tekenen met de concentraties op de juiste verzeilde posities geplot. Hierin kan men, op subjectieve wijze, isolijnen van concentraties trekken, die een indruk geven van de opbouw van de vlek. Hoe subjectief dergelijke plaatjes kunnen zijn kan men zien in de fig. 5-1 en 5-2 die door verschillende personen zijn getekend, uitgaande van dezelfde meetgegevens. Uiteraard hangt het verschil in interpretatie sterk af van de kwantiteit van de concentratiemetingen en van de baan die het schip heeft gevolgd t.o.v. de vlek.

In de fig. 2 t/m 10 zijn de verschillende opmetingen getekend. Uit deze tekeningen (op grotere schaal) werden de verdere diffusiegrootheden afgeleid.

In de figuren is tevens de isolijn van de concentratie $2 \cdot 10^{-8}$ kg Rhod/m³ water (= 2 Rhodamine eenheden) van de opvolgende survey aangegeven. De geïntegreerde stroom in het tijdvak tussen de verschillende opmetingen is met een pijl aangegeven op de plaats van de stroommeter C.

2.6 Een in de literatuur bekende methode om een willekeurige vlek kwantitatief te beschrijven, is het opmeten van de oppervlakte die door de verschillende isolijnen worden omsloten. Hieruit kan men dan de zg. "equivalente straal" r_e berekenen:

$$r_e = \sqrt{\frac{\text{opp.}}{\pi}}$$

r_e geeft dus de straal aan van een cirkel die dezelfde oppervlakte heeft als de gemeten oppervlakte binnen een bepaalde isolijn. De oppervlakten werden met de planimeter bepaald. In Tabel 2 zijn de gemeten waarden gegeven.

Tabel 2

<u>Survey 1, 9.6 uur na lozing</u>				
concentratie in 10^{-8} kg Rhod/m ³	oppervlakte in m ²		equivalente radius r _e in m	
75	1.29	10 ⁶	6.4	10 ²
50	4.90	"	1.26	10 ³
20	1.58	10 ⁷	2.24	"
10	2.36	"	2.74	"
5	2.85	"	3.01	"
2	3.37	"	3.27	"
<u>Survey 2, 16.2 uur na lozing</u>				
20	3.11	10 ⁶	9.96	10 ²
10	1.06	10 ⁷	1.83	10 ³
5	2.14	"	2.61	"
2	2.97	"	3.07	"
<u>Survey 3, 22.8 uur na lozing</u>				
20	1.07	10 ⁷	1.85	10 ³
10	4.08	"	3.61	"
5	8.01	"	5.05	"
2	1.24	10 ⁸	6.30	"
<u>Survey 4, 27.8 uur na lozing</u>				
20	1.54	10 ⁷	2.22	10 ³
10	4.09	"	3.69	"
5	7.40	"	4.81	"
2	1.17	10 ⁸	6.09	"
<u>Survey 5, 34.1 uur na lozing</u>				
10	2.26	10 ⁷	2.68	10 ³
5	7.97	"	5.04	"
2	1.46	10 ⁸	6.83	"
<u>Survey 6, 40.4 uur na lozing</u>				
10	1.17	10 ⁶	6.11	10 ²
5	6.84	10 ⁷	4.66	10 ³
2	1.52	10 ⁸	6.95	"
<u>Survey 7, 48.3 uur na lozing</u>				
10	4.12	10 ⁶	1.14	10 ³
5	5.88	10 ⁷	4.32	"
2	1.67	10 ⁸	7.29	"
<u>Survey 8, 99.7 uur na lozing</u>				
5	3.61	10 ⁷	3.39	10 ³
2	1.61	10 ⁸	7.15	"
<u>Survey 9, 110.7 uur na lozing</u>				
5	7	10 ⁵	4.72	10 ²
2	1.76	10 ⁸	7.49	10 ³

Met behulp van deze equivalente radii zou men een radiaal symmetrische vlek kunnen tekenen, die dus wat oppervlakte van de verschillende concentratie intervallen betreft overeenstemt met de gemeten vlek. Een dergelijke cirkelvormige vlek zou men bij benadering krijgen als onder overigens gelijke omstandigheden een groot aantal lozingen op dezelfde plaats zouden worden uitgevoerd en de resultaten zouden worden gemiddeld, onder de voorwaarde althans dat de diffusie horizontaal en isotroop is. Dat aan deze voorwaarde vlak langs de kust niet geheel wordt voldaan lijkt te volgen uit het werk van van Dam (1966). Uit deze tot een radiaal symmetrische vlek getransformeerde concentratie verdeling kan men een variantie σ^2 afleiden met:

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^{\infty} r_e^{\lambda} S(t, r_e) 2\pi r_e dr_e}{\int_0^{\infty} S(t, r_e) 2\pi r_e dr_e}$$

Hierin is $S(t, r)$ de concentratie kleurstof op het tijdstip t op een afstand r van het middelpunt der vlek. Voor een willekeurige S zou men de variantie wellicht kunnen uitrekenen. Bij goede benadering geldt echter in vele gevallen

$$S(t, r_e) = \frac{M/D}{\pi\sigma^2} e^{-\frac{r_e^2}{\sigma^2}}$$

Hierin is M/D de totale massa kleurstof per meter diepte.

Deze Gaussische distributiefunctie stelt ons in staat op eenvoudige wijze de variantie te bepalen uit de helling van de lijn die het verband weergeeft tussen de logaritme van de concentratie en r_e^2 , behorende bij die concentratie, zoals gemakkelijk is in te zien. Zie Okubo (1968).

In de figuren 11 t/m 13 zijn deze grafieken voor de verschillende surveys gegeven. De uit deze grafieken verkregen σ^2 is in Tabel 3 vermeld. In fig. 14 tenslotte is de variantie σ^2 uitgezet tegen de tijd die verlopen is sinds de lozing.

Tabel 3

Afgeleide resultaten

survey	uit grafieken bepaalde σ^2 in m^2	$1 = 3\sigma$ in m (zie 3.2)	$K_a = \frac{1}{4} \frac{\sigma^2}{t}$ in m^2/sec (zie 3.2)	K_a gecorrigeerd in m^2/sec (zie 2.8.5 en 3.2)		
1	3.47	10^6	5.59	10^3	25.1	7.23
2	3.99	"	6.00	"	17.1	6.91
3	1.558	10^7	1.183	10^4	47.4	23.3
4	1.382	"	1.115	"	34.5	18.6
5	2.445	"	1.483	"	49.8	29.4
6	3.0	"	1.642	"	51.6	32.5
7	3.204	"	1.700	"	46.1	30.9
8	4.31	"	1.97	"	30.1	24.3
9	6.07	"	2.335	"	38.2	31.4

2.7 Op een aantal stations werden waterscheppers neergelaten om monsters van grotere diepten te nemen. Hierdoor was het mogelijk een indruk te krijgen van de verticale verdeling van de kleurstof. Hieruit is duidelijk dat de Rhodamine tot ongeveer survey 4 niet homogeen over de diepte verdeeld is ge-

weest. Het aantal verticale metingen is echter veel te gering om een redelijke schatting te kunnen maken van deze verdeling. De verticale metingen zijn gegeven in fig. 15.

Wanneer men veronderstelt dat de kleurstof wel homogeen over de diepte verdeeld is, dan kan men de inhoud aan Rhodamine van elke gemeten vlek uitrekenen. Hiertoe werd de gemiddelde bodem diepte in elk concentratie interval afgelezen. Vergeleken met de geloosde hoeveelheid heeft men dan een indicatie hoe goed de vlek is opgemeten. Op deze wijze redenerend vinden we het volgende percentage van de totale geloosde hoeveelheid:

Tabel 4

survey	gemeten massa/totale massa %
1	66
2	21
3	89
4	100
5	72
6	65
7	51
8	57
9	29

Deze percentages komen ter sprake in de volgende paragraaf 2.8.

2.8. In deze paragraaf worden enkele foutenbronnen gegeven.

2.8.1 Foute calibratie van de fluorimeter

Deze fout verhoogt of verlaagt de gemeten concentratie Rhodamine met een vaste factor (aangenomen dat de fout constant is). We vinden de dezelfde equivalente radius voor een andere concentratie. In de fig. 11 t/m 13 is gemakkelijk te zien, dat dit geen invloed heeft op de helling van de lijn $\log S$ tegen r_e^2 . Daar deze helling bepalend is voor de variantie, verandert deze dus niet met een dergelijke foute ijking. Wel is uiteraard de foute calibratie van invloed op de gemeten maximale concentratie in het centrum van de vlek (zie 2.9.1). Door regelmatige controle van de ijking is deze fout vermoedelijk klein.

2.8.2 Het gedrag van de Rhodamine

Allereerst bestaat de mogelijkheid dat de Rhodamine niet van goede kwaliteit was, en dus b.v. een lagere fluorescentie geeft. Deze fout wordt echter teniet gedaan doordat de fluorimeter met hetzelfde type Rhodamine is geijkt.

Rhodamine desintegreert in de tijd en wordt bovendien geabsorbeerd door slibdeeltjes. Vooral het laatste effect kan in riviermonden van belang zijn. Een dergelijk effect heeft weinig invloed op de meting van de variantie zolang tijdens een opmeting de kleurstof niet merkbaar desintegreert. Wel heeft het effect ook hier invloed op de absolute maximale concentratie in het centrum van de vlek. Aangenomen dat de vlek goed is opgemeten zou het effect tot uiting komen in een geleidelijke afname van de aangetoonde hoeveelheid kleurstof (zie 2.7).

2.8.3 Achtergrondfluorescentie

Het zeewater vertoont in het spectraalgebied waarop de fluorimeter is ingesteld een zekere fluorescentie, die dus afgetrokken moet worden van de gemeten fluorescentie om de Rhodamine concentratie te kunnen bepalen.

In ons geval is deze fluorescentie opgemeten één dag voor de lozing. Zij bleek zeer constant te zijn over het gehele meetgebied. Tijdens de metingen zelf werd vaak een eind uit de vlek weggevaren om deze achtergrond te controleren. Het bleek dat de achtergrondfluorescentie in de loop van de tijd hoger werd, zodat bij latere surveys een grotere achtergrond-waarde werd afgetrokken. Deze werd constant over het gehele meetgebied verondersteld door gebrek aan betere gegevens. Dit kan tot fouten aanleiding geven. Volgens van Dam treedt soms plaatselijk een verhoging op door invloed van organismen; wellicht is ook invloed van de rivierafvoer mogelijk.

Wat is nu het effect van een foute achtergrondmeting? Stel dat men een grotere achtergrond aftrekt dan er in werkelijkheid is geweest, dan wordt de variantie σ^2 minder, zoals uit fig. 11 t/m 13 gemakkelijk is in te zien. Bovendien heeft het effect in verhouding een grotere invloed bij de latere surveys: de concentraties zijn daar immers lager, dus een kleine fout in de achtergrond heeft een grote invloed op de gemeten vlek.

Het is mogelijk dat het merkwaardige gedrag van survey 4 (zie fig. 14), waar de variantie was afgenomen met de tijd, hieruit te verklaren is. Op grond van achtergrondmetingen in de omgeving werd besloten een achtergrond af te trekken die ongeveer $1.5 \sqrt{10^{-8}} \text{ kg/m}^3$ groter was dan die van survey 3. Wellicht is deze achtergrondmeting niet juist geweest door resten kleurstof die zich nog buiten de vlek bevonden. In de latere surveys werd deze verhoogde achtergrond weliswaar bevestigd, maar het is mogelijk dat de verhoging te vroeg is toegepast.

2.8.4 Missen van een gedeelte van de vlek

Het is natuurlijk mogelijk dat bij het kiezen van de route door de vlek het schip een (b.v. losgeraakt) gedeelte van de vlek helemaal niet opmeet. Een dergelijke fout moet enigszins te voorschijn komen bij het berekenen van de massa Rhodamine in de vlek, die dan kleiner zal zijn dan de geloosde hoeveelheid (zie 2.7). Een dergelijke fout is vermoedelijk opgetreden bij survey 2, waar de aangetoonde hoeveelheid Rhodamine slechts 21 % was van de geloosde hoeveelheid.

De invloed van een dergelijke fout zou men als volgt kunnen berekenen.

Wanneer men een stuk van de vlek heeft gemist dat ongeveer dezelfde ruimtelijke verdeling heeft als het reeds opgemeten gedeelte, dan worden de oppervlakten binnen de isolijnen met een constante factor te laag gemeten. Door dus de oppervlakten binnen de isolijnen met deze factor te vermenigvuldigen, kan men hieruit de "juiste" r_e afleiden. Dit betekent (zie fig. 11 t/m 13) dat de helling van de lijn flauwer wordt: de variantie neemt toe. Wanneer dus inderdaad bij de opmeting van survey 2 een gedeelte van de vlek is gemist, dan zou dit een verklaring kunnen zijn voor de lage variantie die bij deze survey is gevonden.

2.8.5 Fouten bij de lozing

Een ideale momentane lozing van een tracer bestaat uit een oneindig snelle lozing op een oneindig klein punt. Uiteraard is een dergelijke injectie in de praktijk onmogelijk uit te voeren: het kost altijd enige tijd enkele honderden liters vloeistof te storten, terwijl ondertussen het schip zich meestal ook beweegt t.o.v. de vlek. In ons geval was de lozing van slechte kwaliteit (zie 2.1).

Alle "fouten" tijdens het lozen veroorzaken een vergroting van de vlek. Men zou zich nu kunnen afvragen hoeveel tijd er nodig was geweest tot een dergelijke vlek te komen, wanneer het verspreidingsproces slechts door turbulente diffusie van het zeewater was veroorzaakt, uitgaande van een "ideale" lozing. We kunnen hier op de volgende wijze een schatting van maken wanneer we veronderstellen dat a. survey 1 goed is opgemeten en b. de

distributiefunctie van survey 1 gelijk is aan die van een vlek die door turbulente diffusie uit een "ideale" lozing is ontstaan.

Hiertoe beschouwen we allereerst de algemene formule (van Dam 1969)

$$C_p(r,t) = M c_0 t^{-\beta} e^{-kr^2}$$

Deze formule geeft de concentratie C als functie van tijd en plaats aan voor een radiaal-symmetrisch instantaan geloosde vlek, die een Gaussische distributiefunctie hezit. M is de totale massa gebruikte tracer, β is de macht die aangeeft hoe snel de concentratie met de tijd afneemt en k geeft de ruimtelijke verdeling van de vlek. c_0 is een evenredigheidsconstante.

De grootheden c_0 , β en k hangen af van het aantal dimensies p waarin het diffusieproces zich afspeelt. Bij de hier beschouwde horizontale diffusie is $p = 2$. Tevens hangen deze drie grootheden af van de mate waarin de diffusiecoëfficiënt afhangt van de grootteschaal l van het diffusieproces:

$$k \sim l^\gamma$$

Het verband tussen β en γ is b.v.:

$$\beta = \frac{p}{2-\gamma}$$

In een beperkt gebied van grootteschalen kan men afleiden $\gamma = 4/3$ (Okubo 1962-1, Ozmidov 1965), waarmee β voor tweedimensionale diffusie wordt:

$$\beta = 3$$

Wanneer men b.v. naar de maximale concentratie in het centrum van de vlek zou kijken ($r = 0$), dan neemt deze dus (zolang tenminste $\gamma = 4/3$) af met t^{-3} . Vindt men uit metingen een dergelijk verloop van de maximale concentratie met de tijd, dan kan men de in dit geval constante c_0 bepalen. Van Dam (1968, 1969) heeft dit gedaan voor de Noordzeekuststrook en vindt:

$$c_0 = 1.6 \cdot 10^8 \text{ sec}^3/\text{m}^2$$

Zie ook 3.1. Deze constante c_0 speelt een fundamentele rol, doordat deze kwantitatief de diffusiesnelheid vastlegt.

De constante k tenslotte is direct verwant met de variantie:

$$k = p/2\sigma^2$$

Van Dam (1969) leidt af:

$$\sigma^2 = \frac{pt^{2/2-\gamma}}{2\pi c_0^{2/p}}$$

Gebruik makend van de door van Dam voor c_0 gevonden waarde, met $p = 2$ en $\gamma = 4/3$, rekening houdend met de variantie van survey 1 ($= 3.47 \cdot 10^6 \text{ m}^2$), vinden we uit deze functie voor de theoretische tijd die nodig zou zijn geweest om een vlek met een variantie van survey 1 te krijgen:

$$t = 1.2 \cdot 10^5 \text{ sec} = 33.3 \text{ uur}$$

In werkelijkheid was het tijdsverschil tussen lozing en survey 1 gelijk aan 9.6 uur. Het is dus net alsof de kleurstof $33.3 - 9.6 = 23.7$ uur eerder geloosd is.

2.8.6 Fouten bij het verzeilen

Bij het verzeilen zijn een tweetal veronderstellingen gemaakt, die aanvechtbaar zijn.

1. Bij het verzeilen is gebruik gemaakt van de gegevens van een stroommeter die op enige afstand van de vlek verankerd was. Men moet zich afvragen of de stroom in dit punt representatief was voor de verplaatsingen van de vlek in zijn geheel. Door de invloed van de Waterweg zal dit niet het geval zijn. Aan de andere kant kan men in de fig. 1 t/m 9 zien, dat de geïntegreerde stroom tussen de surveys in, zowel wat richting als snelheid betreft, redelijk overeenkomt met de verplaatsing van de vlek in diezelfde tijd.

2. Verondersteld werd dat tijdens een opmeting de vlek niet verandert. Dit is natuurlijk onjuist, daar een opmeting enkele uren in beslag neemt. De fout is moeilijk te schatten, doch middelt zichzelf enigszins uit: t.o.v. het "gemiddelde" van de vlek zal men in het begin van de opmeting hogere concentratiegradiënten vinden dan aan het einde.

2.8.7 Fouten door een niet-homogene verticale verdeling van de kleurstof

Wanneer men horizontale diffusie wil bestuderen met een experiment zoals hier beschreven, dient men eigenlijk geen gebruik te maken van meetgegevens op één diepte maar dient men de gemiddelde concentratie over de gehele kolom te kennen. Of, zoals van Dam opmerkt, men integreert de hoeveelheid kleurstof over de diepte en gebruikt dan verder concentraties per oppervlakteenheid. Pas dan kan men op verstandige wijze de horizontale diffusie bij verschillende experimenten met elkaar vergelijken. Het is immers helemaal niet zeker of de concentratie, gevonden op een bepaalde diepte, representatief is voor de horizontale uitbreiding van de Rhodamine. Als men b.v. twee zeegebieden zou beschouwen, waarin de horizontale diffusiesnelheid gelijk is, maar waarvan het water in het ene gebied sterk ge-laagd is en in het andere niet, dan zal men bij meting op slechts één diepte geheel verschillende meetresultaten kunnen krijgen. Dit aspect heeft in de literatuur weinig aandacht gehad, voornamelijk omdat de verticale verdeling bij dergelijke proeven meestal slecht bekend is. Dit is ook het geval bij de hier beschreven proef.

Zoals uit fig. 15 blijkt is de kleurstof vermoedelijk homogeen verdeeld over de diepte na survey 4, maar daarvoor is dat niet het geval. De fouten die hierdoor kunnen ontstaan zijn in ons geval niet te schatten door het ontbreken van meer verticale metingen.

Deze problematiek zal ter sprake komen in het te verschijnen rapport van de ICES over het RHENO-project.

3. Vergelijking met elders gevonden resultaten

3.1 De maximale concentratie C_{max}

Het verloop van de maximale concentratie met de tijd is een maat voor de diffusiesnelheid. Zie ook Okubo (1962-1) en 2.8.5. Van Dam (1968) heeft een groot aantal meetgegevens verzameld voor de Noordzee, zowel voor de open zee als de kustwateren. De maximale concentratie is in de praktijk moeilijk direct te meten: men moet immers toevallig net door dat maximum zijn heengevaren om het te kunnen vaststellen. Bij goede benadering kan men het echter als volgt bepalen: in de grafieken van de concentratie tegen r_e^2 (fig. 11 t/m 13) extrapoleren we de lijn naar $r_e^2 = 0$. Aannemende dat de Gaussische distributiefunctie geldig is tot een equivalente radius = 0, dan kan men zo de maximale concentratie vinden die men in het centrum van de vlek zou verwachten. Hoe beter de vlek is opgemeten, hoe beter uiteraard een dergelijke extrapolatie is.

De aldus gevonden maximale concentraties, omgezet in kg/m^2 per kg geïnjecteerd materiaal, zijn uitgezet in fig. 16. Deze figuur is afkomstig van van Dam met onze meetresultaten erbij geplott. In dezelfde figuur zijn de C_{max} uitgezet als men de tijd 23.7 uur zou verschuiven (zie 2.8.5).

Dat de C_{max} van survey 1 vlak bij de t^{-3} asymptoot van van Dam ligt na laatstgenoemde correctie hoeft ons niet al te zeer te verwonderen. Van Dam heeft namelijk de c_0 (zie 2.8.5) juist bepaald uit de genoemde asymptoot. Daar we echter voor de berekening van de tijdcorrectie gebruik hebben gemaakt van de variantie van survey 1 en niet van de C_{max} , geeft dit toch een zeker vertrouwen in de gebruikte correctie. Weliswaar is er bij de "goede" vlek een vast verband tussen C_{max} en de variantie, maar we hadden bij het berekenen van de tijdcorrectie de veronderstelling moeten maken dat survey 1 dezelfde distributiefunctie had als een "ideaal" geloosde vlek, iets wat tenslotte nogal aanvechtbaar was.

Interessant is op te merken dat bij de latere surveys de gemeten C_{max} de neiging heeft over de asymptoot te gaan (fig. 16), zoals van Dam al vermoedde. In hoofdstuk 4 komen we hierop terug.

3.2 De diffusiecoëfficiënt

Er zijn verschillende definities van de turbulente diffusiecoëfficiënt in omloop. Van Dam (1969) behandelt de voor- en nadelen van bepaalde definities, waarbij hij concludeert dat de beste is:

$$K_g = \frac{1}{2p} \frac{d\sigma^2}{dt}$$

Deze K_g komt overeen met de klassieke diffusiecoëfficiënt K in die gevallen waarbij de laatste gedefinieerd is. Daartegenover gebruikt Okubo (1968) de zgn. "apparent diffusivity" K_a :

$$K_a = \frac{1}{4} \frac{\sigma^2}{t}$$

Deze definitie is wat ongelukkig doordat het verband met de "klassieke" K afhangt van p en γ . Okubo (1968) zet deze K_a uit tegen de grootte-schaal $l = 3\sigma$ voor alle metingen die hij heeft kunnen verzamelen, waardoor een wat geflatteerd beeld wordt verkregen. Horizontale en verticale as zijn immers niet onafhankelijk van elkaar. Niettemin is om een directe vergelijking mogelijk te maken tussen de resultaten van Okubo, hier eveneens K_a uitgerekend en gegeven in tabel 3 en fig. 17. In fig. 18 zijn dezelfde resultaten aangegeven op de grafiek van de door Okubo verzamelde meetpunten voor de open zee. In fig. 17 en 18 en in tabel 3 is K_a ook gegeven wanneer de lozingstijd-correctie van 23.7 uur is toegepast.

Opgemerkt kan worden dat voor $\gamma = 4/3$ en een Gaussische distributiefunctie het verband K_g en K_a voor tweedimensionale diffusie is:

$$K_a = \frac{1}{3} K_g$$

4. Bespreking van de resultaten

4.1. Zeer kort samengevat zou men het turbulente diffusieproces als volgt kunnen omschrijven.

In zee komen turbulente bewegingen voor. In het horizontale vlak gezien kunnen deze "wervels" allerlei grootten hebben, met een bovengrens die gesteld wordt door de grootte van de zee en een ondergrens waar de moleculaire schuifspanningen zo groot worden, dat de bewegingsenergie van de wervels wordt omgezet in warmte. Door instabiliteiten van en interacties tussen wervels van een bepaalde grootte geven deze hun energie over aan

kleinere wervels: er is een soort cascade van wervels, waarvan de energie van de grootsten via steeds kleiner wordende wervels tenslotte in warmte wordt omgezet (Batchelor (1953)). Wanneer alleen de allergrootste wervels energie van buitenaf ontvangen (door b.v. instabiliteiten van oceaanstromen) dan kunnen op theoretische gronden een aantal wetmatigheden worden afgeleid in dat gedeelte van het turbulentiespectrum waarin de wervels isotroop zijn. Immers, ook al zijn de grootste wervels niet isotroop, dan kunnen toch de wervels op een wat kleinere schaal isotroop zijn omdat "herinnering" aan de originele wervels hier verloren is.

In werkelijkheid echter is er niet alleen energieinjectie in de wervels van de allergrootste schaal, maar wordt op kleinere schaal soms ook energie van buitenaf in de "cascade" geïntroduceerd. Met name is dit het geval door getijstromen en door de wind, waarbij de laatste wellicht nog in twee groepen te scheiden zou zijn n.l. de winddrift op betrekkelijk grote schaal zoals b.v. door een storm en de introductie van turbulentie op kleine schaal door golven. Deze extra energieinjecties vinden plaats in een beperkt gedeelte van het turbulentiespectrum, waar dus de turbulentiegraad t.o.v. de originele cascade wordt verhoogd. Deze "extra" wervels worden uiteraard ook in kleinere wervels getransformeerd, zodat de energieinjectie tot resultaat heeft gehad dat de gehele turbulentiegraad in een deel van het spectrum met een bepaalde factor is verhoogd. Zie Ozmidov (1965).

4.2

Als voorbeeld van het effect van de verschillende op elkaar gesuperponeerde cascades kunnen we de diffusiecoëfficiënt beschouwen. Op theoretische gronden kan men afleiden dat bij een "zuivere" cascade de diffusiecoëfficiënt (b.v. de "apparent diffusivity" K_a) evenredig is met de schaal van het proces tot de macht $4/3$. Zie o.a. Okubo (1962-2). Wanneer men alle diffusiecoëfficiënten, die er tot nu toe verzameld zijn met instantane kleurstoflozingen, als functie van de schaal ℓ uitzet, dan vindt men $K_a \sim \ell^{1.1}$. Zie Okubo (1968). Men kan echter in fig. 18 zien, dat de betrekking $K_a \sim \ell^{4/3}$ wel redelijk geldt binnen beperkte gedeeltes van het spectrum. Het middelste gebied houdt dan verband met de invloed der getijstromen, het linker met de invloed der golven.

Het zal opvallen in fig. 18 dat de door ons gevonden diffusiecoëfficiënten systematisch op een hoger niveau liggen dan de door Okubo verzamelde waarden. Dit is verklaarbaar doordat Okubo slechts gebruik heeft gemaakt van waarnemingen, die op de open zee zijn verkregen. In de Nederlandse kuststrook echter zijn de getijstromen sterk, zodat hierdoor meer energie in de cascade wordt geïntroduceerd dan door de getijstromen in de open zee. De diffusiecoëfficiënten verkregen uit de laatste 2 surveys benaderen de "open zee"-waarden van Okubo al redelijk, wat een indicatie is dat de schaal van de vlek zo groot is geworden, dat de invloed der getijstromen afneemt. In fig. 17 is ook te zien, dat op de twee laatste surveys na, de betrekking $K_a \sim \ell^{4/3}$ redelijk geldt wanneer de correctie op de lozingstijd wordt toegepast.

4.3

Theoretisch kan worden afgeleid, dat de maximale concentratie in het centrum van de vlek omgekeerd evenredig is met de derde macht van de tijd in een enkelvoudige cascade: $C_{max} \sim t^{-3}$ (zie ook 2.8.5). Zoals van Dam in fig. 16 laat zien, geldt dit bij goede benadering, waarbij de lijnen $C_{max} \sim t^{-3}$ voor de open zee en voor de kuststrook t.o.v. elkaar verschoven zijn. Zie ook 4.2. Ook hier is bij onze laatste surveys duidelijk, dat de invloed van de getijstromen afneemt.

4.4.

De trend van zowel diffusiecoëfficiënt als maximale concentratie zijn met elkaar in overeenstemming, wat op theoretische gronden ook ver-

wacht mocht worden. Zie van Dam (1969). Onze resultaten zijn in overeenstemming met het algemene beeld dat men de laatste jaren heeft gekregen van de turbulente diffusieprocessen in zee, zoals de injectie van turbulente energie in verschillende gedeelten van de spectrum. De metingen sluiten goed aan op het door van Dam gevonden verloop van C_{\max} voor de Noordzeekusten, waarbij we een indicatie hebben gekregen dat de onderstelde overgang van de invloed van de sterke getijstroom naar de "open zee" situatie juist is. Als zodanig heeft het experiment een zinvolle aanvulling gegeven op de tot nu toe bekende resultaten van de turbulente diffusie voor de Nederlandse kust.

Literatuur

- Batchelor, G.K. (1953): The theory of homogeneous turbulence, University Press, Cambridge
- van Dam, G.C. (1966): Concentratieverdeling bij lozing in zee. De afvoer van afvalwater naar zee. Eerste vakantiecursus in behandeling van afvalwater, 14 en 15 april 1966. Moormans Per. Pers, Den Haag.
- van Dam, G.C. (1968): Dispersie van opgeloste en zwevende stoffen in zee gebracht ter hoogte van Wijk aan Zee op 3 km. uit de kust. Nota MFA 6812, Rijkswaterstaat
- van Dam, G.C. (1969): Elementaire behandeling van enkele grondgedachten uit de theorie van de turbulente diffusie, Nota MFA 6901, Rijkswaterstaat, Mathematisch Fysische Afdeling, Den Haag
- Okubo, A. (1962-1): A review of theoretical models of turbulent diffusion in the sea, Chesapeake Bay Institute, The John Hopkins University, Technical Report 30, reference 62-20
- Okubo, A. (1962-2): Horizontal diffusion from an instantaneous point-source due to oceanic turbulence, idem Technical Report 32, reference 62-22
- Okubo, A. (1968): A new set of oceanic diffusion diagrams, idem Technical Report 38, reference 68-6
- Ozmidov, R.V. (1965): Energy distribution between oceanic motions of different scales, Izv. Atmospheric and Oceanic Physics Series, 1, (4)

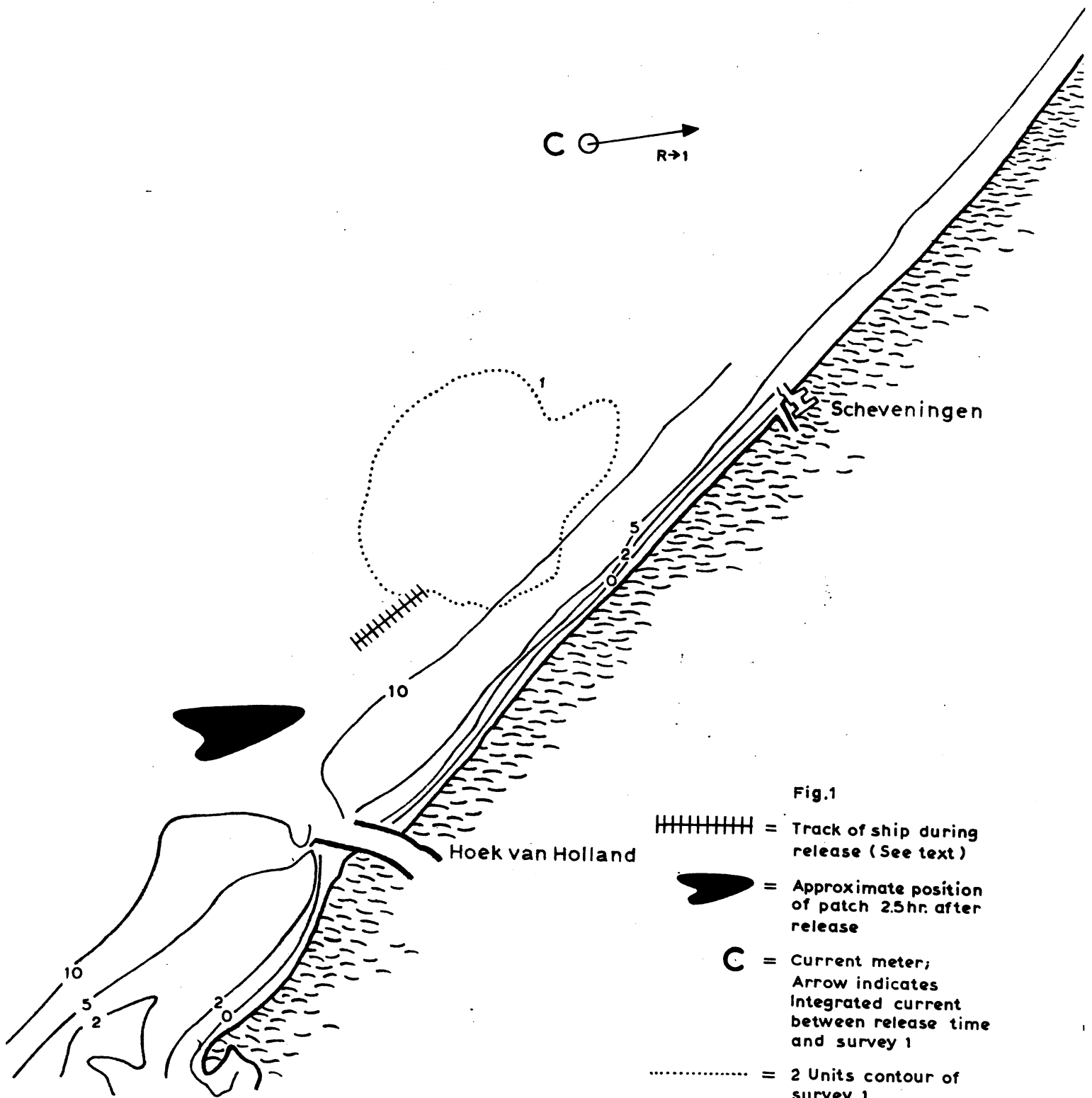


Fig.1

- ||||| = Track of ship during release (See text)
- = Approximate position of patch 2.5hr. after release
- C = Current meter; Arrow indicates Integrated current between release time and survey 1
- = 2 Units contour of survey 1

Scale 1:150.000

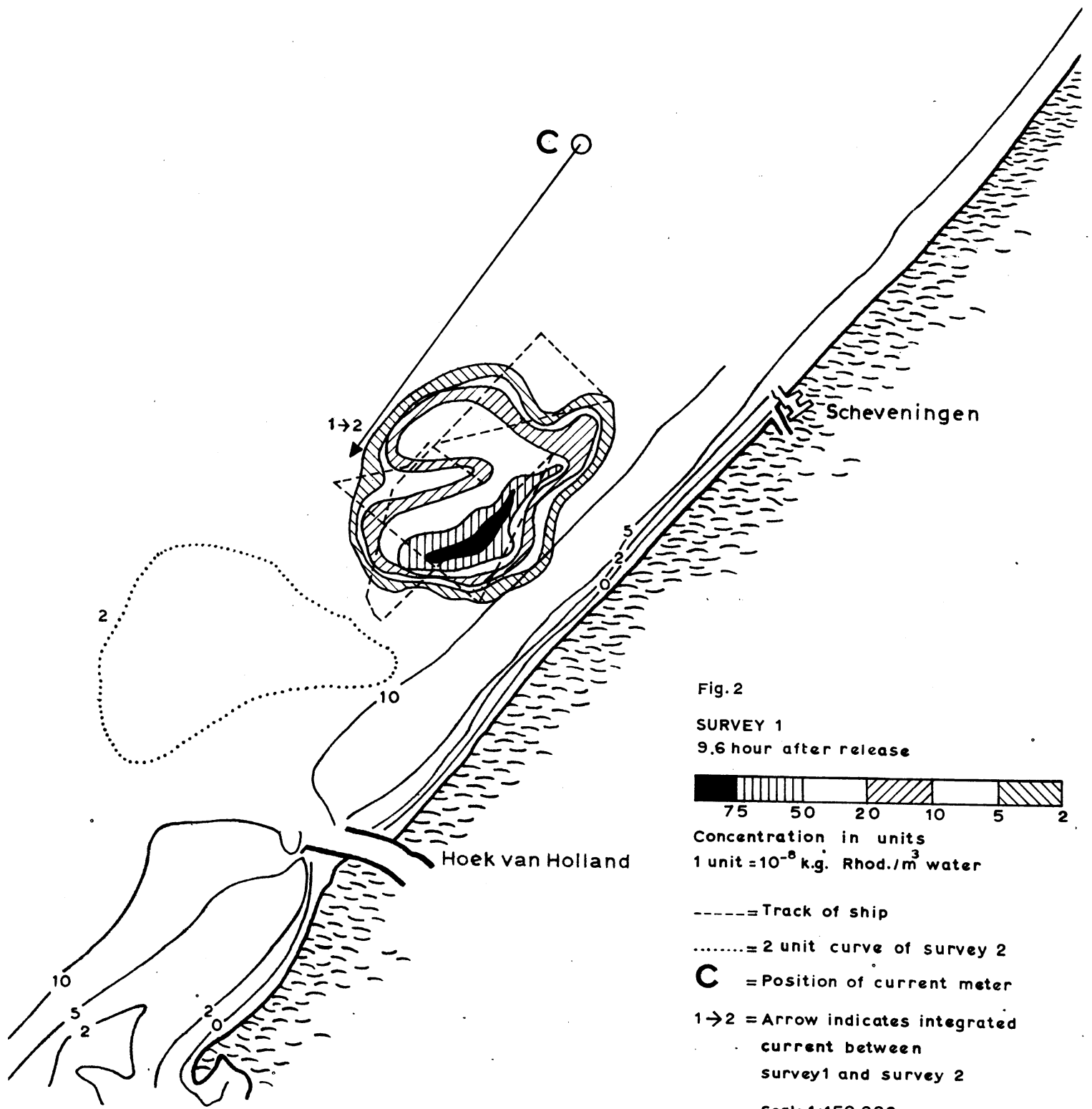
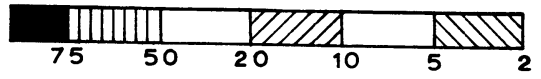


Fig. 2

SURVEY 1
9.6 hour after release



Concentration in units
1 unit = 10^{-8} k.g. Rhod./m³ water

----- = Track of ship

..... = 2 unit curve of survey 2

C = Position of current meter

1→2 = Arrow indicates integrated current between survey 1 and survey 2

Scale 1:150.000

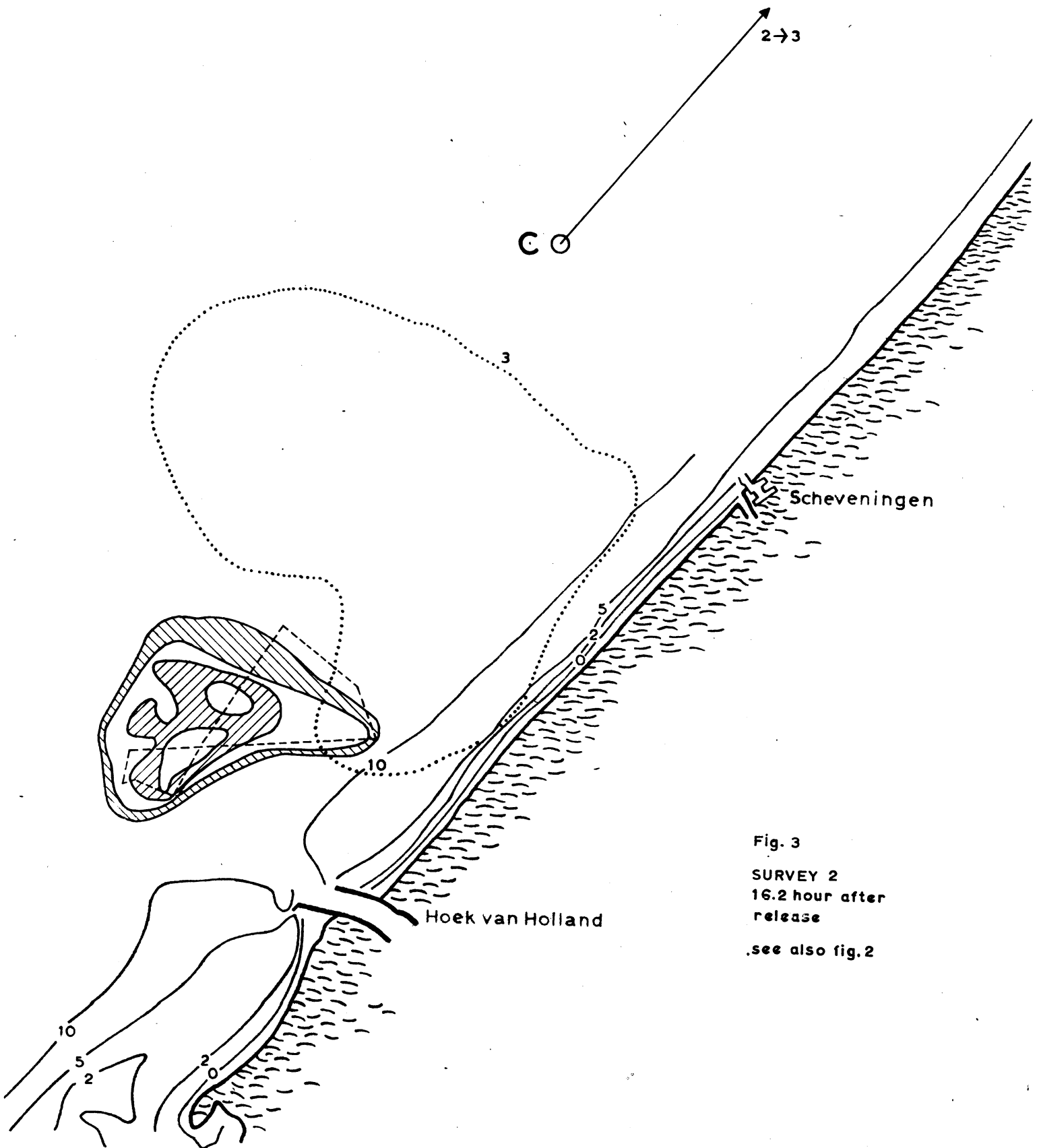


Fig. 3
 SURVEY 2
 16.2 hour after
 release
 .see also fig.2

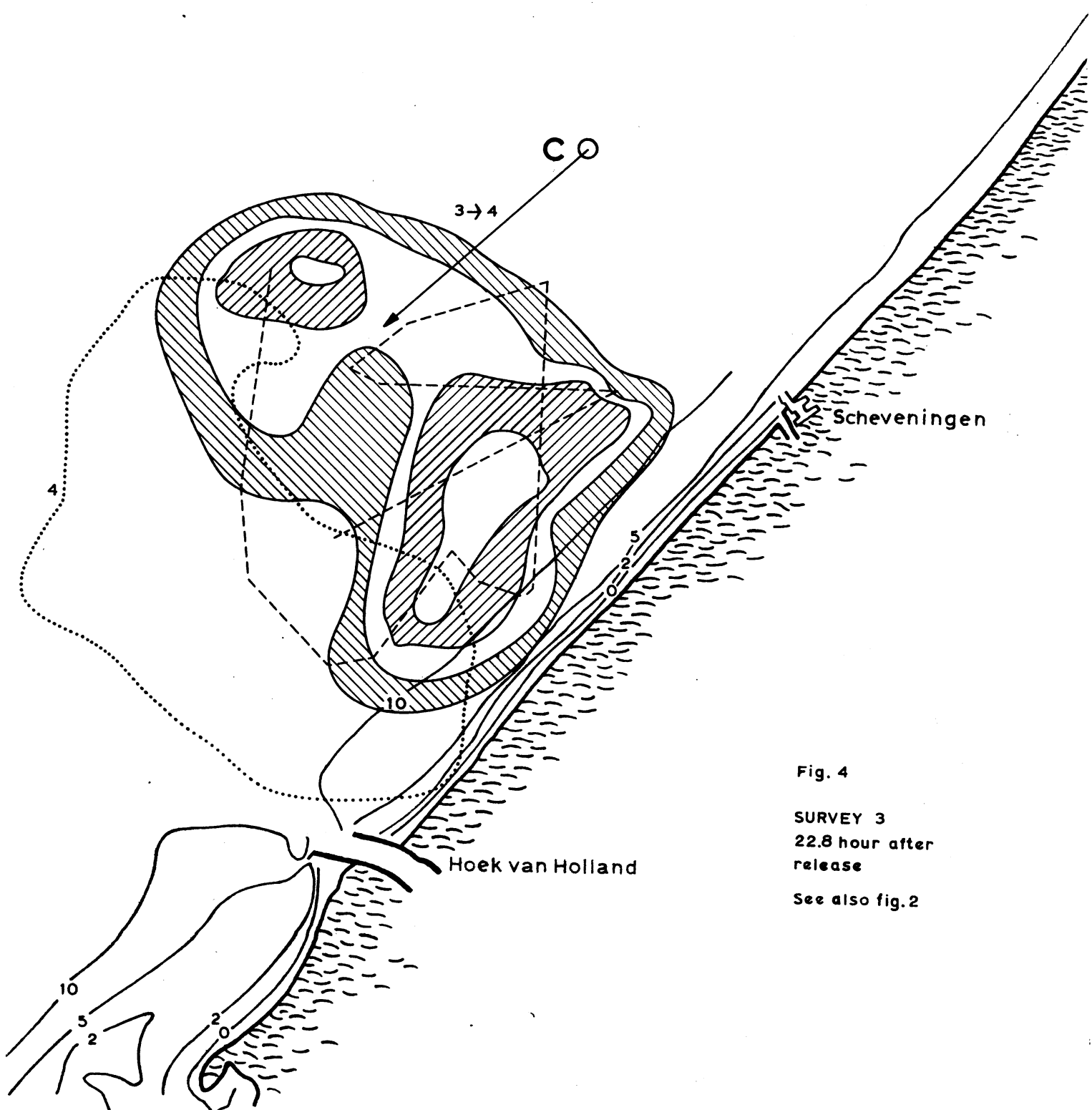


Fig. 4

SURVEY 3
22.8 hour after
release

See also fig.2

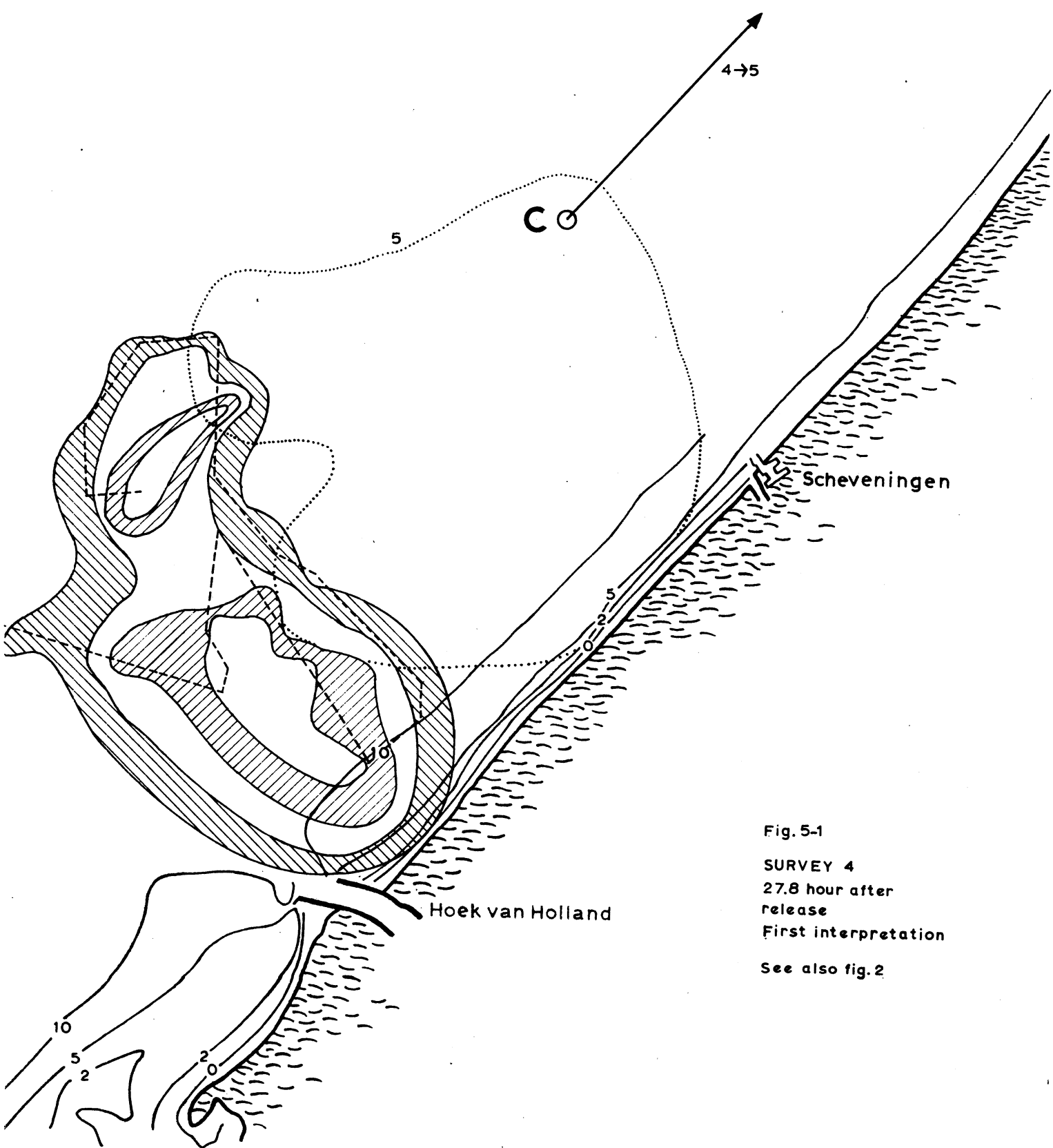


Fig. 5-1

SURVEY 4
 27.8 hour after
 release
 First interpretation

See also fig. 2

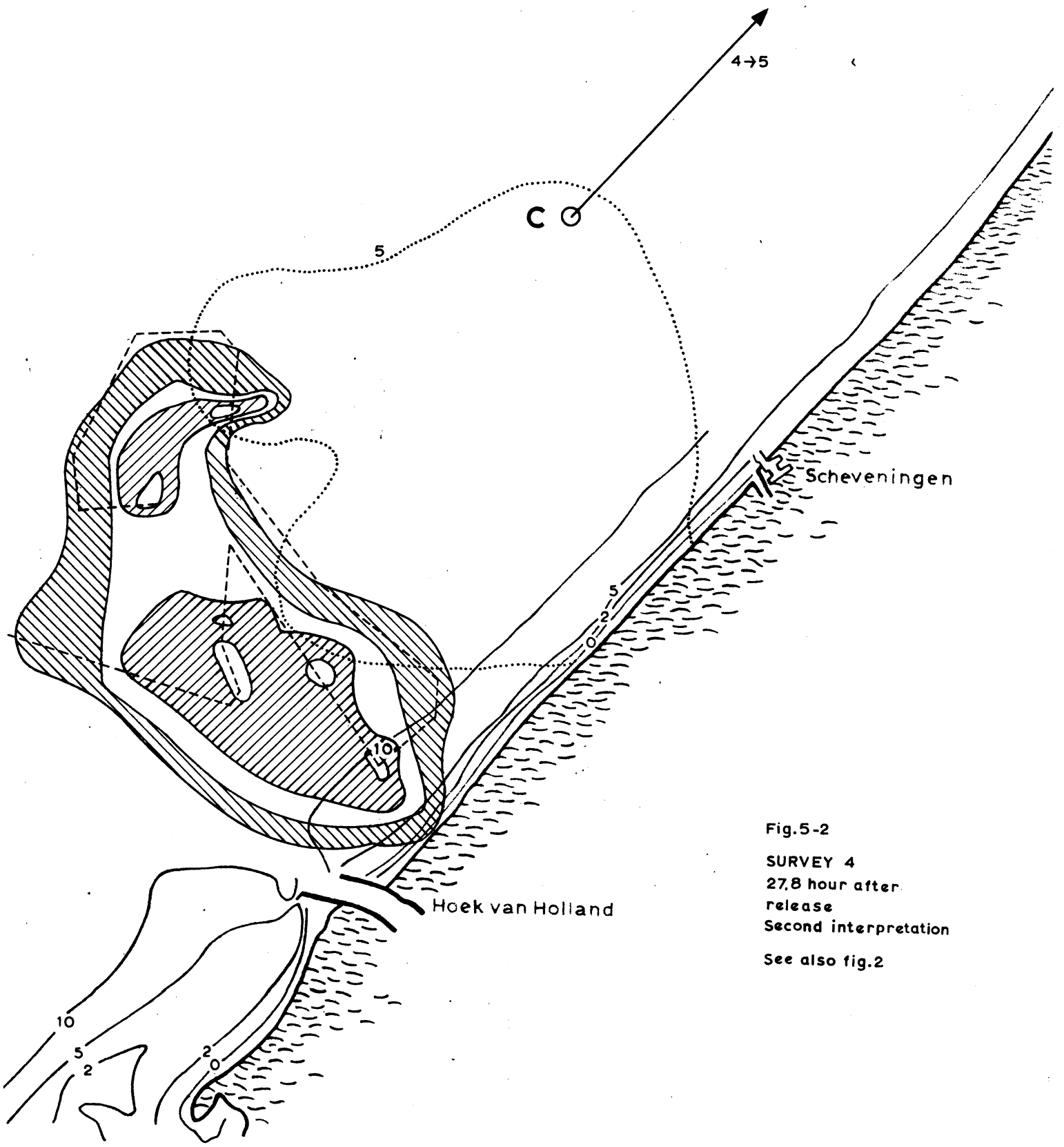


Fig.5-2
 SURVEY 4
 27.8 hour after
 release
 Second interpretation
 See also fig.2

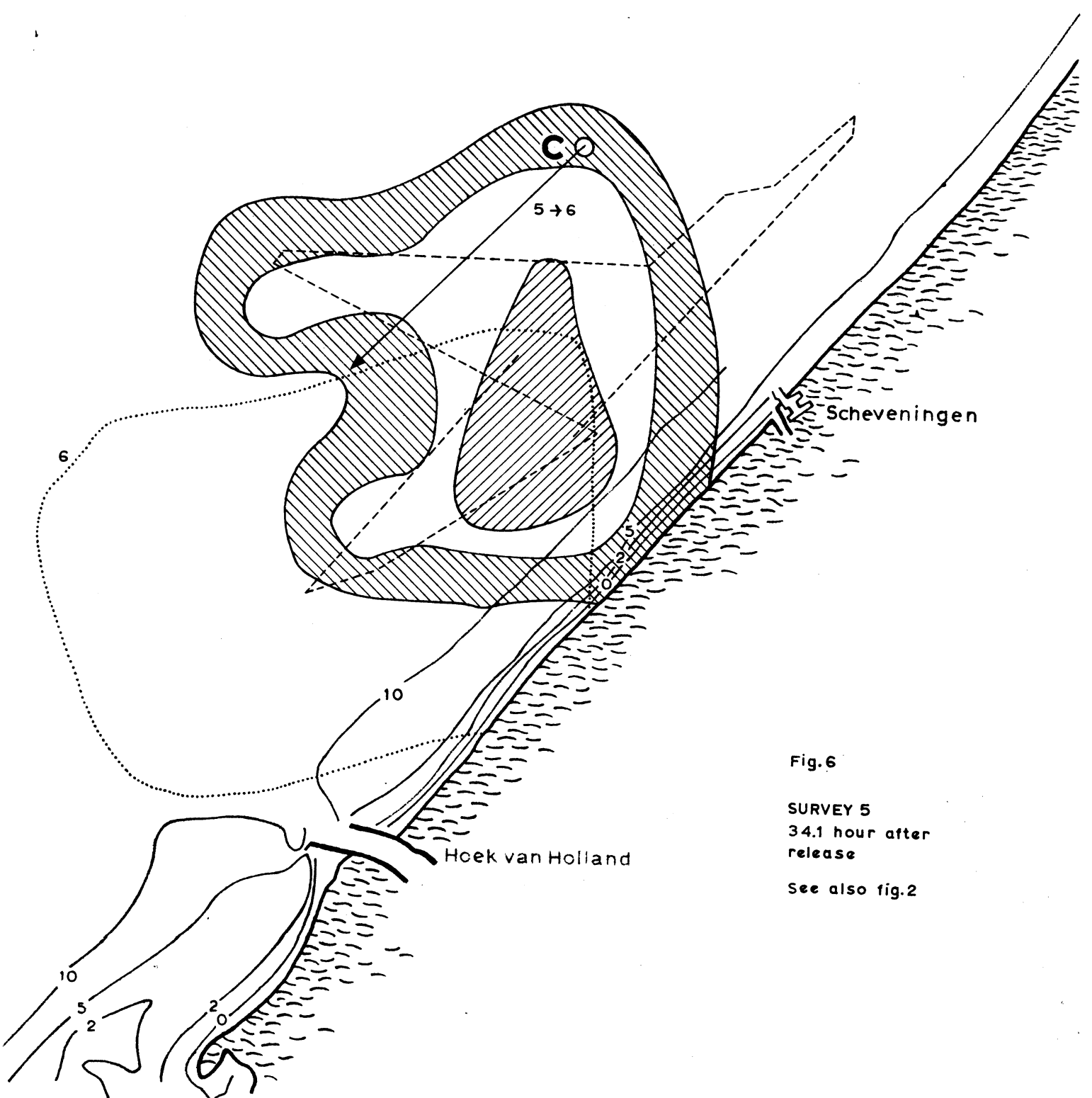


Fig. 6

SURVEY 5
34.1 hour after
release

See also fig. 2

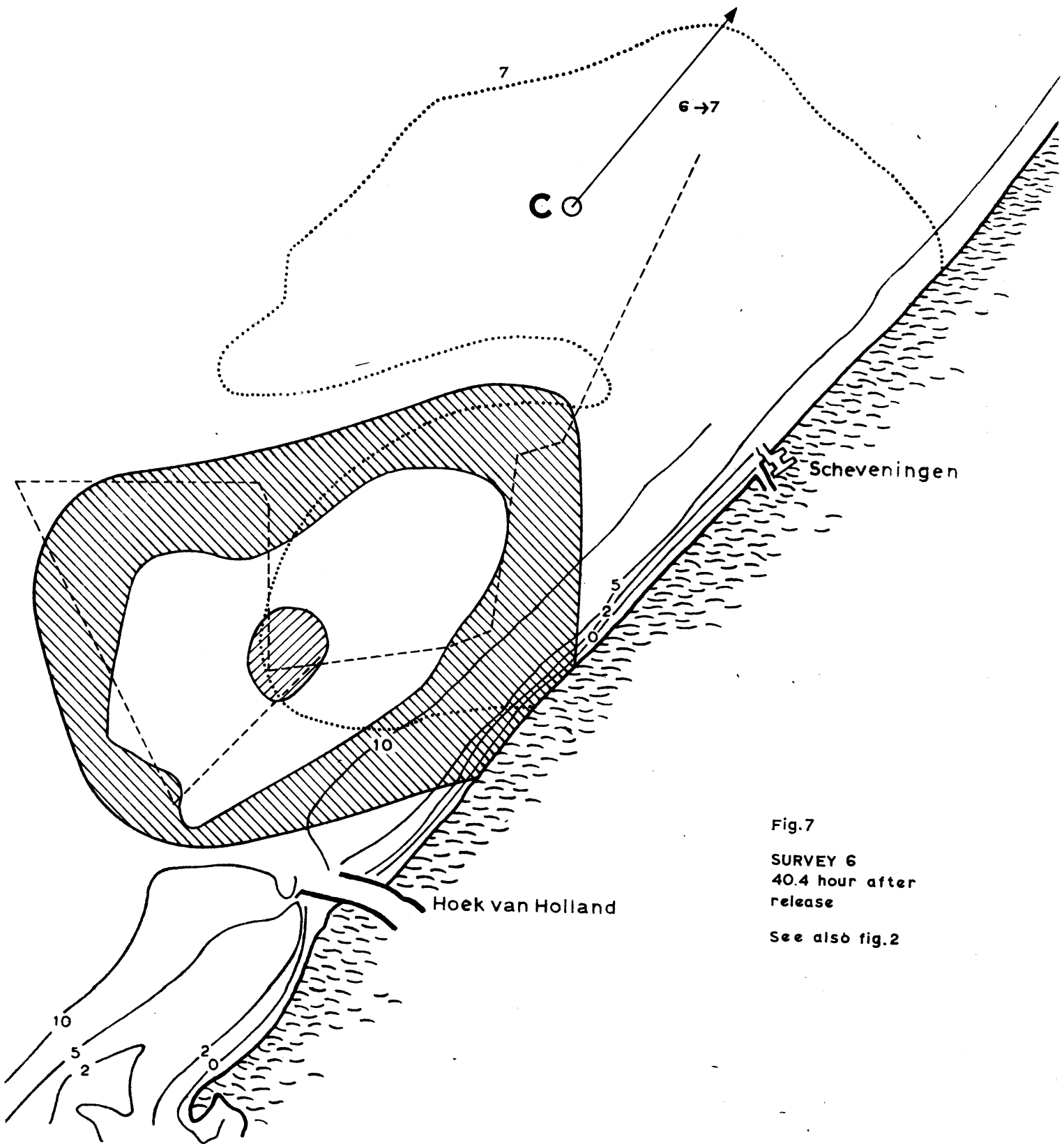


Fig.7

SURVEY 6
40.4 hour after
release

See also fig.2

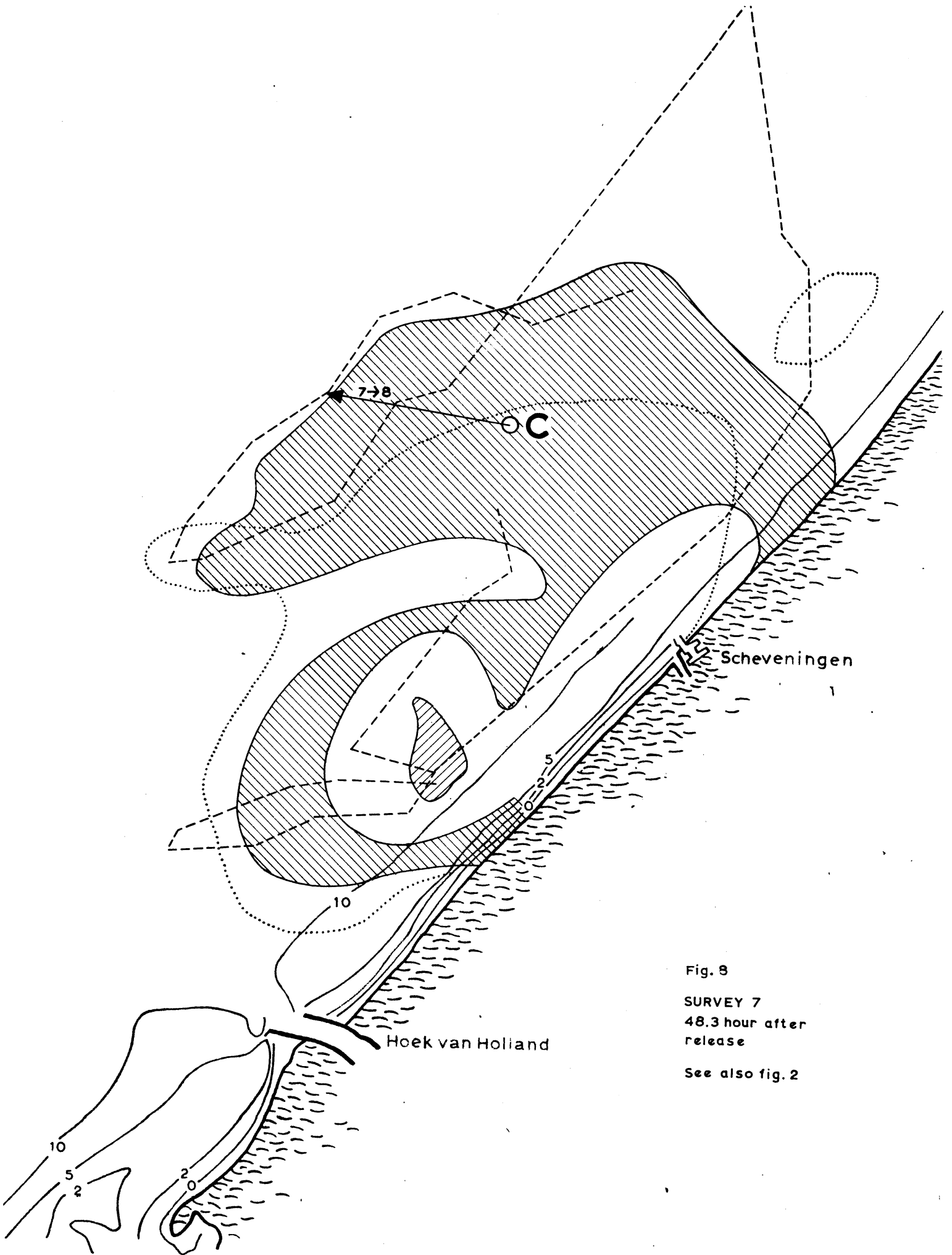


Fig. 8
 SURVEY 7
 48.3 hour after
 release
 See also fig. 2

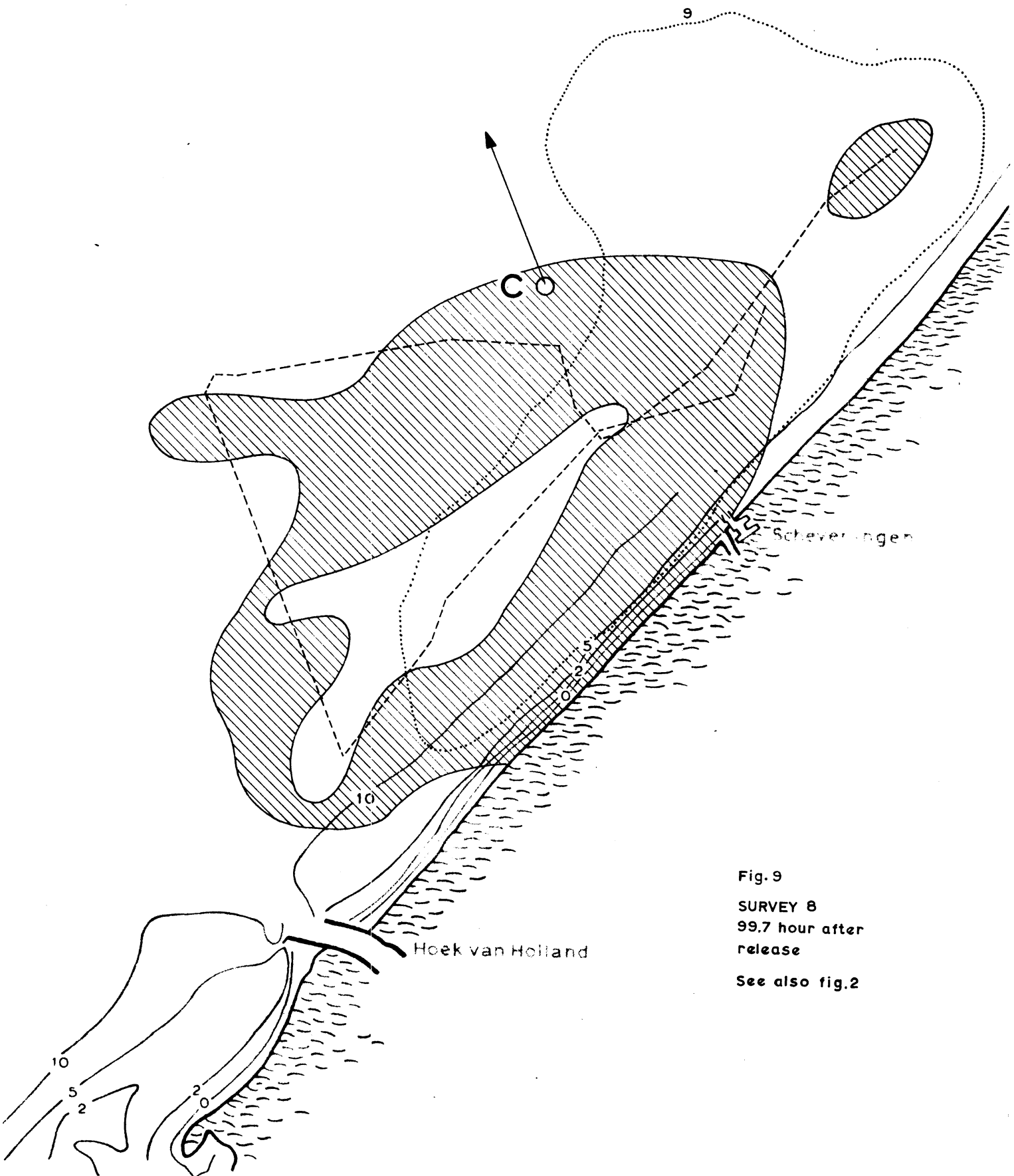


Fig. 9
 SURVEY 8
 99.7 hour after
 release
 See also fig.2

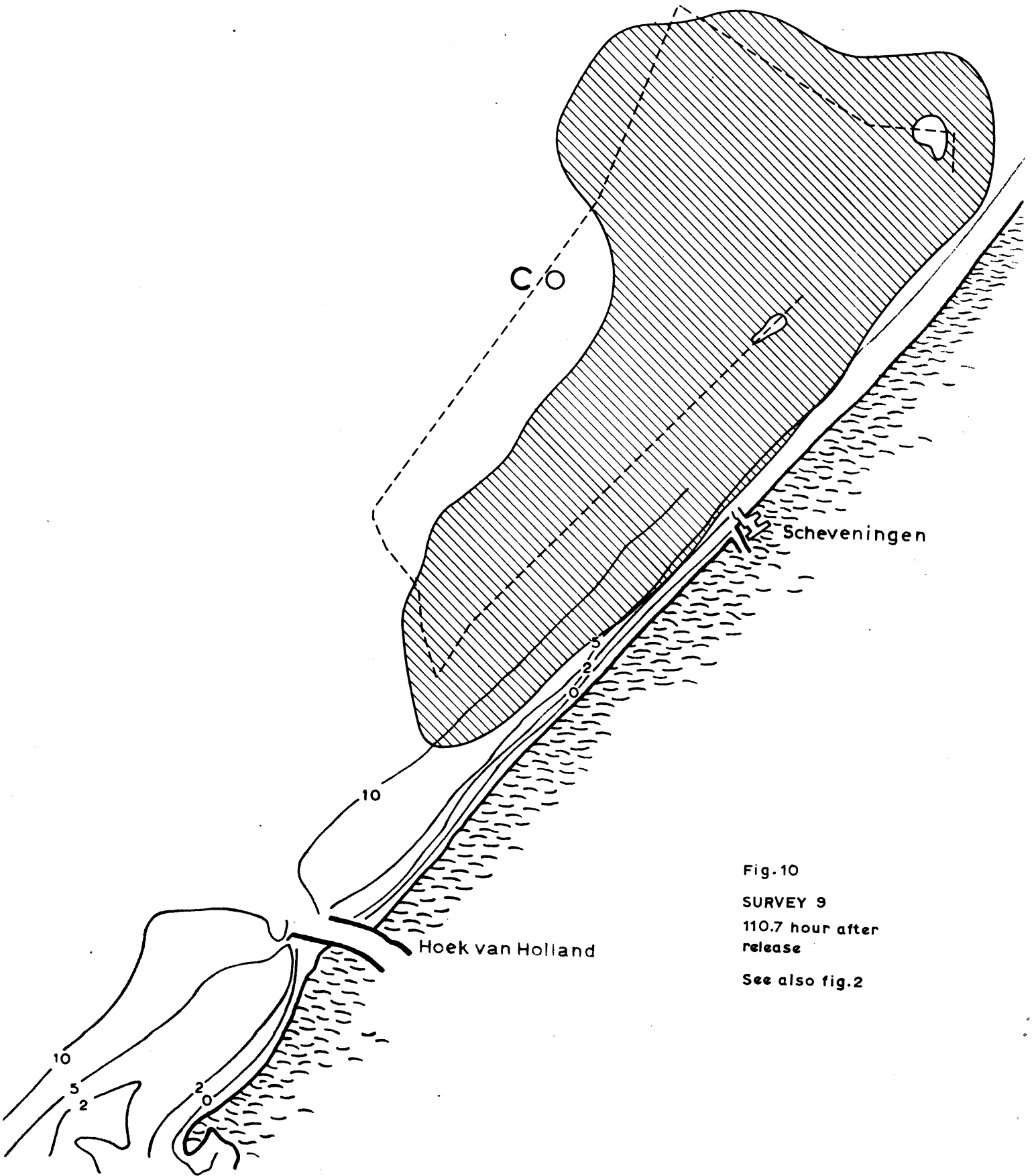


Fig.10
 SURVEY 9
 110.7 hour after
 release
 See also fig.2

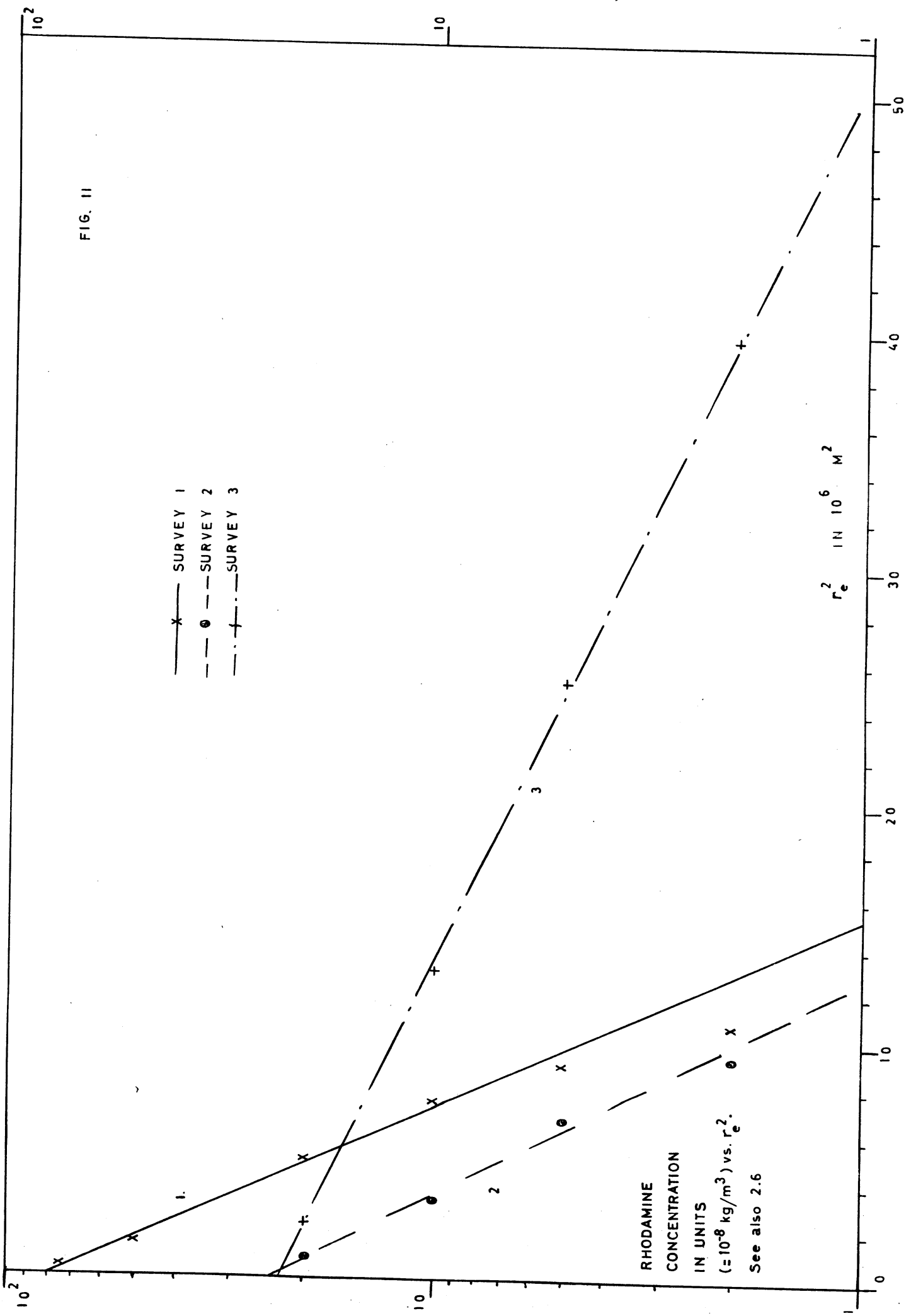
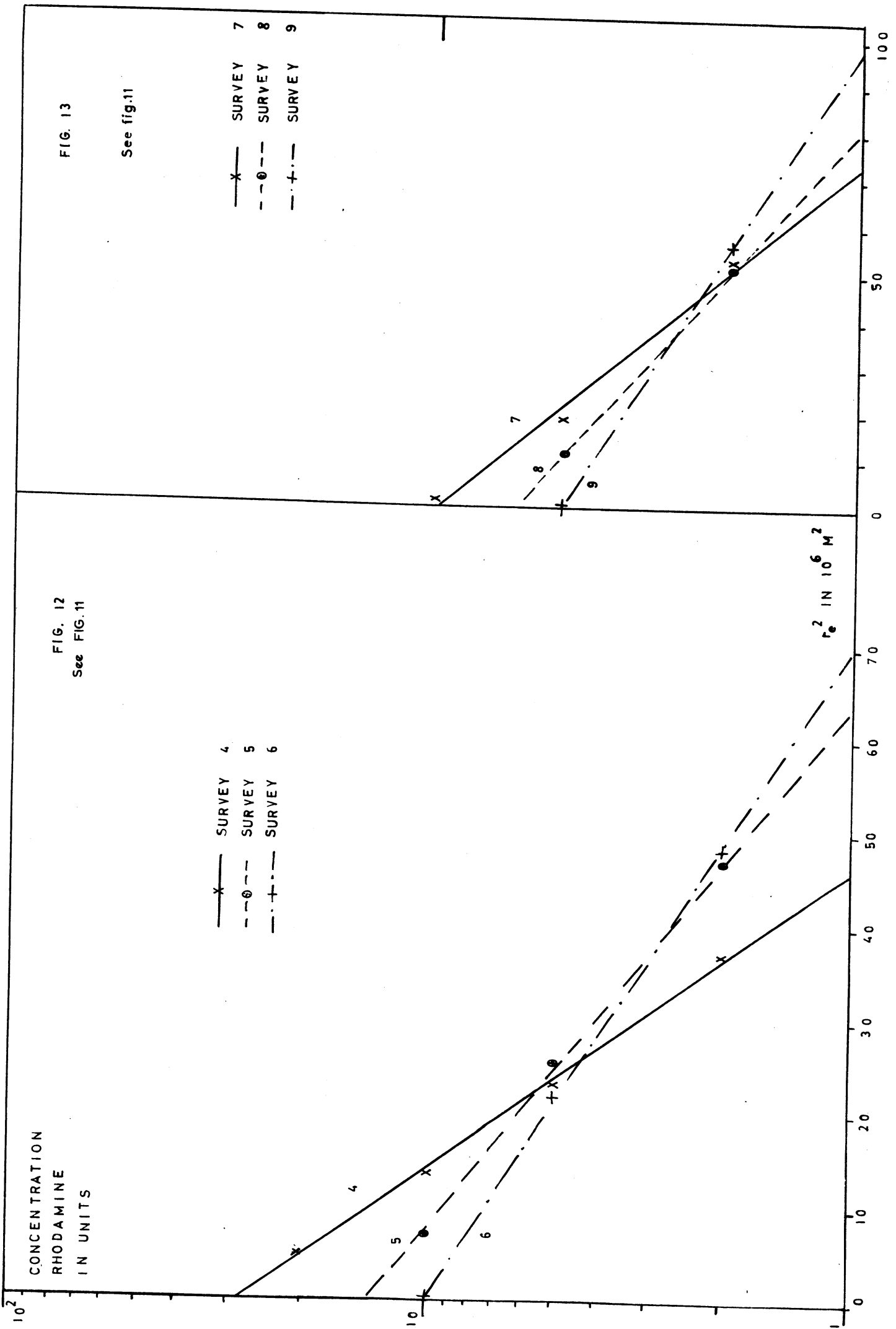
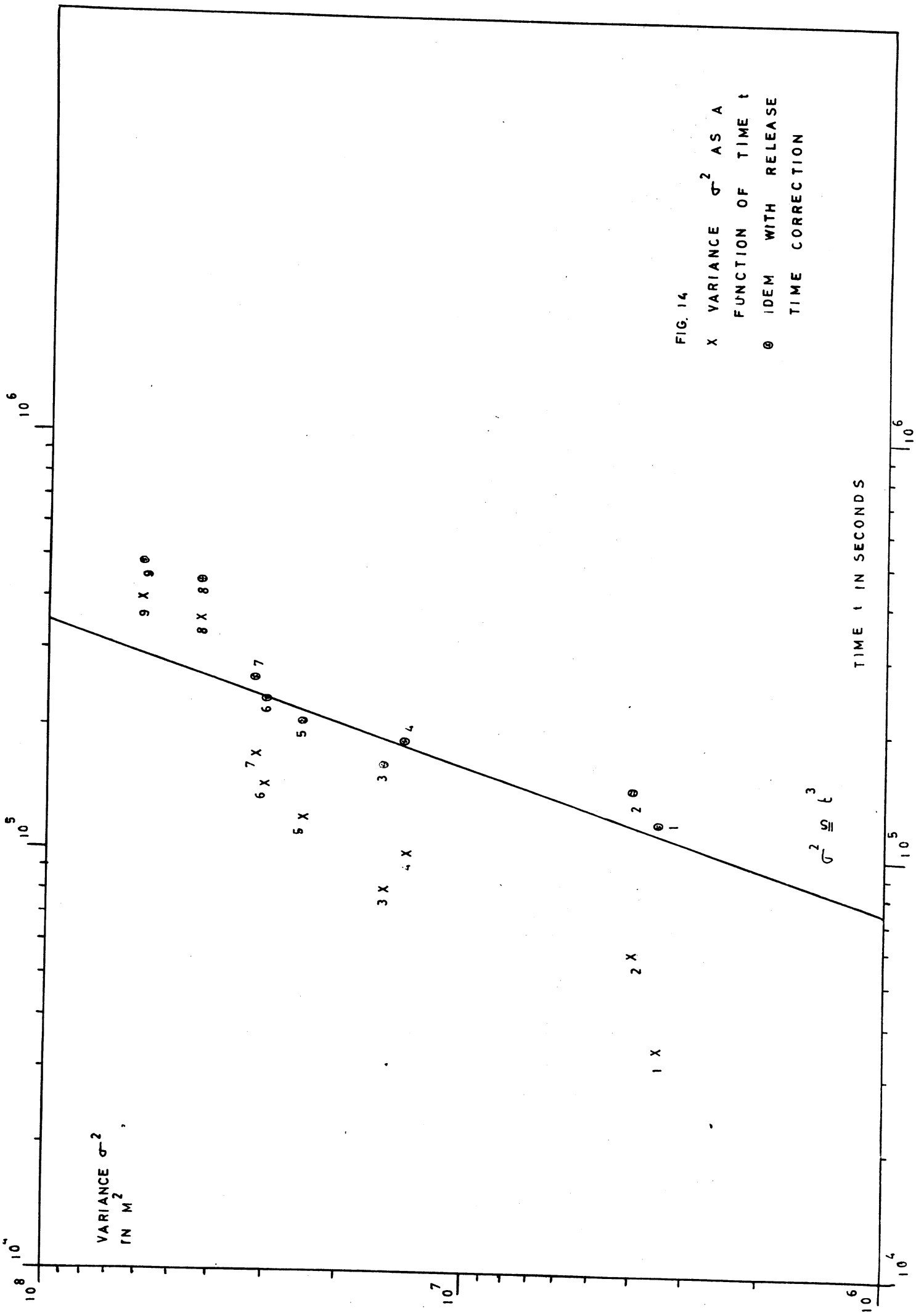


FIG. 11





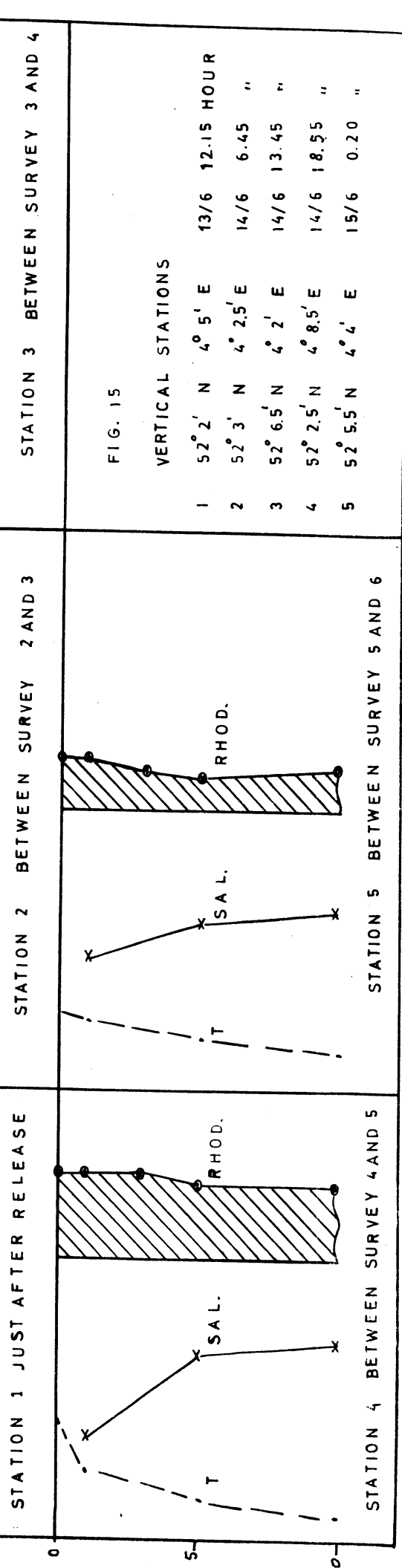
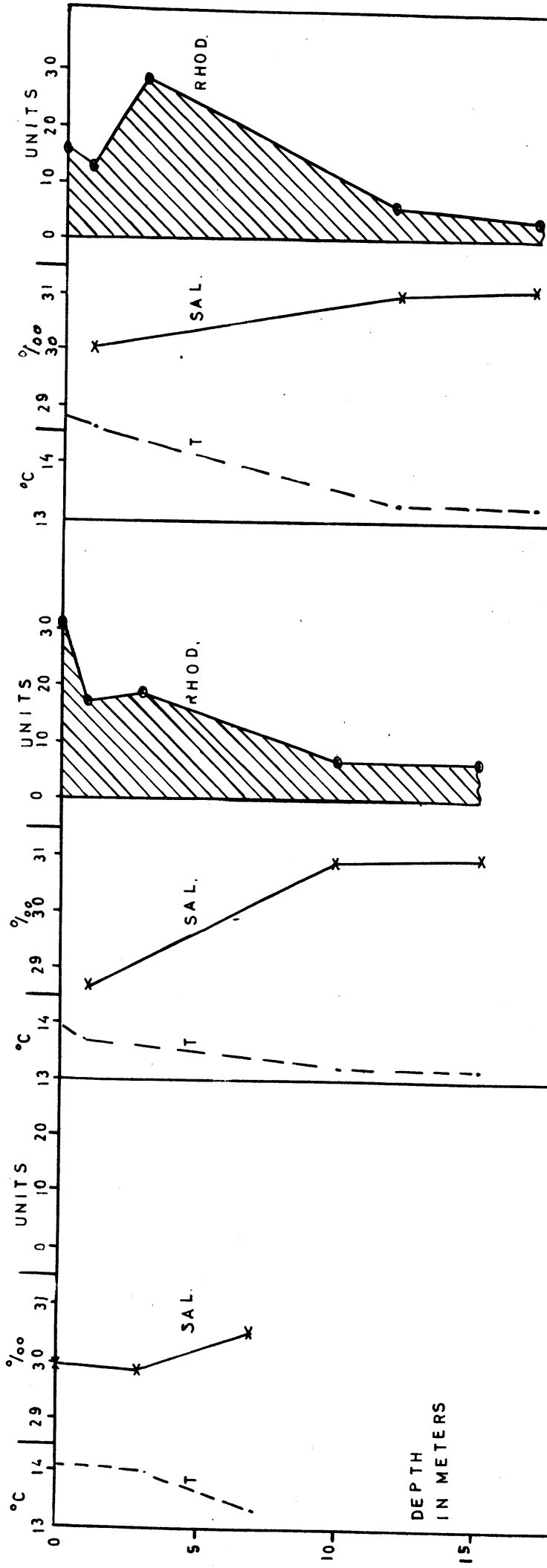


FIG. 15

VERTICAL STATIONS

STATION	VERTICAL STATION	DATE	TIME
1	52° 2' N 4° 5' E	13/6	12.15 HOUR
2	52° 3' N 4° 2.5' E	14/6	6.45 "
3	52° 6.5' N 4° 2' E	14/6	13.45 "
4	52° 2.5' N 4° 8.5' E	14/6	18.55 "
5	52° 5.5' N 4° 4' E	15/6	0.20 "

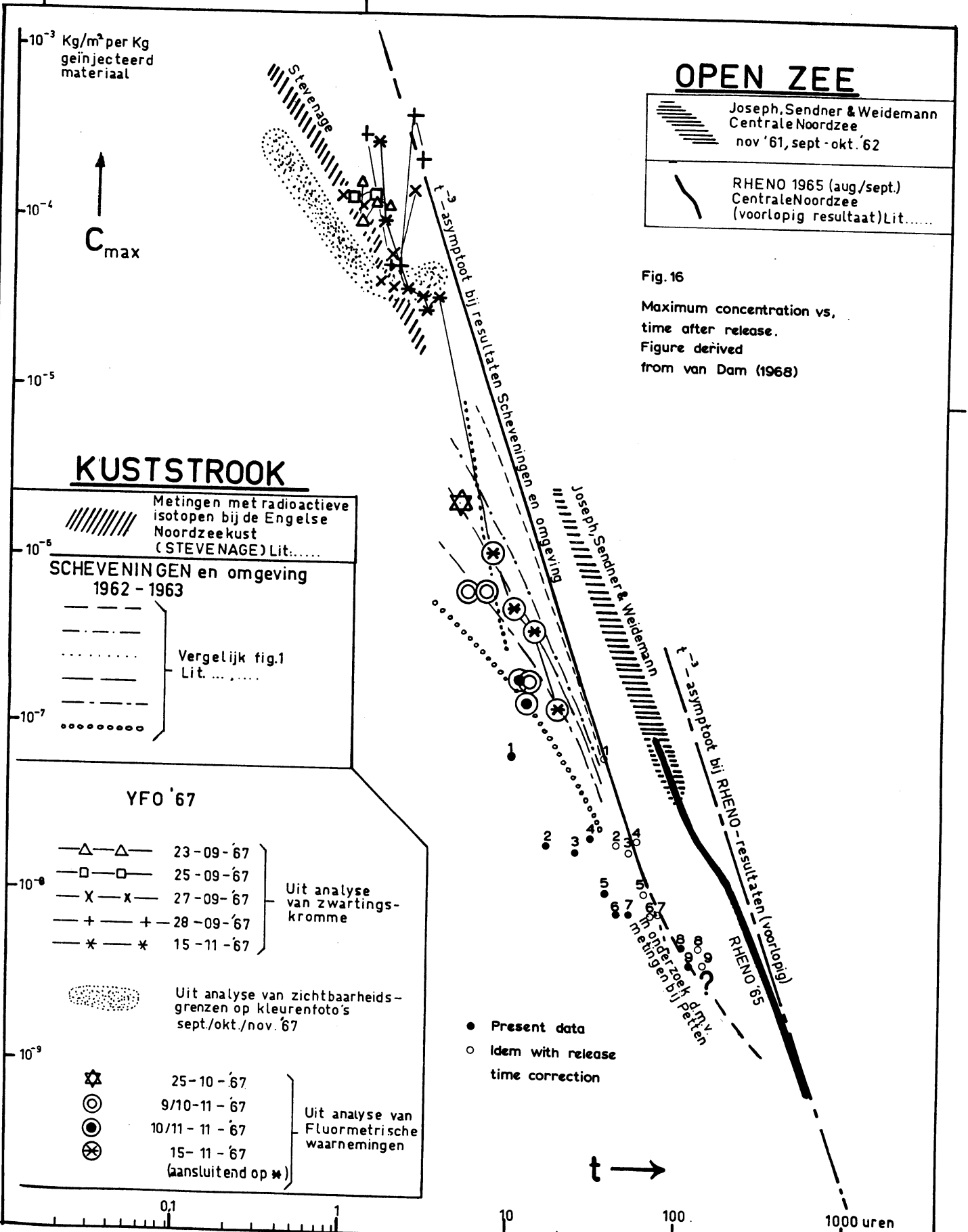
OPEN ZEE

Joseph, Sender & Weidemann
Centrale Noordzee
nov '61, sept - okt '62

RHENO 1965 (aug/sept.)
Centrale Noordzee
(voorlopig resultaat) Lit.....

Fig. 16

Maximum concentration vs,
time after release.
Figure derived
from van Dam (1968)



KUSTSTROOK

Metingen met radioactieve isotopen bij de Engelse Noordzeekust (STEVENAGE) Lit.....

SCHEVENINGEN en omgeving 1962 - 1963

Vergelijk fig.1 Lit.....

YFO '67

- △-△- 23-09-67
- 25-09-67
- X-x- 27-09-67
- + -+ - 28-09-67
- * -* - 15-11-67

Uit analyse van zwartingskromme

Uit analyse van zichtbaarheids-grenzen op kleurentoto's sept/okt./nov. '67

- ☆ 25-10-67
- ⊙ 9/10-11-67
- ⊗ 10/11-11-67
- ⊗ 15-11-67 (aansluitend op *)

Uit analyse van Fluometrische waarnemingen

● Present data
○ Idem with release time correction

t →

benaming			code		
EXPERIMENTEN NOORDZEE MET MOMENTANE INJECTIE			tek.n.r.		
onderdeel			03 67 28 18		
datum	get.	gec.	mat.	nabew.	datum
					21-11-67
WIJZIGINGEN			MATHEMATISCH - FYSISCHE AFDELING RIJKSWATERSTAAT DEN HAAG		
			A2		
			cent.bld. bld		

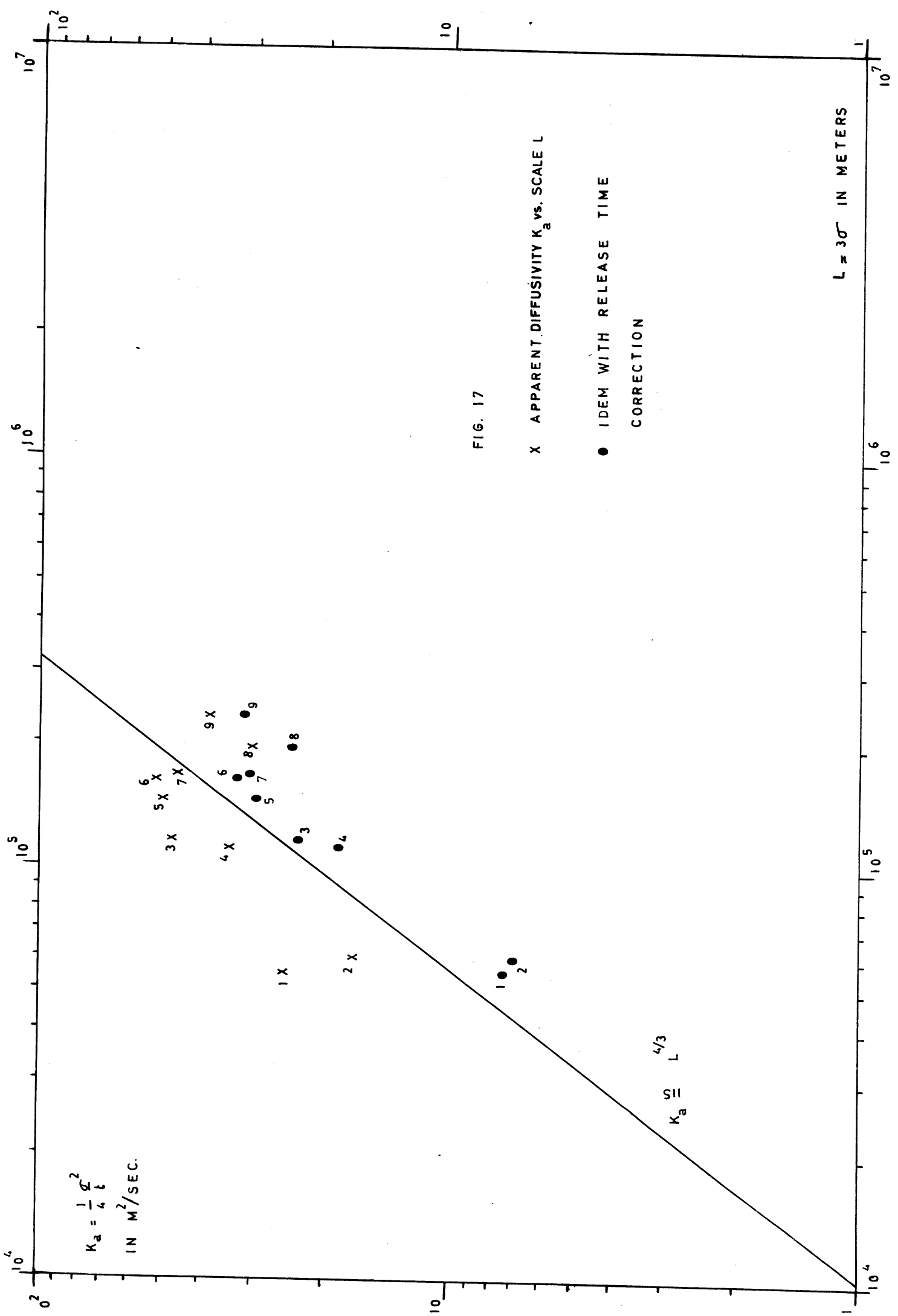
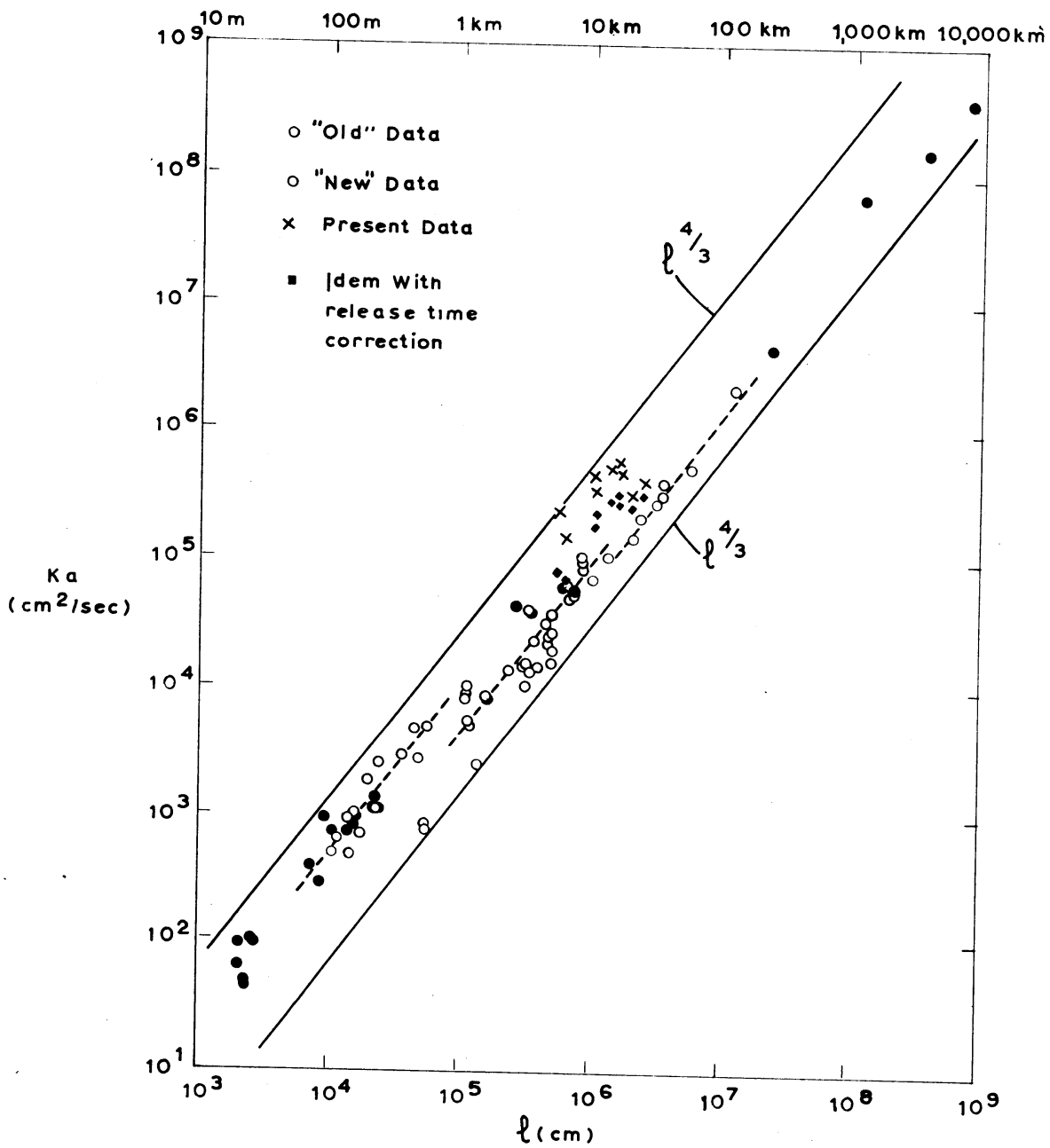
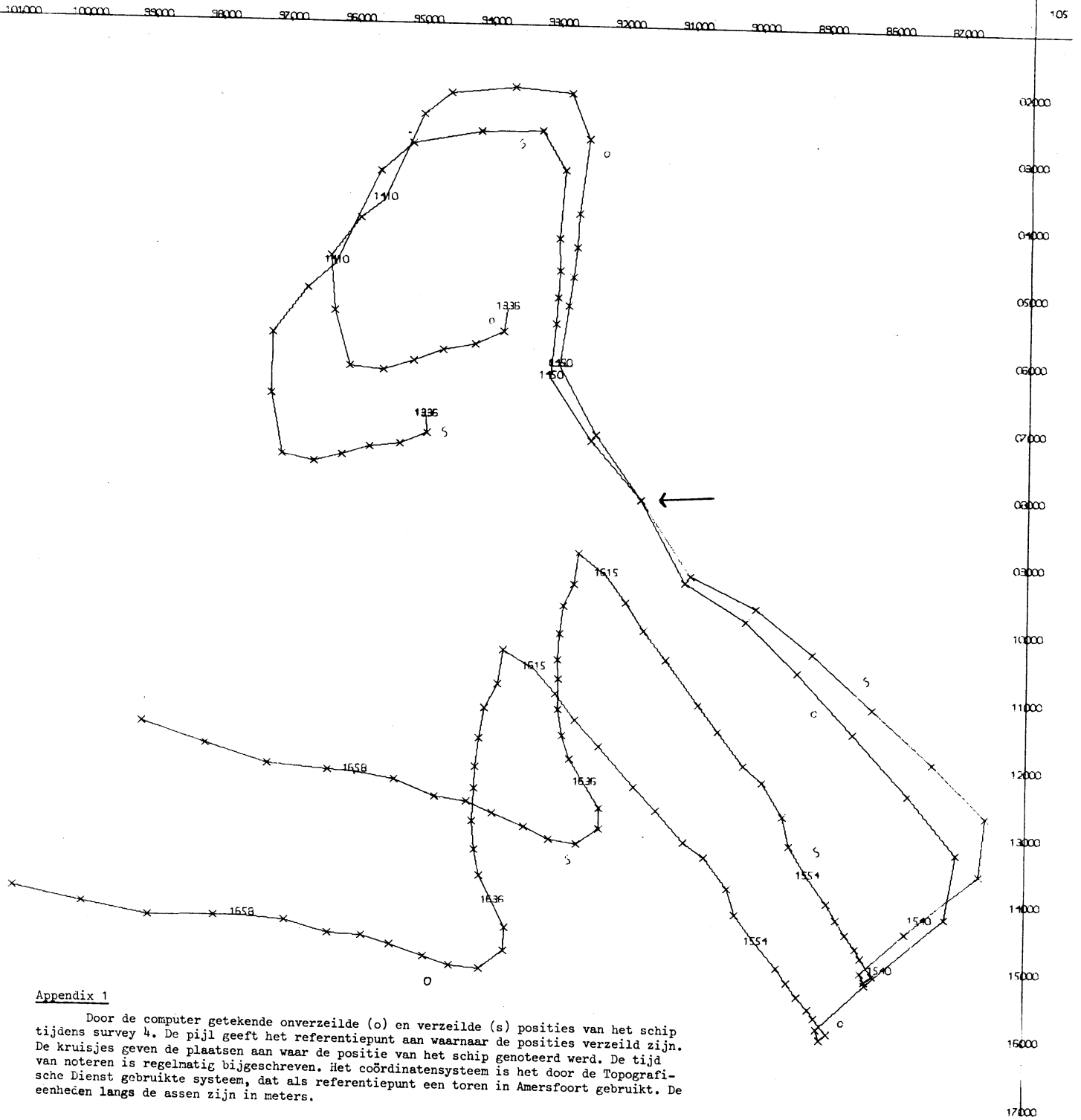


FIG. 17

Fig.18





Appendix 1

Door de computer getekende onverzeilde (o) en verzeilde (s) posities van het schip tijdens survey 4. De pijl geeft het referentiepunt aan waarnaar de posities verzeild zijn. De kruisjes geven de plaatsen aan waar de positie van het schip genoteerd werd. De tijd van noteren is regelmatig bijgeschreven. Het coördinatensysteem is het door de Topografische Dienst gebruikte systeem, dat als referentiepunt een toren in Amersfoort gebruikt. De eenheden langs de assen zijn in meters.

Appendix 2

Wind during the experiment in Hoek van Holland: ddd in degrees/ff in knots

Date	13/6	14/6	15/6	16/6	17/6	18/6	19/6
Time G.M.T.							
0	060/07	070/08	999/03	340/08	160/04	170/06	130/04
1	040/07	070/10	999/03	340/10	150/02	160/06	200/03
2	050/09	070/10	999/03	360/04	160/03	160/06	190/02
3	060/10	070/10	300/02	340/06	160/02	160/06	230/03
4	050/08	080/09	270/02	340/07	170/03	150/04	170/01
5	060/08	070/11	000/00	330/10	190/05	150/06	160/01
6	060/09	080/10	000/00	330/07	200/03	150/05	170/02
7	060/06	080/11	000/00	360/08	220/04	170/05	190/03
8	030/10	080/12	310/01	350/10	240/03	190/07	160/04
9	060/13	090/11	300/01	010/10	330/03	190/08	200/05
10	060/13	090/11	-----	020/06	330/06	180/07	180/04
11	050/12	080/14	280/03	010/13	290/04	210/08	230/05
12	060/12	090/14	350/06	010/10	330/09	200/06	280/06
13	070/14	-----	330/06	010/13	000/00	-----	280/07
14	060/15	090/12	330/06	020/12	-----	210/07	320/05
15	050/20	090/10	330/07	030/12	000/00	270/02	320/05
16	060/16	100/11	360/07	020/12	000/00	220/04	340/04
17	070/18	130/07	010/06	030/13	000/00	250/02	020/04
18	080/13	130/10	360/05	020/07	000/00	270/02	110/02
19	060/09	160/04	-----	020/06	-----	-----	999/03
20	060/08	180/03	010/06	030/04	210/03	000/00	-----
21	050/07	210/07	330/06	000/00	170/05	000/00	230/06
22	060/07	240/10	330/07	140/03	170/06	000/00	240/06
23	060/08	320/02	340/09	160/04	170/07	090/03	230/10

Appendix 3

Hourly means of current at station C (see fig. 1) derived from 10-minute measurements with a Plessey current meter at 8 meter depth.
 Direction in degrees/velocity in cm sec^{-1}

Date	13/6	14/6	15/6	16/6	17/6	18/6	19/6
Time C.E.T.							
00.50-01.50	238/115	218/ 61	220/ 58	227/ 58	245/ 40	285/ 20	1/ 17
01.50-02.50	215/ 36	211/ 49	220/ 49	208/ 61	241/ 56	250/ 38	293/ 17
02.50-03.50	44/ 28	215/ 31	215/ 35	211/ 46	230/ 52	244/ 46	256/ 33
03.50-04.50	55/126	83/ 8	219/ 18	242/ 38	228/ 39	243/ 52	242/ 47
04.50-05.50	35/ 76	51/ 66	48/ 21	291/ 21	268/ 23	235/ 46	244/ 53
05.50-06.50	47/ 61	42/ 69	50/ 68	55/ 24	198/ 6	240/ 34	237/ 46
06.50-07.50	31/ 42	43/ 58	51/ 60	49/ 69	69/ 31	257/ 13	239/ 45
07.50-08.50	7/ 6	30/ 42	32/ 39	43/ 61	38/ 59	46/ 25	247/ 19
08.50-09.50	208/ 6	354/ 20	22/ 30	41/ 55	43/ 53	39/ 49	51/ 21
09.50-10.50	234/ 39	283/ 10	330/ 14	43/ 28	34/ 42	48/ 49	52/ 45
10.50-11.50	213/ 62	232/ 40	260/ 20	16/ 4	11/ 26	38/ 35	47/ 46
11.50-12.50	214/ 65	228/ 59	227/ 44	284/ 19	326/ 15	19/ 25	38/ 38
12.50-13.50	202/ 56	225/ 58	217/ 64	220/ 38	277/ 23	343/ 12	16/ 24
13.50-14.50	210/ 42	222/ 50	214/ 62	219/ 58	241/ 41	251/ 16	335/ 12
14.50-15.50	196/ 15	213/ 30	212/ 44	214/ 58	250/ 57	230/ 38	231/ 8
15.50-16.50	49/ 46	91/ 3	205/ 22	211/ 43	236/ 52	238/ 53	187/ 23
16.50-17.50	53/ 75	52/ 62	67/ 16	198/ 14	212/ 34	239/ 50	220/ 38
17.50-18.50	43/ 65	42/ 71	50/ 67	69/ 14	175/ 12	226/ 41	212/ 41
18.50-19.50	31/ 52	44/ 57	46/ 68	51/ 59	68/ 28	208/ 18	240/ 30
19.50-20.50	23/ 22	32/ 40	49/ 55	51/ 62	53/ 61	57/ 16	266/ 5
20.50-21.50	244/ 4	7/ 22	31/ 38	38/ 52	48/ 57	58/ 45	21/ 25
21.50-22.50	215/ 37	283/ 12	8/ 19	35/ 37	35/ 45	54/ 51	56/ 65
22.50-23.50	213/ 61	231/ 42	252/ 13	348/ 10	24/ 32	47/ 41	50/ 66
23.50-00.50	217/ 67	227/ 61	267/ 39	269/ 15	2/ 19	24/ 29	42/ 51