

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

W.R. 77-1

M.P. Visser

Oceanografische omstandigheden in  
het zeegebied nabij Texel

De Bilt, 1977

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 77-1 (O.O.)

U.D.C. 551.465.43 (1.24)

Oceanografische omstandigheden in het zeegebied nabij Texel.

M.P. Visser.

Inhoud:

1. Inleiding.
2. Langlopende reeksen van waarnemingen bij het lichtschip Texel.
3. Andere (langlopende) reeksen waarnemingen.
4. De waarnemingstochten langs de Texelraai.
5. Ankerstations op het lichtschip Texel en daar in de buurt, en doorsneden daarop gebaseerd.
6. Verband tussen verticale dichtheidsgelaagdheid in het water en meteorologische omstandigheden.
7. Zoetwaterinhoud van de Texelraai.
8. Literatuur.

## Oceanographic circumstances in the North Sea near the island of Texel.

### Summary.

Complex oceanographic circumstances are often found near the island of Texel. Generally, large variations occur in the water density (salinity, temperature), both in horizontal and in vertical direction, and in the course of time. Current velocity and direction are often depth dependent. Interaction between one aspect and the other is not yet clear.

The so-called Texel section (fig. 4) has been sampled for over forty times during the period 1964-1969. Situations with no density gradients at all, or with gradients only in horizontal or vertical direction, are shown in fig. 6. The mean situation is shown schematically in fig. 8. It has been found that vertical stratification is dependent on tidal phase to a minor degree only (fig. 9). However, a strong connexion was found between existence or absence of vertical density stratification in the water, and occurrence of strong winds (table V). The latter can almost prevent such a stratification near Texel for a period of 25 - 42 days afterwards. These figures agree well with the average time freshwater takes between its leaving the Rhine estuary and its arrival near Texel.

### Samenvatting.

In het zeegebied bij Texel treden vaak ingewikkelde situaties op. De dichtheid van het water, bepaald door temperatuur en zoutgehalte (saliniteit), vertoont meestal grote variaties, zowel in horizontale als in verticale richting, en ook in de loop van de tijd. Eveneens is de stroom ter plaatse vaak afhankelijk van de diepte niet alleen in grootte maar ook in richting. Nog onduidelijk is hoe het één met het ander samenhangt.

Gedurende de periode 1964 - 1969 is in totaal ruim veertig maal de zgn. Texelraai bemonsterd (fig. 4). Extreme situaties die daarbij optreden zijn weergegeven in fig. 6, een gemiddelde is in fig. 8 schematisch geschetst. Gevonden verticale dichtheidsgradiënten blijken slechts ten dele in verband te kunnen worden gebracht met de getijfase (fig. 9). Wel blijkt het al of niet optreden van verticale gelaagdheid bij Texel in zeer sterke mate af te hangen van het niet of wel voorkomen van harde wind in de voorafgaande 4 à 6 weken (tabel V). Deze tijd komt goed overeen met de tijd die zoetwater uit het Deltagebied gemiddeld nodig heeft om langs de kust het zeegebied bij Texel te bereiken.

## 1. Inleiding.

Het Noordzeegebied bij het Marsdiep en het eiland Texel -om de gedachten te bepalen zich uitstrekkend tot op enige tientallen kilometers vanaf de kustlijn- heeft in de loop van de afgelopen jaren belangstelling getrokken vanwege de bijzondere oceanografische omstandigheden die zich daar voordoen. De aldaar optredende stromen zijn hiervan de oorzaak, in combinatie met de omstandigheid dat daar ter plaatse verscheidene watermassa's samentreffen, die gemengd worden met elkaar. Zolang de menging niet volledig is geworden, kunnen ze naast elkaar voorkomen ofwel aanleiding geven tot een verticale ge-laagdheid in het water. In dit verslag zal een overzicht worden ge-geven van wat bekend is over die verschillende watermassa's.

Het gebied heeft de volgende kenmerken:

- de diepte is maximaal 25 à 30 meter volgens geraadpleegde zeekaarten [1] \*).
- het getij is dubbeldaags [2, 3 en 4]. De getijstroomvektor be-schrijft een ellips, waarvan de lange as ongeveer evenwijdig aan de kustlijn ter plaatse is, en waarvan de excentriciteit groter is naarmate men dichter de kust nadert. In het beschouwde gebied door-loopt de spits van de stroomvektor deze ellips van Noord (vloed-stroom) via Oost naar Zuid (ebstroom) en via West weer terug naar Noord.
- op de getijstroom is een reststroom gesuperponeerd [2] meestal in noordelijke tot noordoostelijke richting, evenwijdig aan de kust gericht, die echter zowel wat grootte als richting betreft sterk afhankelijk is van de heersende wind.
- het geval doet zich in het betreffende gebied voor dat blijkens een aantal waarnemingen die in het verleden verricht zijn de getijstroom zich hier op afwijkende wijze kan gedragen. Men zou namelijk ver-wachten dat de getijellips (stroomroos), zoals die is waargenomen voor de oppervlaktestroom, op grotere diepte niet qua vorm, doch slechts qua grootte anders zal zijn, en wel dat de stroomsnelheid met de diepte volgens een bepaald profiel zal afnemen [9]. Het blijkt hier echter voor te kunnen komen dat, terwijl de stroom aan

\* ) N.B. Cijfers tussen vierkante haken verwijzen naar de literatuur

de oppervlakte, tot een zekere diepte, steeds ruimt, er op grotere diepte een stroom heerst die het grootste deel van de getijperiode in dezelfde of nagenoeg dezelfde richting gaat als de bovenstroom, uitgezonderd enige tijd rondom de kentering van eb (zuidwaartse stroom) naar vloed (noordwaartse stroom). Bij deze uitzondering krimpt de onderstroom van eb naar vloed. Tijdens deze kentering, gedurende welke de stroomrichting belangrijk afwijkt van de richting van de kustlijn, en dus een komponent daar loodrecht op heeft, zijn de stroomsnelheden over het algemeen wel klein, doch meestal niet verwaarloosbaar. Men noemt deze afwijking wel "Texelmolen".

- voor de regionale verdeling van allerlei hydrografische grootheden in de zuidelijke Noordzee, waar het gebied van onderzoek deel van uitmaakt, kan worden verwezen naar [ 5, 6, 7 ] ; daar worden overzichten gegeven van de oppervlaktewaarden van temperatuur, saliniteit, concentratie van voedingsstoffen enz...
- in het gebied bij Texel heeft de nabijheid van het land, door de geringer wordende waterdiepte naarmate men de kust meer nadert, grote invloed op de oppervlaktetemperatuur van het water. Deze blijkt 's zomers naar de kust toe enigszins toe te nemen, terwijl 's winters het tegengestelde optreedt.
- hoe de oppervlaktetemperatuur op enige punten in de loop van het jaar varieert, wordt weergegeven in fig. 1a en 1b, die gebaseerd zijn op de gemiddelde waarden gemeten op de lichtscheperen Texel en Terschellingerbank \*) [ 8 ] .
- wat betreft de saliniteit aan de oppervlakte, deze blijkt bij Texel vanuit volle zee, waar de saliniteit meestal 34 à 35 ‰ bedraagt, in de richting naar de kust af te nemen tot dicht bij de kust waarden van ongeveer 28 à 30 ‰ of zelfs lager zijn bereikt. Dit is een gevolg van zoetwaterafvoer, voornamelijk uit het Deltagebied.
- temperatuur én saliniteit zijn in dit zeegebied -in tegenstelling tot het grootste deel van de zuidelijke Noordzee [ 10 ] - niet altijd homogeen over de gehele diepte. Belangrijkste doel van dit verslag is het geven van een aantal meetresultaten hierover, voorzien van enig commentaar.

\*) lichtschip Terschellingerbank is in dit verslag nog op de "oude" positie gedacht, t.w. 53°29'N, 05°08'E.

Enige cijfers voor wat verder ter sprake zal komen:

Vertikaal getij: Hoogwater te Den Helder treedt gemiddeld op 6.3 uur ná maansdoorgang door de meridiaan van Greenwich. Voor het lichtschip Texel is dit 5.8 uur.

Horizontaal getij: De maximale getijstroom voor vloed bij lichtschip Texel valt gemiddeld ca. 3.6 uur ná maansdoorgang te Greenwich.

2. Langlopende reeksen waarnemingen bij het lichtschip Texel.

Reeds gedurende jaren wordt op de Nederlandse lichtschepen de zee-watertemperatuur bepaald (putsmethode) op vastgestelde tijden, t.w. 0, 6, 12 en 18 uur gmt. Resultaten daarvan zijn weergegeven in [ 8 ] , een gemiddelde van een tiental jaren is ook weergegeven in de figuren 1a en 1 b.

Deze temperatuur is zeer sterk onderhevig aan een jaarlijkse gang (seizoensgang); getij en dagelijkse gang hebben slechts een geringe invloed.

In de afgelopen jaren is ook de saliniteit van het oppervlaktewater bij de Nederlandse lichtschepen regelmatig gemeten. Eénmaal per dag, te 9 uur gmt, werd uit een puts water een monsterflesje gevuld, dat later op zoutgehalte werd onderzocht bij het Rijksinstituut voor Visserijonderzoek te IJmuiden. Om een indruk te geven van het verloop van de saliniteit is in fig. 2 weergegeven hoe dit gedurende enige jaren is geweest.

Volgens de ICES-atlas [ 5 ] zou klimatologisch ongeveer een sinusvormige seizoensinvloed te verwachten zijn met als uitersten: juni 33.2°/oo  
oktober 34.0°/oo

Het is duidelijk dat in onze fig. 2 deze seizoensvariatie geheel ver-sluierd is door onregelmatige invloeden (ruis). In het verleden is door Otto [ 11 ] reeds aangetoond dat bij de Nederlandse lichtschepen getijinvloed op de oppervlaktosaliniteit statistisch wel aanwezig is, doch dat stochastische variaties hierbij een zeer grote rol spelen. De figuur geeft hiervan een illustratie.



Waarnemingen aan het oppervlak geven nog geen informatie over hetgeen zich daaronder afspeelt. Ervan uitgaande dat geen of slechts geringe thermische gelaagdheid optreedt -waaraan als regel wordt voldaan- zijn evt. dichtheidsverschillen langs de vertikaal alleen op zoutgehalteverschillen terug te voeren. Dat kan nu alleen worden verwacht dat het diepere water minstens even zout zal zijn als het oppervlaktewater. Voor de rest geldt wat reeds door Otto werd vastgesteld:

(l.c.)

"..... Het is niet zo, dat op grotere diepte de saliniteitsvariaties een grotere regelmaat vertonen. Maxima en minima kunnen op vrijwel elk tijdstip van het getij optreden. ....".

Dit verslag zal blijken aan de hand van een aantal gemeten voorbeelden deze regel te illustreren.

Reeds jaren worden op de Nederlandse lichtscheperen stroommetingen verricht. In de jaren voor de tweede wereldoorlog werden deze waarnemingen op zeer eenvoudige manier uitgevoerd, indien er niet te veel wind stond. Een overzicht en een bewerking ervan geeft L. Otto [2]. In latere jaren zijn deze waarnemingen gedaan met een "vertikaal-log-stroommeter", hangend op 6 m diepte. Resultaten hiervan zijn nog slechts gedeeltelijk bewerkt, men zie bijv. L. Otto's bijdrage [14].

Juist omdat in het verleden er reeds op is gewezen dat er mogelijk een verband bestaat tussen het al of niet optreden van een dichtheidsstratifikatie in het water en het al of niet regelmatig "abnormaal" kenteren van de onderstroom van eb naar vloed (Dietrich, [15]), is op het lichtschip Texel sedert enige jaren ook een vertikaal-log-stroommeter op 18 m diepte gehangen. Resultaten van deze gecombineerde metingen op twee diepten moeten nog apart bekeken worden, en vallen daarom buiten het kader van dit verslag.

### 3. Andere langlopende reeksen.

Behalve op het lichtschip Texel zijn ook langlopende reeksen waarnemingen bekend op enige posities daar in de buurt.

- a. De waarnemingen op het lichtschip Terschellingerbank zijn evenals die van Texel weergegeven in [8], het zoutgehalte is daarin niet opgenomen, maar het is wel bekend: op het KNMI zijn de gegevens aanwezig.

Ter vergelijking met Texel is in fig. 2 voor een deel van het jaar 1965 getekend hoe het oppervlaktezoutgehalte van de beide lichtschepen varieerde. De indruk is dat deze twee reeksen geen beste korrelatie vertonen onderling. Zelfs is het zo, dat de afwisseling tussen "rustige" en "onrustige" perioden bij de één niet overeenstemt met die bij de ander.

Misschien zou er nog een korrelatie te vinden zijn met een tijdsvertraging, zodat bijv. het zoutgehalte bij Texel op zekere dag zou samenhangen met dat bij Terschellingerbank enige dagen vroeger of later. Figuur 2 doet niet veel goeds vermoeden op dit punt, en daarom is van zo'n berekening afgezien. Om snel toch een indruk te verkrijgen van mogelijk voorkomende samenhangen, is in fig. 2a in een saliniteitsdiagram het zoutgehalte bij Texel en bij Terschellingerbank (op dezelfde dag) grafisch voorgesteld voor een aantal maanden. Hieruit is te zien dat de punten die een stel waarnemingen voorstellen, een vrij aaneengesloten zwerm vormen met als zwaartepunt ongeveer:

S (Texel)	34°/oo
S (Terschellingerbank)	32½°/oo

Enige "uitschieters" worden gevonden naar lagere zoutgehaltenes, maar deze treden niet bij de twee lichtschepen tegelijk op.

Voor de data waarop sterke verticale gelaagdheid werd aangetroffen bij Texel (zie volgende hoofdstuk), zijn de punten in het saliniteitsdiagram, met zo mogelijk die van de voorgaande en van de volgende dag, apart weergegeven in fig. 2b. De indruk bestaat dat deze punten t.o.v. bovengenoemd zwaartepunt iets naar lagere zoutgehaltenes zijn verschoven, maar dusdanig weinig dat het niet zinvol lijkt om er een uitvoeriger berekening over op te zetten.

- b. In de haven van Den Helder werden door een TNO-werkgroep gedurende de jaren 1961, 1962, 1965 en 1967 waarnemingen verricht voor ecologisch onderzoek ten behoeve van de bestrijding van aangroeiingen, bijv. op schepen. Bij deze waarnemingen is de saliniteit (in de vorm

van chloriniteit) inbegrepen. Opgemerkt moet worden dat deze TNO-waarnemingen, opgezet voor een geheel ander doel dan het onze, vrij slecht passen in het kader van ons geheel. Ze zijn alleen genomen op werkdagen, op het berekende hoog- of laagwater dat tussen 6 en 12 uur 's morgens viel, op 30 cm en op 2 m diepte. Het bleek dan ook dat deze gegevens geen essentiële informatie konden bijdragen voor ons onderzoek.

#### 4. De waarnemingstochten langs de Texelraai.

Om enig inzicht te krijgen in de menging en overschuiving van water-massa's is het niet voldoende om op een enkel punt oppervlaktewaarnemingen te verrichten. Zelfs indien het mogelijk zou zijn om vanaf het lichtschip regelmatig ook waarnemingen te doen in de diepte, dan nog geeft dit slechts een onvolledig beeld; verderop zal daarop terugkomen worden.

Daarom werd in 1964 besloten om een vaste raai, ongeveer loodrecht op de kust en door de positie van het lichtschip Texel, regelmatig te bevaren gedurende langere tijd, zo mogelijk eenmaal per maand. In de praktijk bleek dit niet geheel doenlijk te zijn. De positie van de raai werd ervaringsgewijs vastgesteld, zie fig. 3 en 4. Deze metingen werden uitgevoerd tot 1969; in totaal zijn 42 meetreeksen beschikbaar.\*)

Op ieder station werd de temperatuur en de saliniteit gemeten op twee of drie dieptes, t.w. aan de oppervlakte, op 10 m diep en zo mogelijk op 20 m diep. Tussen de stations in werd varend meestal nog enkele malen een oppervlaktewaarneming verricht. De waarnemingsreeksen werden onderling vergeleken, speciaal wat betreft de verdeling van de dichtheid van het water in een verticale doorsnede door de raai. Deze verticale stratifikatie kan worden gekarakteriseerd door voor ieder station van de raai het verschil van de dichtheid bij de bodem en die aan de oppervlakte te nemen; het gemiddelde van dit verschil over de diverse stations zij  $\Delta V$ , uitgedrukt in dichtheidseenheden  $\text{kg/m}^3$  over een afstand van ongeveer 20 m. Dit geeft dus één getal voor iedere keer dat de raai bevaren is.

\*) Met grote dank wordt hier vermeld de zeer bijzondere hulp die altijd is ontvangen van de dienst van het Leedzwezen en van het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee.

De horizontale dichtheidsgradiënt is in getalmaat vastgelegd door het verschil op te maken in de dichtheid ver van de kust (op station  $Z_5$ ) en dichtbij ( $Z_1$ ) en wel op enige dieptes; het gemiddelde daarvan zij  $\Delta H$ , uitgedrukt in dichtheidseenheden  $\text{kg/m}^3$  over een afstand van ongeveer 15 zeemijl ( $\approx 28$  km).

De resultaten van een en ander zijn weergegeven in tabel 1. De getallen van deze tabel zijn grafisch voorgesteld in fig. 5. Hieruit blijkt dat in de onderzochte 42 gevallen voor het merendeel de verticale stratifikatie  $\Delta V$  minder dan  $1 \text{ kg/m}^3$  per 20 m bedraagt, terwijl in horizontale richting gemiddelde dichtheidsverschillen van 1 tot meer dan  $4 \text{ kg/m}^3$  per 28 km worden gevonden.

De meest markante voorbeelden zijn in de vorm van doorsneden met dichtheidsisolijnen getekend in fig. 6, het bijbehorend verloop langs de raai van de oppervlakte-saliniteit wordt in fig. 7 weergegeven. De figuren van de situatie op 1 april 1965 geven tevens een beeld van de variatie die te verwachten is bij een aantal uren verschil tussen het heen- en terugvaren langs de raai.

Hierop wordt nog teruggekomen.

Uit tabel I en fig. 5 is af te leiden dat de meeste gevallen met sterke verticale gelaagdheid zich voordoen in voorjaar en zomer, ongeveer in de maanden april-september. Duidelijk is dat dan ook een aanzienlijke waarde van  $\Delta H$  kan optreden. In najaar en winter daarentegen, van oktober tot maart, treedt over het algemeen slechts een zeer zwakke verticale gelaagdheid op.

Indien op grond van fig. 5 de grens  $\Delta V = 1$  wordt genomen, dan noemen we het geval met kleinere verticale gelaagdheid "normaal", en de gevallen met grotere verticale gelaagdheid "zomers gelaagd". In totaal is tien keer een zomerse gelaagdheid waargenomen, tegen ruim dertig "normale" gevallen. Van deze laatste vallen er vijftien óók in de maanden april-september, en de resterende in de maanden oktober-maart.

Het lijkt zinvol om van de normale gevallen enige gemiddelde waarden te berekenen om de toestand vast te leggen. Gemiddelden van  $\Delta V$  en  $\Delta H$  zijn gegeven in tabel II: rekenkundig gemiddelde waarde  $\mu = \frac{1}{N} \sum x$  standaardafwijking  $\sigma = \sqrt{(\sum (x - \mu)^2) / (N - 1)}$  en mediane waarde.

Dat we deze situatie als "normaal" mogen beschrijven steunt op het feit dat indien de 17 gevallen in oktober-maart en de 15 gevallen in april-september waarvoor  $\Delta V < 1$  als twee aparte groepen worden bekeken, ongeveer gelijke uitkomsten worden verkregen. Deze zijn eveneens weergegeven in tabel II. Hieruit kan het volgende worden geconcludeerd: voor die gevallen waarbij het gemiddelde dichtheidsverschil tussen oppervlakte en bodem,  $\Delta V$ , niet groter is dan  $1 \text{ kg/m}^3$ , is dit verticale dichtheidsverschil gemiddeld genomen in zomer en winter gelijk. In iets mindere mate geldt dit zelfde voor het gemiddelde horizontale dichtheidsverschil  $\Delta H$ , wederom mits  $\Delta V < 1 \text{ kg/m}^3$

Een doorsnede van de dichtheidsverdeling langs de raai wordt gegeven in fig. 8. Hier is de situatie weergegeven indien aangenomen wordt dat over  $\Delta V$  en  $\Delta H$  lineair mag worden geïnterpoleerd.

Uit fig. 6 en uit de grote waarden van de standaardafwijkingen van  $\Delta H$  en  $\Delta V$  zal duidelijk zijn dat van deze gemiddelde "toestandgrafieken" zeer grote individuele afwijkingen kunnen voorkomen. Tevens is in fig. 8a niet tot uitdrukking gebracht dat een eventueel aanwezige verticale gelaagdheid meestal bij de kust meer uitgesproken is dan ver op zee.

Een "tweede orde benadering" waarbij wel rekening is gehouden met dit feit beschouwt afzonderlijk de waarde van de verticale stratifikatie aan de beide uiterste stations van de raai.

Stellen we dat in dit geval de gevonden waarden voor  $\Delta H$  gelden voor de helft van de totale diepte, dus op 10 m diepte, en dat over de gehele raai de dichtheid een lineaire functie van de diepte is, dan kan deze tweede orde benadering worden voorgesteld zoals in fig. 8b is weergegeven. Het zal duidelijk zijn dat ook de veronderstelling dat de dichtheid lineair met de diepte verandert, niet geheel juist is, doch fig. 8b geeft een voldoende beeld van de gemiddelde situatie.

De vraag rijst in hoeverre het juister zou zijn om hier het rekenkundig gemiddelde  $\Delta H$  en  $\Delta V$  als maatstaf te nemen in plaats van de mediane waarde, om een gemiddelde toestand te beschrijven. Zeker zijn gemiddelde waarde en standaardafwijking op zichzelf geschikte grootheden om te gebruiken, mits hierbij geen vooronderstellingen zijn gemaakt over de vorm van de frekwentieverdeling van  $\Delta H$  en  $\Delta V$ . Deze zal namelijk

niet normaal zijn, zoals duidelijk blijkt uit tabel II. Over het algemeen geeft de mediaan een beter beeld van wat gemiddeld te verwachten is, dan het rekenkundig gemiddelde; het is namelijk de uitkomst met een overschrijdings- en een onderschrijdingskans van beide 50%.

Volgens de theorie van Dietrich [15] zou nu in het beschouwde gebied het al of niet voorkomen van een verticale stratifikatie afhangen van de fase van het getij. Om dit te verifiëren is voor alle hier beschouwde tochten langs de raai nagegaan in welk fase-interval van het getij ze hebben plaatsgevonden.

Dit is weergegeven in tabel III, waaruit blijkt dat geen ernstige tekortkomingen zijn opgetreden in dit opzicht. Ook is nagegaan of bij optredende verticale gelaagdheid  $\Delta V$  de grootte hiervan afhankelijk is van de getij-fase.

Daartoe is van elke keer dat de raai is bevaren de daarbij gevonden waarde van  $\Delta V$  toegekend aan het gehele fase-interval waarbij deze tocht werd gedaan, afgerond in gehele uren.

Nemen we per uur interval na hoogwater te Den Helder het gemiddelde of de mediaan van alle erbij behorende waarden van  $\Delta V$ , dan vinden we de resultaten zoals die zijn weergegeven in tabel IV en figuur 9a. Hieruit blijkt dat de verticale stratifikatie vrijwel constant is ( $\Delta V \approx 0.30$ ) en als onafhankelijk van het getij kan worden beschouwd voor de "normale" gevallen.

Bij het tiental gevallen waarbij een zomerse gelaagdheid is geconstateerd, is dezelfde procedure toegepast. Het geringe aantal waarnemingen noopt uiteraard tot grote voorzichtigheid, doch als vergelijkingsmateriaal zijn ze eveneens gegeven in tabel IV en fig. 9b. Met alle reserve die in acht moet worden genomen zou geconcludeerd kunnen worden dat maximale stratifikatie optreedt in de uren rondom maansculminatie te Greenwich, ruwweg vanaf maximale ebstroom tot maximale vloedstroom (!), en minimale stratifikatie in de uren rondom hoogwater te Den Helder.

Dietrich vond in zijn eerdergenoemde publikatie dat de sterkste stratifikatie optreedt kort na het tijdstip van maansculminatie in Greenwich, en dat één periode met weinig of geen verticale stratifikatie optrad gedurende een korte periode (tot enige uren) ongeveer halverwege de tijd tussen twee maansculminaties in. Dat was in de maand maart. Het lijkt redelijk om te concluderen dat de metingen van

Dietrich althans kwalitatief niet in tegenspraak zijn met de door ons gevonden waarden. Echter blijkt uit onze waarnemingen dat het door hem beschreven geval zeker geen regel is, maar een uitzondering. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de posities van Dietrich's ankerstation en de Texelraai niet dezelfde zijn (zie fig. 3), en dat een ankerstation niet altijd te vergelijken is met de gemiddelde waarden van een raai. Hierop wordt in het vervolg nader ingegaan.

Eénmaal is een poging gedaan, in april 1963, om de waarnemingen langs deze raai te verkrijgen in een meer synoptische vorm door enige malen achter elkaar heen en weer te varen over de route .....  $z_1-z_2-z_3-z_2-z_1-z_2$  ....., waardoor op ieder van deze stations de verandering met de tijd kon worden gemeten. Het lichtschip Texel werd hierbij gebruikt als ankerstation, en de gehele waarnemingsperiode bedroeg ongeveer 18 uur. De waarnemingen zijn als lijnen van gelijke dichtheid in een afstand-tijd diagram voorgesteld in fig. 10. Duidelijk blijkt dat deze tijd te kort is geweest voor het verkrijgen van een goed inzicht, echter geeft het resultaat wel te zien met welk een gecompliceerd geheel van periodieke overschuiving men hier te maken kan hebben. Een uitvoeriger bemonstering van de Texelraai in deze zelfde geest zou zeker nog eens herhaald moeten worden om een goed beeld van deze situatie te krijgen.

Het merendeel van het hier beschreven waarnemingsmateriaal langs de Texelraai is indertijd ook reeds weergegeven in een kleine ICES-Mededeeling [16]. Toen is echter de indeling in de twee verschillende zomer-situaties, te weten "normaal" en "zomers gelaagd" niet gemaakt, doch is het gemiddelde van alle zomerwaarnemingen genomen. Het inzicht dat fig. 5 verschaft ontbrak toen.

##### 5. Ankerstations op het lichtschip Texel en op enige andere posities, voornamelijk langs de Texelraai.

Zowel op het lichtschip Texel als in de nabijheid daarvan is in het verleden herhaaldelijk een ankerstation bezet gedurende minstens een getijperiode, met het doel de variaties in oceanografische omstandigheden op één punt te bestuderen gedurende langere tijd. Uit regelmatige seriewaarnemingen (uurlijks of 2-uurlijks, soms 3-uurlijks) soms gecombineerd met oppervlaktewaarnemingen of bathythermograafwaarnemingen,

is de dichtheid van het water ( $\sigma_t^*$ ) uitgezet als functie van de diepte en van de tijd, waarbij het al of niet periodiek optreden van een verticale gelaagdheid duidelijk blijkt (fig. 11 diene als voorbeeld). De fase van het getij is bepaald door de maansculminaties door de meridiaan van Greenwich die in de tijdschaal zijn aangegeven.

Duidelijk blijkt dat daar en toen een periodiek optredende gelaagdheid is voorgekomen, geheel in overeenstemming met Dietrich's bevindingen qua fase van het getij, en met onze fig. 9. Enige malen is het gelukt om twee ankerstations tegelijk te bezetten, waarvan één op het lichtschip Texel, met het doel het overschuivingsproces van de verschillende aanwezige watermassa's te kunnen volgen. Hieraan ligt dus dezelfde opzet ten grondslag als aan het regelmatig bewaren van de Texelraai (fig. 10), alleen zijn nu zowel de afstanden als de tijdsintervallen kleiner. Doorsneden door de posities van de beide ankerstations zijn gegeven in fig. 12, dat, als voorbeeld, de situatie weergeeft op 20-22 april 1963. De positie van het tweede ankerstation is weergegeven met "A" in fig. 4, een zeemijl noordoost van station  $z_2$ . De gebeurtenissen tussen de stations  $z_2$  en  $z_2'$  van de Texelraai worden hierin dus voor enige getijperiodes op kleine schaal en intensief bemonsterd in de tijd weergegeven. Ook hier blijkt weer dat ongeveer ten tijde van maansculminatie Greenwich de verticale gelaagdheid bij het lichtschip op gaat treden, en dat gemiddeld genomen de mate van gelaagdheid bij het meer kustwaarts gelegen station groter is dan op het lichtschip. Merkwaardig is ook dat op beide posities de stroomkenteringen niet altijd samenvallen in de tijd, en ook niet van hetzelfde type schijnen te zijn. Uiteraard zijn deze meetseries te kort om hierop algemene uitspraken te baseren.

Op het lichtschip Terschellingerbank, dat volgens fig. 3 ook nog in het hier bestudeerde "zeegebied bij Texel" zou liggen, is slechts éénmaal een ankerstation gevestigd, waarvan de resultaten zijn weergegeven in fig. 13. Gedurende twee niet-aaneengesloten dagen werd

\*) De dichtheid van zeewater wordt als regel uitgedrukt als  $\sigma_t = (\text{soortelijke massa} - 1000) \text{ kg/m}^3$ . Deze is afhankelijk van temperatuur, saliniteit en druk.



uurlijks gemeten. Het blijkt wel dat de hydrografische situatie vergelijkbaar is met die bij het lichtschip Texel, wat betreft periodieke gelaagdheid en de fase hiervan t.o.v. het getij. Zoveel mogelijk zijn bij deze metingen ook de stromen gemeten. Vastgesteld kan hier wel worden dat in de meeste gevallen de kentering van vloed naar eb een periode van verticale homogeniteit inluit, en dat aan het eind van de eb een periode aanvangt van min of meer sterke verticale stratifikatie (zie soortgelijke conclusies van Otto in [11]). Onderlinge verschuivingen van enige uren kunnen blijkbaar wel voorkomen.

#### 6. Verband tussen verticale dichtheidsgelaagdheid in het water en meteorologische omstandigheden.

Het is te verwachten dat het al of niet optreden van een dichtheidsgelaagdheid in het water bij Texel mede zal afhangen van de weersomstandigheden in de periode die eraan vooraf is gegaan. Het zoetere water, afkomstig uit de Rijndelta, moet ongeveer 110 km (= 60 zeemijl) afleggen om ons onderzoeksgebied te bereiken. Bij een gemiddelde reststroom van  $3 - 5 \text{ cm s}^{-1}$  (= 0.06 - 0.1 zeemijl/uur) zal dit 1000 - 600 uur vergen, d.i. 42 - 25 etmalen [2]. Bij grotere of kleinere snelheid van de reststroom wordt deze tijd evenredig korter of langer.

Het is mogelijk dat niet alleen het zoete water uit de Delta een rol speelt, maar ook het water dat uit de Waddenzee afkomstig is. Die laatste is dan wel van ondergeschikte betekenis. [12, 13].

De meteorologische omstandigheden gedurende deze tijd zullen naar verwachting in hoge mate bepalen of er bij Texel een gelaagdheid in de dichtheid van het water zal optreden, ja of nee.

De mogelijkheid daartoe hangt immers af van het al of niet optreden van sterke gradienten in de dichtheid van het water, hetzij in horizontale richting, hetzij vertikaal. De laatste kunnen ontstaan uit de eerste, juist door het genoemde proces van "overschuiving". Dit is in te denken als volgt.

Wordt onderweg langs de kust in het water een sterke menging tot stand gebracht, het meest voor de hand liggende is verticale menging, dan zal tijdens een volgende overschuiving ook een minder sterke verticale gelaagdheid kunnen gaan optreden dan anders het geval zou zijn geweest, indien geen (sterk) mengingsproces zou zijn opgetreden en de gelaagdheid in stand was gebleven.

Voortredenerend is zo te verwachten dat tijdens perioden van rustig weer een oorspronkelijk aanwezige sterke verticale dichtheidsgradient grotendeels onaangetast zal blijven. Een oorspronkelijk aanwezige horizontale dichtheidsgradient kan worden omgezet (via het overschuivingsproces van de "Texelmolen") in een verticale. Afhankelijk van de lengte van de periode van rustig weer kan deze verticale gelaagdheid optreden over een gebied van kleinere of grotere uitgestrektheid.

Opgemerkt moet dan wel worden dat een periode met rustig weer wèl een noodzakelijke voorwaarde is voor het optreden van een sterke verticale gelaagdheid over enige uitgestrektheid, doch dat dit laatste nog geen noodzakelijk gevolg is van het eerste. Immers, indien niet ergens "in het begin" een periode is opgetreden met een duidelijke sterke dichtheidsgradient, dan zal deze daarna ook nimmer op kunnen treden, vertikaal noch horizontaal.

Voorts is het duidelijk dat verwacht kan worden dat een periode van sterke menging in het water tijdens het transport langs de Hollandse kust de aanwezige gradienten zal verzwakken, voornamelijk die in verticale richting, in mindere mate de horizontale. Sterke turbulentie zal zodoende leiden tot verticale homogeniteit. Het zal afhangen van de sterkte van de dan overgebleven horizontale dichtheidsgradient, of daaruit in latere rustige periodes zich nog een verticale gelaagdheid van enige betekenis zal kunnen ontwikkelen. \*)

Het al of niet optreden van verticale gelaagdheid in het water hangt dan in hoge mate af ervan af, of het in de voorgaande periode "rustig weer" is geweest of niet. Dat nu het weer, speciaal de wind, gedurende de genoemde tijd van 25 - 42 dagen onafgebroken een zeer rustig karakter zou moeten hebben om bij Texel een gelaagdheid te bewerkstelligen, lijkt een gedurfde veronderstelling.

\*) Hier is alleen uitgegaan van het mengingsmechanisme wind → golven → turbulentie → menging. Er zijn echter andere oorzaken voor menging denkbaar: gradiënten in stroomsnelheid of -richting bijv.

Als voorbeeld kan genomen worden de periode voorafgaand aan 4 maart 1965 en 1 april 1965. Op de eerstgenoemde datum trad geen gelaagdheid op, ten tijde van de tweede juist heel sterk. D.w.z. dat de weersomstandigheden dan vanaf half februari 1965 zeer rustig geweest zouden moeten zijn. Tussen 20 januari en half februari daarentegen kan het zijn, maar het is niet noodzakelijk, dat de zee woelig genoeg is geweest, gedurende zekere tijd, om een eventueel toen aanwezige gelaagdheid te vernietigen. Bezien we de golf-toestand bij lichtschip Texel over die periode (deze positie representatief gedacht voor het gehele Hollandse kustgebied) dan blijkt dat inderdaad voldaan is aan de (eerst) genoemde eis en aan de (tweede) genoemde veronderstelling.

Voor alle hier besproken keren dat de zgn. Texelraai is bevaren is daarom nagegaan hoe de golf-toestand is geweest in de voorafgaande periode. Uit de "Jaarboeken Lichtschepen" is nagegaan wat per dekade de gemiddelde golfhoogte is geweest en de gemelde hoogste golven. Beide grootheden zijn genoteerd in tabel V. Tevens is hierin het verband tussen de opgetreden golf-toestand en de gekonstateerde gelaagdheid aangegeven. In bijna alle gevallen blijkt een aanwijsbaar verband aanwezig te zijn, passend in het hiervoor geschetste schema.

- a. In de "normale" gevallen, dus zonder veel verticale gelaagdheid, blijkt vrijwel steeds een periode aanwijsbaar in de voorafgaande tijd waarin golven van 2.5 m of meer zijn opgetreden.
- b. Evenzo is in de meerderheid van de gevallen een periode met geringe golven, van hoogstens 2.5 m, voorafgegaan aan een gevonden geval van "zomerse gelaagdheid".
- c. Geen of geringe verticale gelaagdheid werd gevonden op de volgende data, hoewel vele weken ervoor geen golven van meer dan 2 m zijn voorgekomen: 3 juni 1964, 3 juni en 23 augustus 1965, 28 februari 1966, 1 en 29 augustus 1967 en 20 juni 1968.

De situatie op 1 augustus 1967 is een grensgeval, met  $\Delta V = 0,93$  (zie tabel I en fig. 5). Bedacht moet worden dat de grens  $\Delta V = 1$  voor het onderscheid tussen normaal en zomers gelaagd vrij willekeurig is getrokken. Het genoemde geval is hiervan dan het slachtoffer.

De drie genoemde gevallen die in 1966 en 1967 vallen hebben bovendien "het getij tegen", d.w.z. de waarnemingen zijn gedaan in een

getijperiode waarin als regel niet de grootste verticale gelaagdheid optreedt (zie figuur 9).

- d. Wel verticale gelaagdheid werd aangetroffen op de volgende data, hoewel er vrij kort tevoren nog aanzienlijke golven waren opgetreden:

10 april 1968 - (23 dagen) - 17 en 18 maart, 4 m golven

10 juni 1969 - (21 dagen) - 19 en 20 mei, 3 m golven.

Deze twee gevallen zouden dan duiden op een reststroomtransport van tenminste  $5.5 - 6 \text{ cm}^{\text{s}^{-1}}$  hetgeen niet onmogelijk lijkt te zijn.

Het is overigens in deze gevallen ook denkbaar dat er na de periode van hoge golven nog een voldoende sterke (waarschijnlijk horizontale) gradient is overgebleven om via het overschuivingsmechanisme weer een verticale gelaagdheid tot stand te kunnen brengen.

Het ziet er dus naar uit dat het al of niet optreden van verticale gelaagdheid bij Texel samenhangt met de golftoestand in de periode ervoor. Dit leidt tot de veronderstelling dat de gelaagde situatie eigenlijk alleen is aangetroffen in de zomermaanden, omdat juist de gemiddelde windsnelheid lager in deze maanden is dan gedurende de wintermaanden [19]. Meer dan een veronderstelling is het echter nog niet.

Men zou zich nog kunnen afvragen in hoeverre het verschil tussen de temperatuur van het rivierwater en het zeewater gedurende de zomermaanden misschien een groter dichtheidsverschil, en dus een grotere neiging tot verticale gelaagdheid, tot gevolg kan hebben. Eventuele seizoensvariaties in het onderlinge dichtheidsverschil zijn echter zó gering t.o.v. het gemiddelde dichtheidsverschil tussen zout en zoet (ca.  $27 \text{ kg m}^{-3}$ ) dat ze geen enkele rol spelen.

De vraag of en zo ja in hoeverre het optreden van zomerse gelaagdheid in de toekomst zou kunnen toenemen als gevolg van een verdere opwarming van het rivierwater moet dan ook ontkennend worden beantwoord.

Bij al het bovenstaande in dit hoofdstuk is te bedenken dat is uitgegaan van een eenvoudig model. Blijkt dat aanzienlijke afwijkingen hiervan optreden, bijv. een reststroom in zuidelijke richting i.p.v. in noordelijke, dan zullen uiteraard verschijnselen optreden die sterk afwijken van wat verwacht werd.

## 7. Zoetwaterinhoud van de Texelraai.

De oorzaak van de zone met betrekkelijk lage saliniteit langs de Nederlandse kust ligt in de zoetwaterafvoer uit het Deltagebied. De waterafvoeren van Rijn en Maas verhouden zich normaliter als 220:25 volgens gegevens van de Rijkswaterstaat, [17]; wordt ook de Schelde in beschouwing genomen dan wordt Rijn:Maas:Schelde = 128:12.6:5, naar Kalle [18]. Zeer duidelijk is hierbij de afvoer van de Rijn dominerend, en in het volgende is dan ook getracht enig verband te vinden tussen deze en de zoetwaterinhoud van de Texelraai.

Getracht is om deze laatste grootheid te berekenen door voor ieder keer dat de raai bevaren is voor ieder station een (grafisch) gemiddelde saliniteit te bepalen. Stellen we de saliniteit van onverdund zeewater op  $35.00^{\circ}/\text{oo}$ , dan is het verschil hiervan met de gemiddelde saliniteit een maat voor de zoetwaterinhoud bij het betreffende station. Daar de onderlinge afstand van de stations nagenoeg constant is, kan worden volstaan met deze uitkomsten per keer dat de raai bevaren is op te tellen om een maat te verkrijgen voor de zoetwaterinhoud van de gehele raai.

Deze getallen zijn vermeld in tabel VI.

Dat er een seizoensinvloed merkbaar is, is duidelijk indien het gemiddelde van de zoetwaterinhoud per kalenderkwartaal wordt beschouwd, t.w. 11.5, 13.3, 7.4 en 5.8 uit respectievelijk 8, 14, 12 en 9 waarnemingen. Jaargemiddelde uit deze is 9.7 (fig. 14). De seizoensvariatie van de afvoer van de Rijn wordt het best gekarakteriseerd door driemaandelijke perioden, beginnende 1 december, en is dan successievelijk 2553, 2195, 1876 en  $1682 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . De figuur doet al ruwweg een korrelatie vermoeden. Het is niet de bedoeling om in dit rapport die korrelatie verder uitgebreid te berekenen.

Aan deze materie, het transport van zoetwater langs de Nederlandse kust, is ook rekenwerk verricht door de toenmalige Mathematisch-Fysische Afdeling van de Rijkswaterstaat (Directie Waterhuishouding en Waterbeweging).

Het uitgangspunt was daarbij geheel anders, daar het in eerste instantie ging om het doorrekenen van een diffusie-probleem. Ter beschikking staan hierover de tekeningen no. 03-7037-01, blad 1 en 2. De daaruit afgelezen concentraties zoetwater langs de Texelraai zijn weergegeven

in fig. 15. Daarin zijn ook getekend de rekenkundig gemiddelde zoetwaterconcentraties langs de raai, zoals die volgen uit onze metingen. Vermeld zij nog dat gemiddeld over de gehele raai het zoetwatergehalte 4.0% bedraagt, met een mediaan van 3.8%. Maximum en minimum zijn in dat geval resp. 9.1 en 1.4%. Dit gemiddelde bedraagt in de "normale" gevallen 3.5%, en in die met zomerse gelaagdheid 5.5%.

### 8. Literatuur.

1. Bijv. zeekaart no. 1452 "Zeegat van Texel".
2. L. Otto, 1964. Results of current observations at the Netherlands lightvessels over het period 1910-1939. KNMI Med. & Verh. no. 85.
3. Getijtafels voor Nederland, jaarlijkse uitgave.
4. Zeemansgids voor de Nederlandse kust, uitgegeven door de Afdeling Hydrografie van de Koninklijke Marine.
5. ICES, Service Hydrographique, Mean monthly temperature and salinity of the surface-layer of the North Sea and adjacent waters from 1905-1954. Charlottenlund, 1962.
6. J.H. Fraser, 1965. Zooplankton indicator species in the North Sea. Serial atlas of the marine environment, folio 8.
7. R. Johnston & P.G.W. Jones. Inorganic nutrients in the North Sea. Serial atlas of the marine environment, folio 11.
8. KNMI. Meteorologische en oceanografische waarnemingen verricht aan boord van Nederlandse lichtschepen. Jaarlijkse uitgave sinds 1949.
9. J. van Veen, 1936. Onderzoekingen in de Hoofden. 's-Gravenhage.
10. G. Tomczak & E. Goedecke, 1964. Die thermische Schichtung der Nordsee auf Grund des mittleren Jahrganges der Temperatur in  $\frac{1}{2}^{\circ}$ - und  $1^{\circ}$ -Feldern. Ergänzungsheft Reihe B, nr. 8, zur Deutsche Hydrographischen Zeitschrift.
11. L. Otto, 1969. Saliniteitsvariatiies bij het lichtschip Texel. KNMI Wetenschappelijk Rapport 69-2.
12. L. Otto, 1967. Investigations on optical properties and water masses of the southern North Sea. Neth. J. Sea. Res. 3, 532-552.

13. J.T.F. Zimmerman and J.W. Rommets, 1974. Natural fluorescence as a tracer in the Dutch Wadden Sea and the adjacent North Sea. Neth. J. Sea Res. 8, 117-125.
14. L. Otto, 1970. De kans op hoge stroomsnelheden bij de Nederlandse lichtschepen. KNMI Wetenschappelijk Rapport 70-2.
15. G. Dietrich, 1953. Verteilung, Ausbreitung und Vermischung der Wasserkörper in der südwestlichen Nordsee auf Grund ..... Ber.Dtsch.Wiss.Komm.Meeresforsch. 13, 104-129.
16. M.P. Visser, 1971. Some features of the North Sea oceanography near Texel. International Council for the Exploration of the Sea, Hydrography Committee, CM 1971/C:41.
17. Jaarboek van waterhoogten, 's-Gravenhage, Staatsuitgeverij.
18. T. Laevastu, 1960. Synopsis of information on the oceanography of the North Sea; FAO.
19. G. Verploegh, 1958. Klimatologische gegevens van de Nederlandse lichtschepen over de periode 1910-1940. KNMI Med. & Verh. no. 67.

TABEL I.

Gemiddeld dichtheidsverschil in  $\text{kg/m}^3$  vertikaal ( $\Delta_v$ ) en horizontaal ( $\Delta_H$ ) gemeten langs de Texelraai 1964-1969.

<u>datum</u>	<u><math>\Delta_v</math></u>	<u><math>\Delta_H</math></u>	<u>opmerkingen</u>
17-03-64	.02	1.26	
24/25-03-64	.23	2.20	
03/04-06-64	.19	1.42	
16-07-64	.52	2.09	
07-08-64	.16	1.56	
30-09-64	.48	1.42	
27-10-64	.16	1.44	instabiliteit
04-03-65	.30	1.68	
01-04-65	3.95	2.64	
03-06-65	.20	1.15	
21-07-65	1.33	1.04	
11-08-65	1.88	3.11	
23-08-65	.34	2.99	
14-09-65	.34	2.61	
13-10-65	.07	1.76	instabiliteit
10-11-65	.05	1.08	instabiliteit
18-01-66	.20	2.90	
28/2-1/3-66	.47	3.02	
11-05-66	1.41	4.05	
07-06-66	.19	1.61	
07-10-66	.18	1.75	
10-10-66	.67	1.94	
30-01-67	.19	4.27	
13-02-67	.84	3.65	
17-02-67	.18	2.36	
25-04-67	.38	1.65	
10-05-67	2.43	3.47	
20-06-67	.71	1.11	
01-08-67	.93	2.85	
29-08-67	.10	1.16	



18-10-67	.43	2.09	<b>instabiliteit</b>
14-11-67	.12	1.32	
01-12-67	.00	.95	
05-02-68	.33	3.71	
10-04-68	2.61	2.65	
07-05-68	1.55	4.06	
20-06-68	.25	2.95	
30-07-68	.31	1.47	
12-09-68	.16	2.22	
29-04-69	1.74	4.55	
13-05-69	1.36	3.95	
10-06-69	2.26	1.45	

TABEL II.

Gemiddelde waarden, standaardafwijkingen en mediaan-waarden van de  
dichtheidsverschillen langs de Texelraai, 1964-1969.

"Normale gevallen",  $\Delta_v < 1$ .

		gehele jaar	okt.-maart	apr.-sept.
$\Delta_v$	gemiddeld	0.30	0.26	0.35
	standaardafwijking	0.22	0.23	0.23
	mediaan	0.22	0.19	0.31
$\Delta_H$	gemiddeld	2.05	2.20	1.88
	standaardafwijking	0.87	0.99	0.68
	mediaan	1.76	1.94	1.61

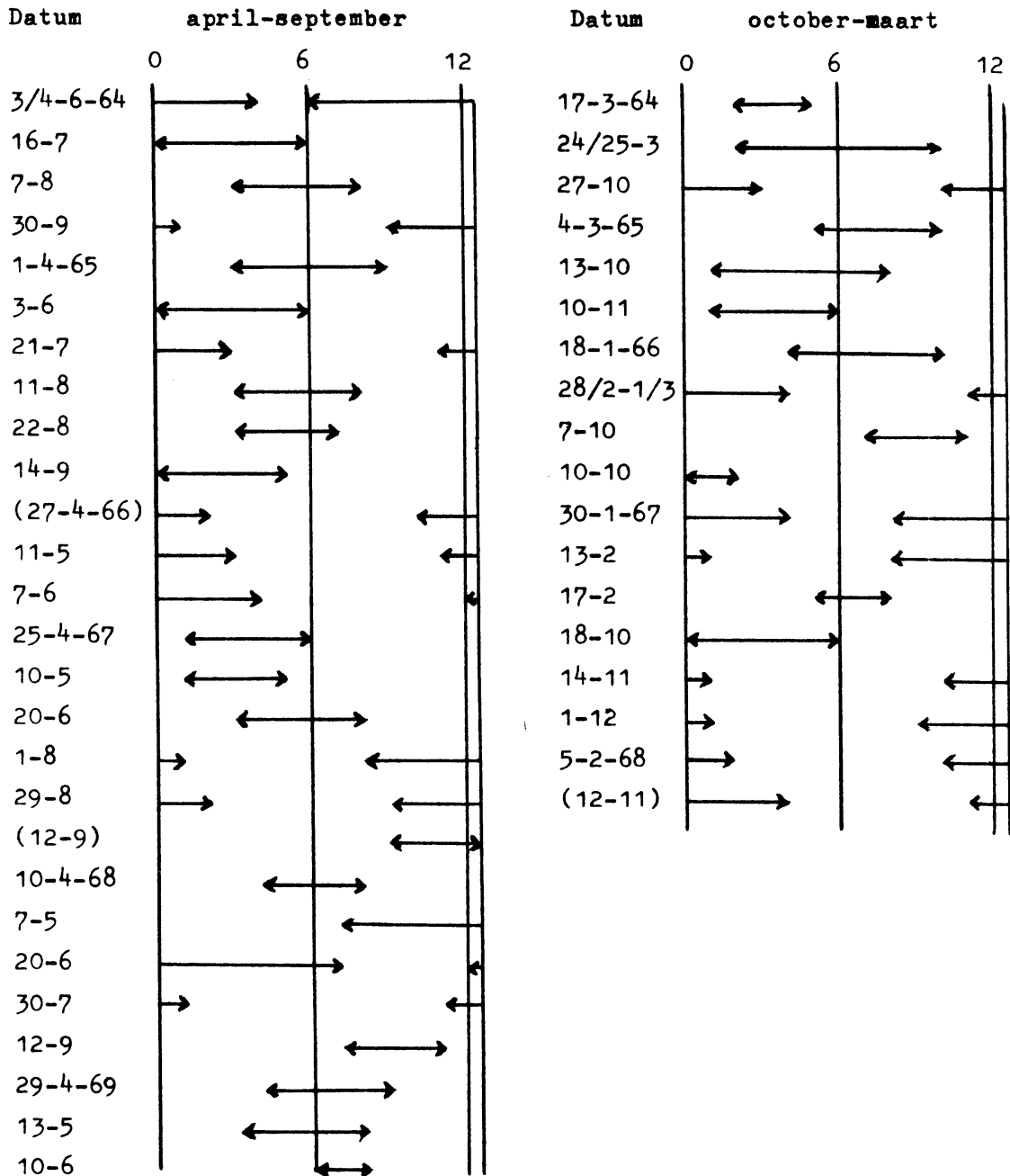
"Zomers gelaagde gevallen",  $\Delta_v > 1$ .

$\Delta_v$	gemiddeld	-	-	2.05
	standaardafwijking	-	-	0.81
	mediaan	-	-	1.81
$\Delta_H$	gemiddeld	-	-	3.10
	standaardafwijking	-	-	1.16
	mediaan	-	-	3.29

TABEL III

Verdeling van de vaartochten langs de Texelraai over de getijfase.

Uren ten opzichte van HW te Den Helder. Alles afgerond tot op gehele uren.



TABEL IV.

Vertikale stratifikatie  $\Delta_v$  (gemiddeld over de gehele Texelraai genomen) als functie van de tijd na hoogwater te Den Helder. Waarnemingen van 1964-1969. Gemiddelde waarde en mediaan zijn gegeven.

tijd na hoogwater te Den Helder	$\Delta_v < 1$ (normaal)		$\Delta_v > 1$ (zomers gelaagd)	
	gemiddeld	mediaan	gemiddeld	mediaan
0	.35	.25	1.43	1.41
1	.30	.25	1.37	1.37
2	.27	.22	1.72	1.41
3	.27	.22	2.06	1.65
4	.27	.22	2.33	2.16
5	.27	.24	2.33	2.16
6	.28	.23	2.30	2.07
7	.25	.20	2.19	1.88
8	.33	.19	2.19	1.88
9	.32	.20	2.46	2.18
10	.29	.19	(1.55)	(1.55)
11	.32	.19	1.43	1.41
12	.33	.22	1.43	1.41

TABEL V

Golfhoogte lichtschip Texel.

Weergegeven is de gemiddelde  $\bar{H}$  en de gerapporteerde maximale golfhoogte  $\hat{H}$  (beide in meters) per dekade. De datum waarop  $\hat{H}$  is opgetreden is er achter vermeld en -via een pijl- de invloed op situaties waarbij op een latere datum het water ter plaatse vertikaal gelaagd is ( $\equiv$ ) of homogeen (||||).

	$\bar{H}$	$\hat{H}$		
febr. I '64	1.25	2.5		
II	1	2.5		
III	0.5	1		
mrt. I	0.5	1.5		
II	1.25	2.5	15 mrt.	17 mrt.      24 mrt.
apr. III		1.5		
mei I	1	2		
II	0.5	1		
III	0.5	1		
juni I	1	1.5	?	3 juni
II	0.75	1.5		
III	0.75	1.5		
juli I	1.25	3	8 juli	16 juli      7 aug.
II	0.5	1.5		
III	0.75	1		
aug. I	0.75	1.5		
sep. II	1.5	3	17, 18 sep. }	30 sep.
III	0.75	3	21 sep. }	
okt. I	1	2.5	7 okt. }	
II	0.75	2.5	16 okt. }	27 okt.
III	0.75	2		
febr. II '65	1.25	4	13, 14 feb.	3 mrt.
III	0.75	2		
mrt. I	0.75	2		
II	0.75	1.5		
III	0.75	1.5		1 apr. $\equiv$
apr. III	0.75	1.5		
mei I	1	2	9, 10 mei	
II	0.5	1.5		
III	0.75	1.5		
juni I	0.5	1	?	3 juni
II	0.75	2		
III	0.75	1.5		
juli I	1.25	1.5		21 juli $\equiv$
II	0.75	1.5		
III	1.25	2		
aug. I	0.75	1		11 aug. $\equiv$
II	0.5	0.5		
III	1.25	2	22 aug. --- (?) ---	23 aug.
sep. I	1.25	2.5	25 aug.	
II	0.75	3	18 sep.	14 sep.
III	0.75	1.5		
okt. I	0.5	1		
II	0.75	1		13 okt.

TABEL V (vervolg)

		$\bar{H}$	$\hat{H}$	
nov.	I	1.25	3.5	1, 2 nov. → 10 nov.
dec.	I	1.75	4.5	1 dec. } 9, 10 dec. } 19 dec. } 30 dec. }
	II	1.25	3	
	III	1.25	2.5	
jan.	I	1.25	2	
'66	II	1	1.5	9 feb. - - - ( ? ) - - - → 28 feb.
	III	0.75	1.5	
feb.	I	1	2	
	II	0.75	1.5	27, 28, 29 mrt. }
	III	1.25	1.5	
mrt.	III	1.75	2.5	
apr.	I	0.75	1.5	} → 11 mei ≡
	II	1.25	1.5	
	III	0.50	1.5	
mei	I	0.50	1.5	23 mei → 7 juni
	II	0.50	1.5	23 aug. } 4 sep. } 15 sep. }
	III	1.25	3	
juni	I	0.50	1	
aug.	III	1	2.5	} → 7 okt.     } → 10 okt.
sep.	I	1.25	3	
	II	1.25	3	
	III	0.50	0.50	11, 19 dec. } 24 dec. }
okt.	I	0.75	1.5	
dec.	II	1.25	2.5	3 jan. } } → 30 jan.      } → 13 feb.      } → 17 feb.
	III	1.25	3	
jan.	I	1.25	3	
'67	II	1	1.5	18 mrt. } 23 mrt. }
	III	0.75	1.5	
feb.	I	1	2	
	II	1	2	} → 25 apr.      } → 10 mei ≡
mrt.	II	1.75	3.5	
	III	1.25	2.5	
apr.	I	1.25	2	20 mei }
	II	1	2	
	III	0.75	1.5	
mei	I	0.5	1	} → 20 juni
	II	0.75	2.5	
	III	0.75	1.5	
juni	I	0.75	1.5	}
	II	1	1.5	
	III	0.75	1.5	
juli	I	0.5	1.5	}
	II	0.5	1	
	III	0.5	1	
aug.	I	0.5	1	? → 1 aug.
	II	1.25	2	? → 29 aug.
	III	0.50	1	

TABEL V (vervolg).

	$\bar{H}$	$\hat{H}$	
okt. II	2	4	17 okt. → 18 okt.
III	1.5	3	28 okt. →
nov. I	1.25	3	6 nov. →
II	0.75	2	→ 14 nov.
III	0.75	1.5	→ 1 dec.
jan. II	1.75	5	15 jan. →
'68 III	1.5	3	25,30 jan. →
feb. I	1.5	3	5 feb. → 5 feb.
mrt. I	1.5	4.5	6 mrt. →
II	2.25	4	17,18 mrt. } ! →
III	1	2.5	→ 10 apr. ≡
apr. I	1.5	2.5	} → 7 mei ≡
II	0.5	1	
III	0.5	0.5	
mei I	1	2	
II	1.25	2.5	
III	0.75	1	
juni I	0.75	1	? → 20 juni
II	0.75	1	
III	1.25	2.5	
juli I	1	1.5	11,12 juli → 30 juli
II	1.25	3	
III	1.5	2	
aug. I	1.25	1.5	15,18,19 aug. →
II	1.75	3	→ 12 sep.
III	0.75	1.5	
sep. I	0.5	1.5	
II	1.25	2.5	
mrt. II	1.5	2.5	} → 29 apr. ≡
'69 III	1.25	2	
apr. I	1	2.5	
II	1.75	2.5	} → 13 mei ≡
III	0.75	2	
mei I	0.75	1.5	
II	1.5	3	19,20 mei - ! →
III	0.75	1.5	→ 10 juni ≡
juni I	1	2	

TABEL VI

Relatieve zoetwaterinhoud van de Texelraai.

(245 betekent 1% zoetwater)

<u>datum</u>	<u>relatieve zoetwaterinhoud</u>	<u>datum</u>	<u>relatieve zoetwaterinhoud</u>
17-03-64	930	30-01-67	1515
24/25-03-64	780	13-02-67)	
03/04-06-64	1305	17-02-67)	1530
16-07-64	490	25-04-67	1385
07-08-64	440	10-05-67	2220
30-09-64	585	20-06-67	855
27-10-64	495	01-08-67	1280
04-03-65	1155	29-08-67	445
01-04-65	1230	12-09-67*	690
03-06-65	1100	18-10-67	455
21-07-65	695	14-11-67	425
11-08-65	895	01-12-67	395
23-08-65	945	05-02-68	1130
14-09-65	690	10-04-68	1150
13-10-65	600	07-05-68	1305
10-11-65	340	20-06-68	1370
18-01-66	980	30-07-68	830
28-2/1-3-66	1155	12-09-68	910
11-05-66	1340	12-11-68*	940
07-06-66	785	29-04-69	1720
07-10-66	705	13-05-69	1631
10-10-66	895	10-06-69	1195

\* niet opgenomen in de andere tabellen. Het betreft hier een tweetal halve raaien, van de kust tot het lichtschip, waarbij wel de zoetwaterinhoud te berekenen is, echter een bepaling van  $\Delta H$  te zeer speculatief zou worden.



## Lijst van figuren.

In de figuren zijn op verscheidene plaatsen enige symbolen verwerkt.

- a. ● in een doorsnede betekent dat de stroomvektor naar de waarnemer toe is gekeerd, ■ dat deze van hem af is gekeerd.
  - b. Het karakter van een stroomkentering wordt aangegeven door twee boven elkaar geplaatste symbolen, waarvan het bovenste de draairichting van de stroomvektor van de bovenstroom voorstelt, de onderste die van de onderstroom. R duidt op een positieve draairichting, K op een negatieve. De letters v (vloed) en e (eb) duiden op een kentering van (links) naar (rechts). Zo is bijv.  $v \begin{pmatrix} R \\ R \end{pmatrix}$  e de normale ruimende kentering van vloed naar eb; het verschijnsel "Texelmolen" wordt weergegeven door  $e \begin{pmatrix} R \\ K \end{pmatrix} v$ .
- 1.a. Jaarlijkse gang van de zeewatertemperatuur bij het lichtschip Texel ( $53^{\circ}01'N$ ,  $04^{\circ}22'E$ ), gebaseerd op de jaren 1951-1960. De gemiddelde waarde en de extremen van de maandgemiddelden.
  - 1.b. Jaarlijkse gang van de zeewatertemperatuur bij het lichtschip Terschellingerbank (in die jaren op positie  $53^{\circ}29'N$ ,  $05^{\circ}08'E$ ), gebaseerd op de jaren 1951-1960. De gemiddelde waarde en de extremen van de maandgemiddelden.
  2. Gemeten zoutgehalte (saliniteit) bij het lichtschip Texel gedurende de jaren 1964, 1965 en 1966. Deze waarnemingen werden éénmaal per dag verricht om 09.00 GMT aan het oppervlaktewater.
    - 2.a. Verband tussen het dagelijks gemeten zoutgehalte (oppervlaktewater) bij de lichtscheperen Texel en Terschellingerbank gedurende enige geselecteerde maanden, gedurende welke zomerse gelaagdheid is opgetreden.
    - 2.b. Verband tussen het dagelijks gemeten zoutgehalte (oppervlaktewater) bij de lichtscheperen Texel en Terschellingerbank gedurende enige geselecteerde dagen waarop zomerse gelaagdheid optreedt, benevens een dag ervoor en de volgende dag (detail van fig. 2.a).

3. Het gebied in de omgeving van Texel waar abnormale oceanografische omstandigheden gelden, volgens Laevastu. Voor dit gebied zou dan gelden dat er een gedeelte van het jaar of het hele jaar een haline stratificatie heerst, in tegenstelling tot het omringende zeegebied dat het gehele jaar homohalien en homotherm is.  
A = Dietrich's ankerstation 1952 (Gauss 86).
4. Situatieschets van de ligging van de Texelraai.
5. Verband tussen de gemiddelde verticale gelaagdheid  $\Delta_v$  en de gemiddelde horizontale dichtheidsvariatie  $\Delta_H$  langs de Texelraai, gevonden als resultaat van 42 bemonsteringen in de jaren 1964-1969.
6. Extreme voorbeelden van verticale gelaagdheid en horizontale dichtheidsvariatiën aangetroffen langs de Texelraai.
  - a. alleen horizontale dichtheidsvariatiën.
  - b. geen verticale en geringe horizontale dichtheidsvariatiën.
  - c. sterk gelaagde zomersituatie.
7. Verloop van de oppervlakesaliniteit als functie van de afstand uit de kust voor de drie gevallen uit fig. 6.
8. Schematische tekening van de "normale" dichtheidsverdeling ( $\Delta_v < 1$ ) langs de Texelraai, mediane situatie gemiddeld over alle maanden. Beide zijn op te vatten als een "model" van de werkelijkheid. In het bovenste geval is  $\Delta_H (=1.76)$  onafhankelijk van de diepte verondersteld, en  $\Delta_V (=0,22)$  voor alle stations gelijk. Dit is een eerste orde benadering.  
In het onderste geval is dezelfde  $\Delta_H$  toegepast op de helft van de waterdiepte (10 m), en is  $\Delta_V$  over de raai lineair toenemend gedacht, van nul op  $Z_5$  tot  $2 \times \Delta_V$  op  $Z_1$ . Dit kan men een tweede orde benadering noemen.
9. Verloop van de verticale gelaagdheid als functie van de getijfase langs de Texelraai.
  - a. voor normale gevallen met weinig verticale gelaagdheid.
  - b. voor de gevallen met sterke "zomerse gelaagdheid".

10. Verloop in de tijd van de dichtheidsisolijnen op 1 m (-) en 10 m (..) diepte langs het meest kustwaarts gelegen deel van de Texelraai gedurende 18 uren. Getallen geven  $\sigma_t$  bij de isolijnen, bij de meetpunten  $100 \times \sigma_t - 2000$ .
11. Dichtheidsisolijnen als functie van tijd en diepte gedurende enige getijperiodes op het lichtschip Texel. Stroomrichting en -snelheid, gemeten op 6 m diepte, zijn eveneens aangegeven.
12. Een serie doorsneden ( $\sigma_t$ -isolijnen) door de raai tussen twee simultane ankerstations op posities  $z_2'$  ("TX"= Texel) en bij  $z_2$  (A in fig. 4 "Luymes"). In het linkerdeel van elke uur-schets is weergegeven hoe de dichtheidsgelaagdheid in het water is (kan zijn) tussen de twee ankerstations, met als abscis de horizontale afstand. In het rechterdeel is voor de beide ankerstations de dichtheid van het water ( $\sigma_t$  als abscis) weergegeven als functie van de diepte.  
Bij beide posities is de stroomrichting aangegeven.
13. Diepte-tijd diagram van enige ankerstations op het lichtschip Terschellingerbank ( $\sigma_t$ -isolijnen), benevens de gemeten stroom-snelheid op 6 m diepte.
14. Variatie van de zoetwaterinhoud van de Texelraai 1964-1969.  
De getallen langs de linker ordinaat geven de relatieve zoetwaterinhoud aan. 0: alleen zoutwater, met saliniteit 35 o/oo; alleen zoetwater zou overeen komen met  $7 \times 3500$ .  
Bovendien is per kwartaal (één maand vervroegd in fase t.o.v. vorige) de afvoer van de Rijn bij Lobith gegeven. ( $m^3 s^{-1}$ ).
15. Percentage zoetwater aanwezig per station van de Texelraai, gemiddeld over de diepte.

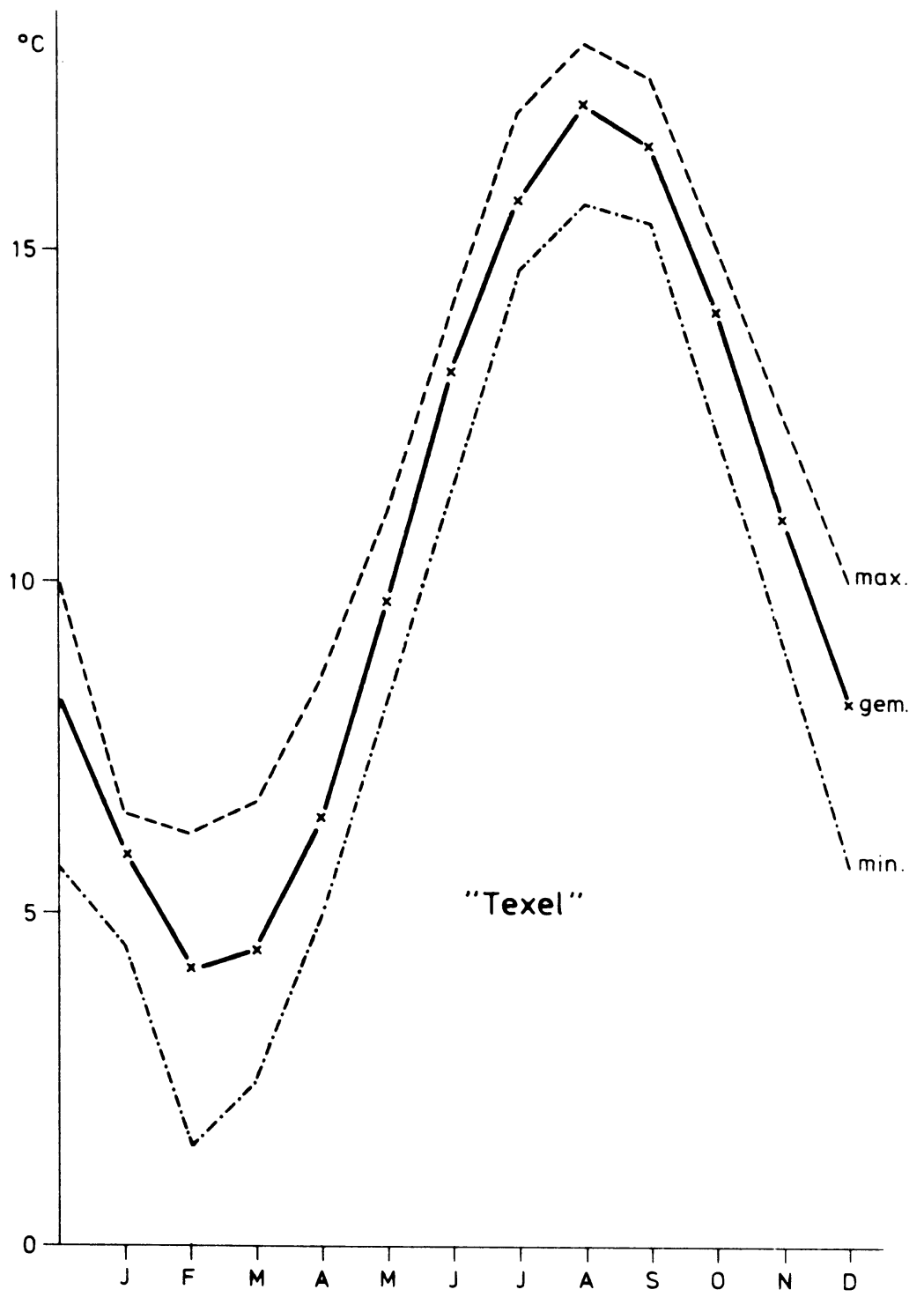


Fig. 1a

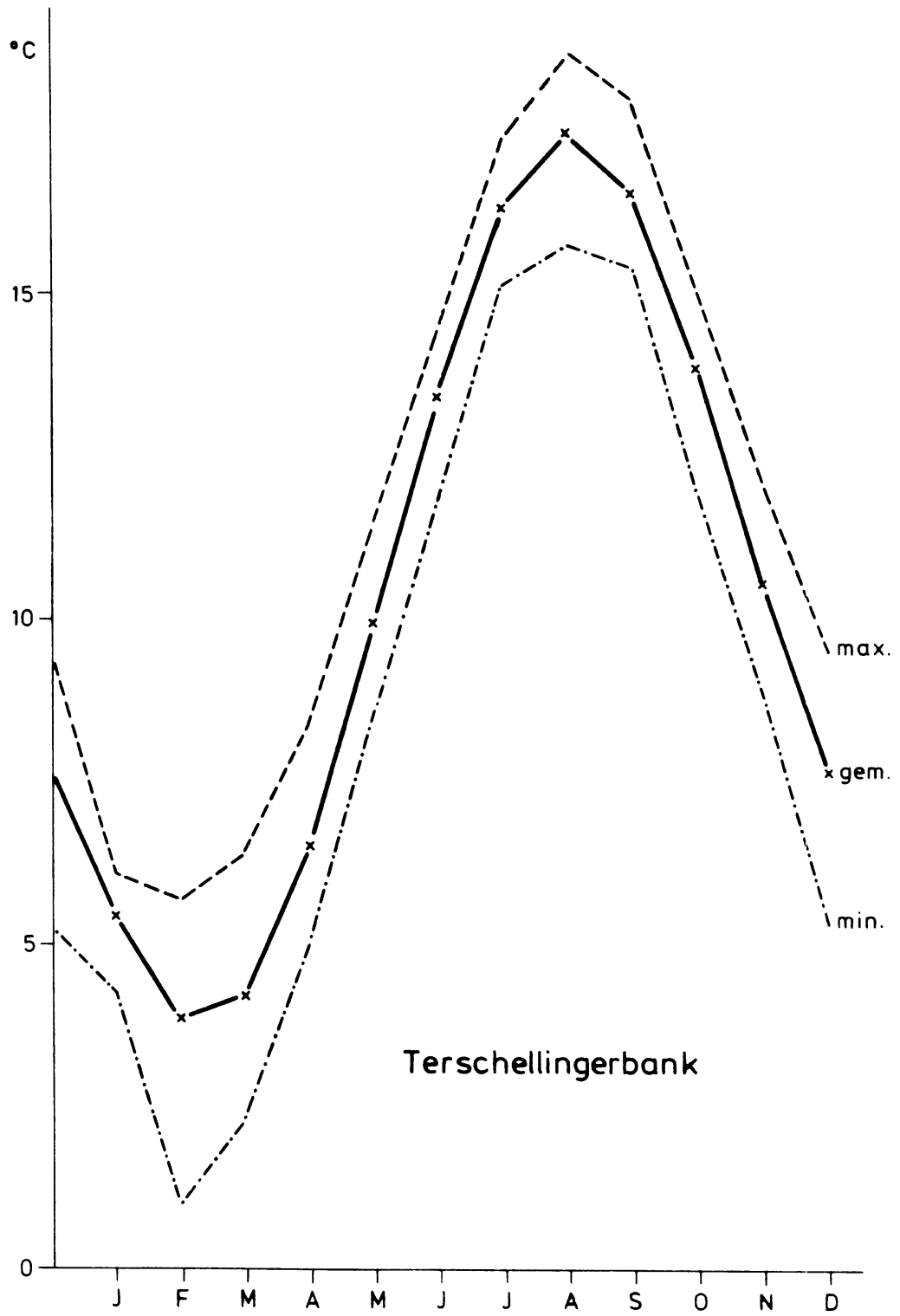


Fig. 1b

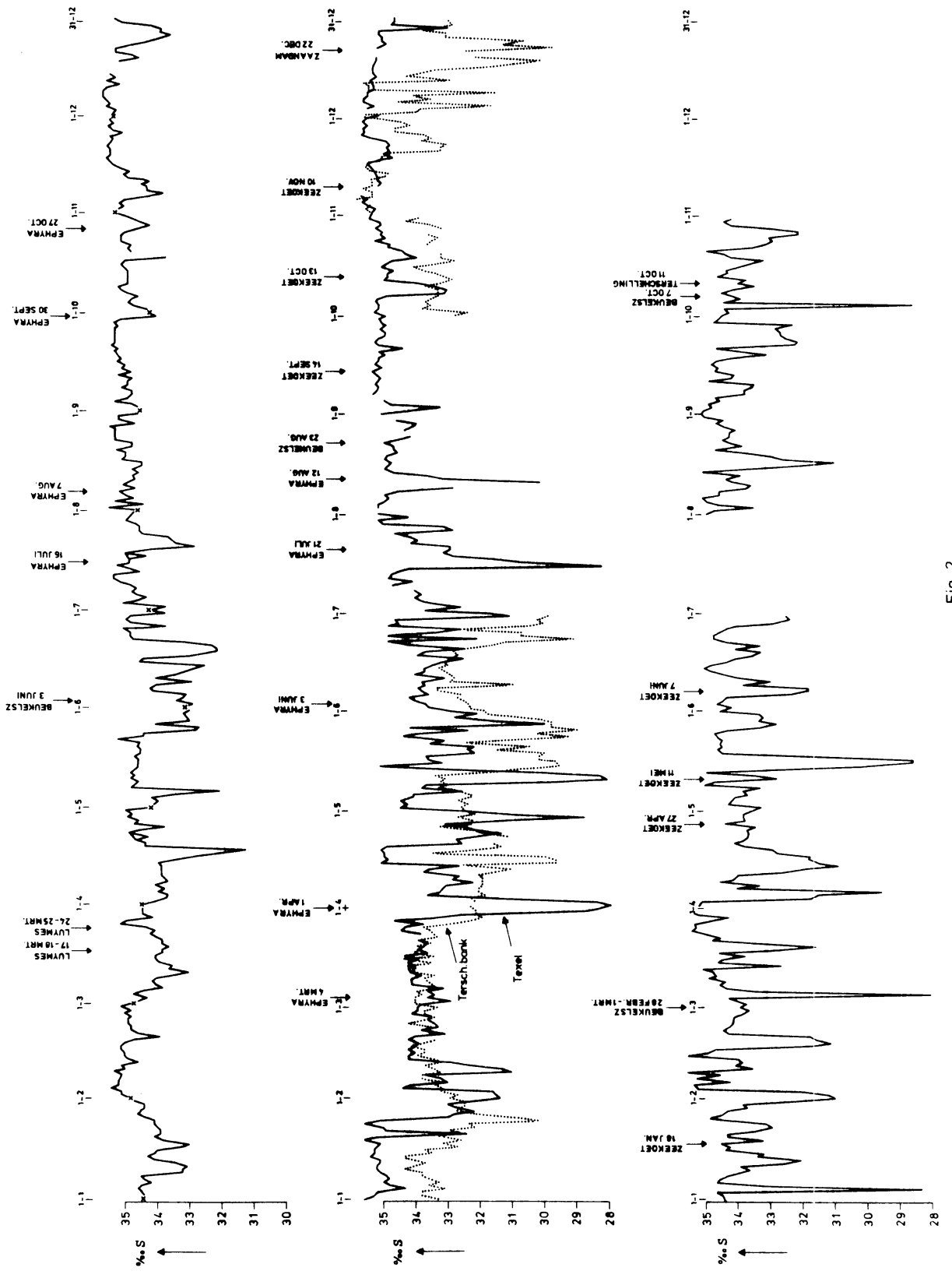
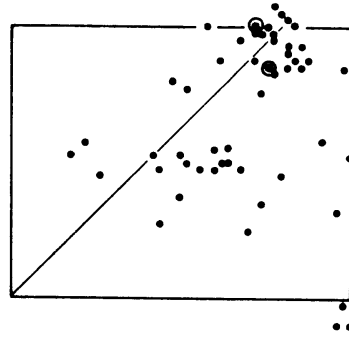


Fig. 2

S TERSCHELLINGERBANK ‰

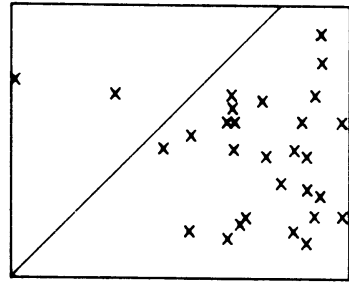
MRT. - APR. '65

34-



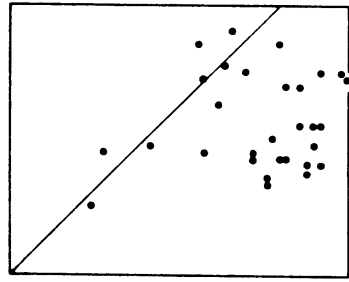
MEI '66

34-



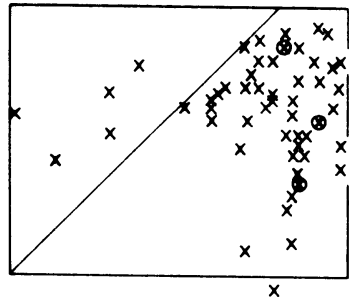
MEI '67

34-



APR. - MEI '68

34-



30

35

Fig. 2a

S TEXEL ‰

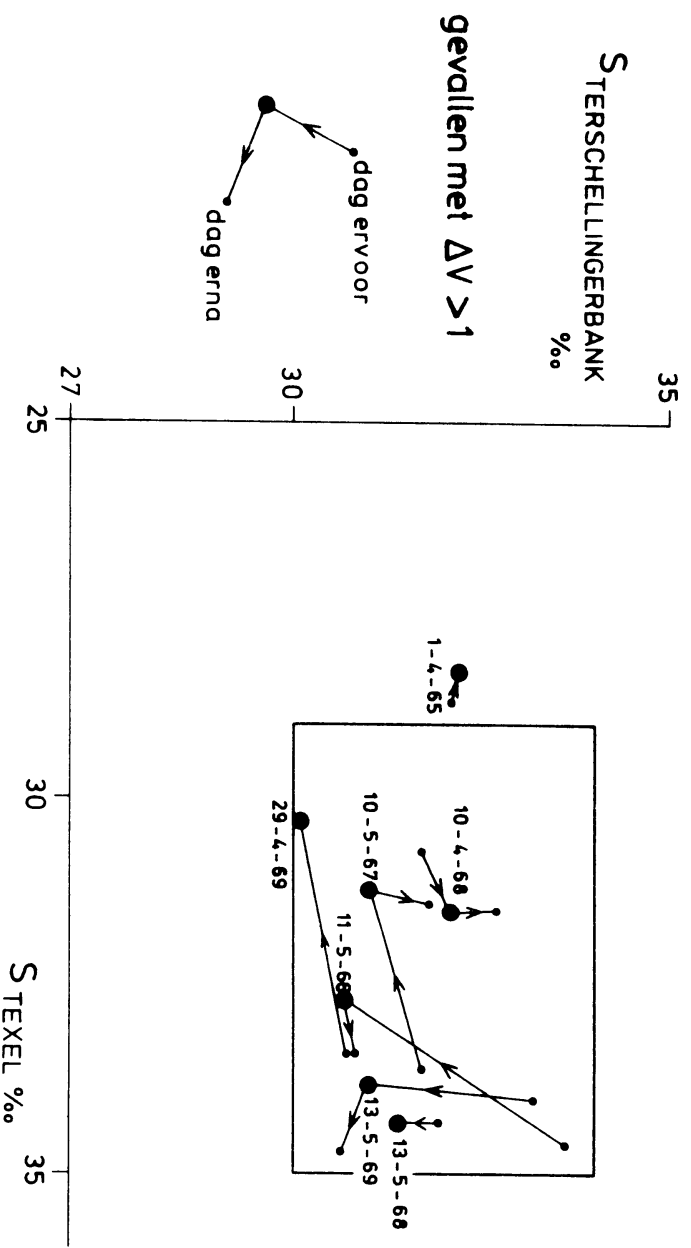


Fig. 2b



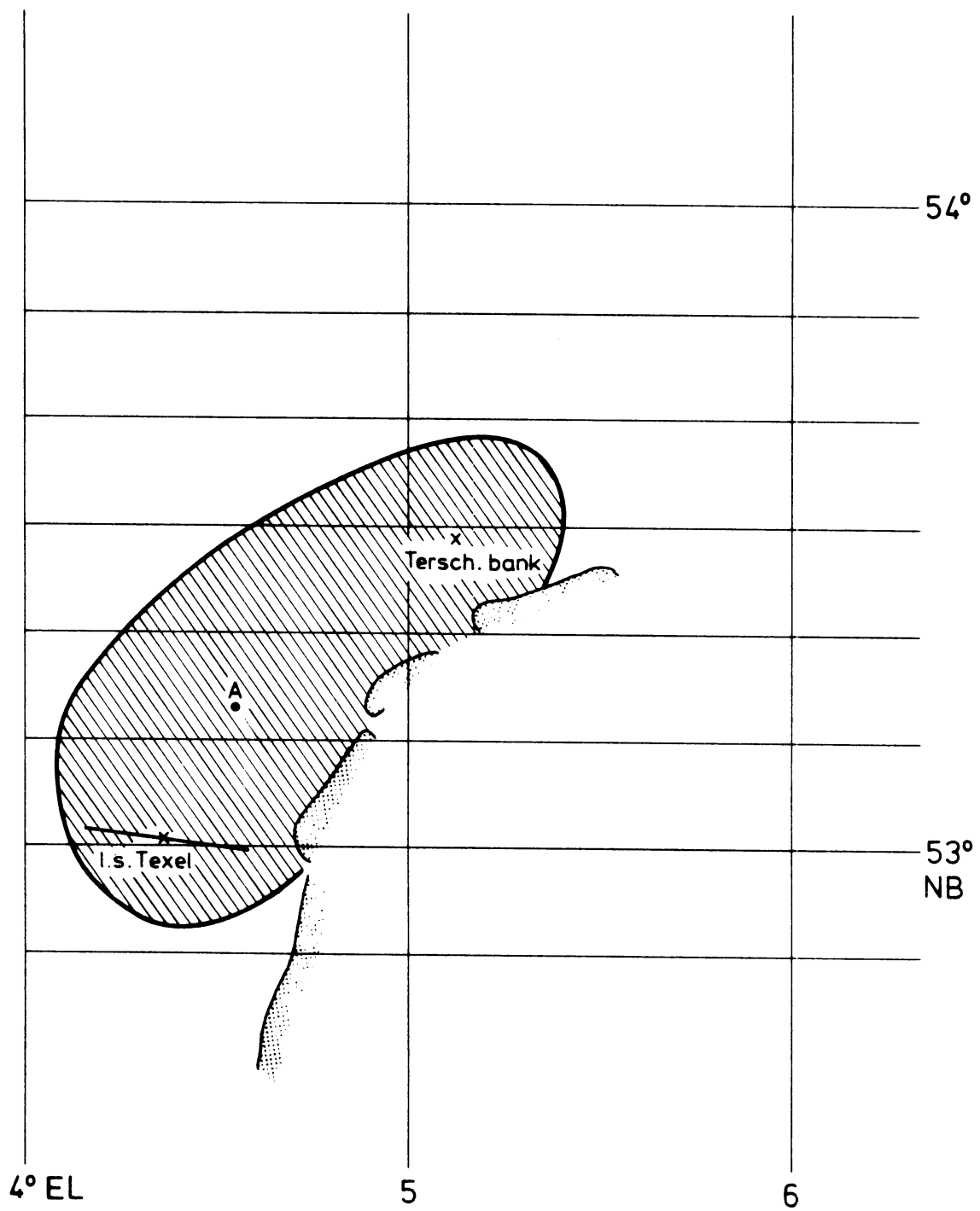


Fig. 3

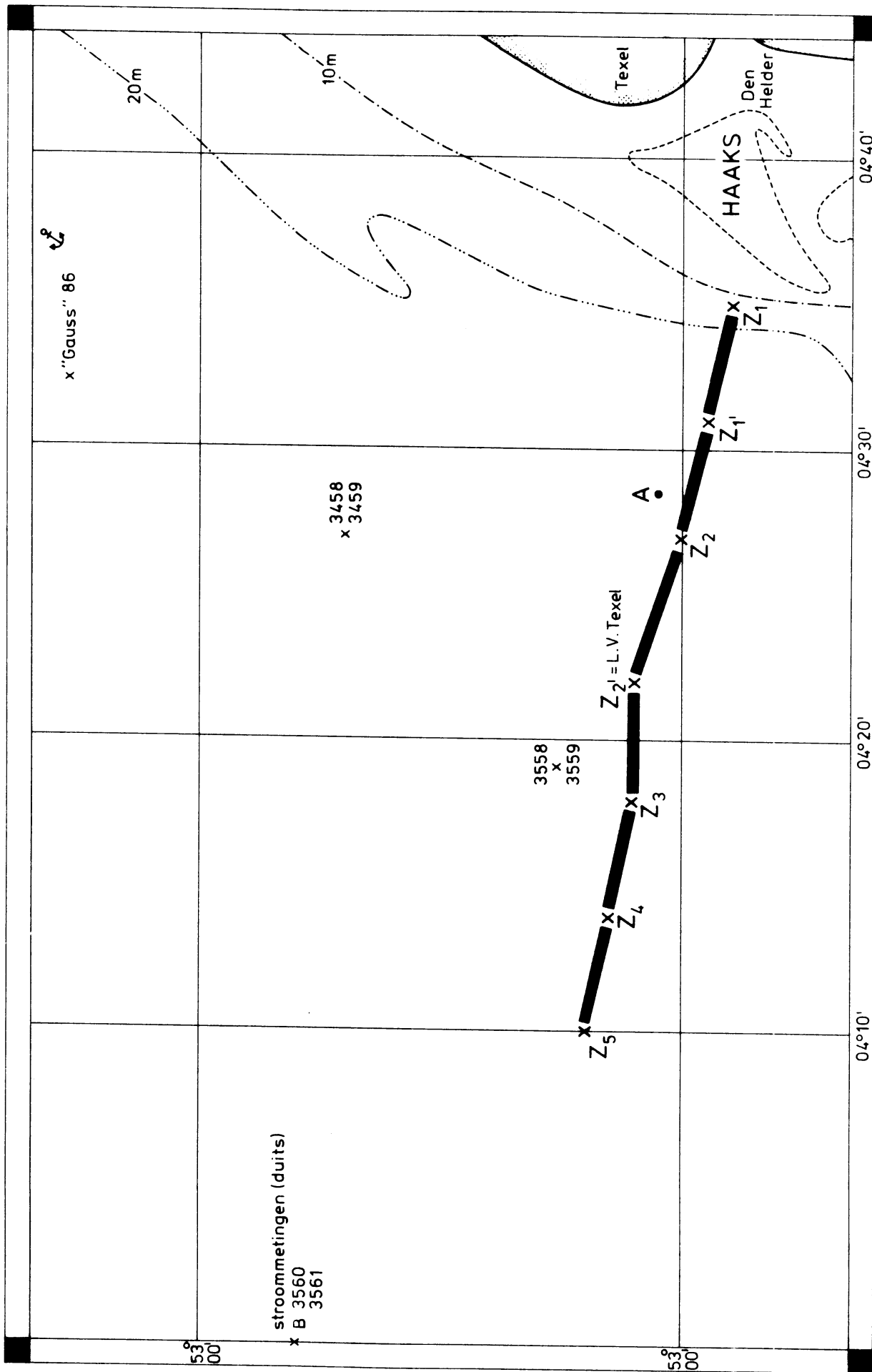


Fig. 4

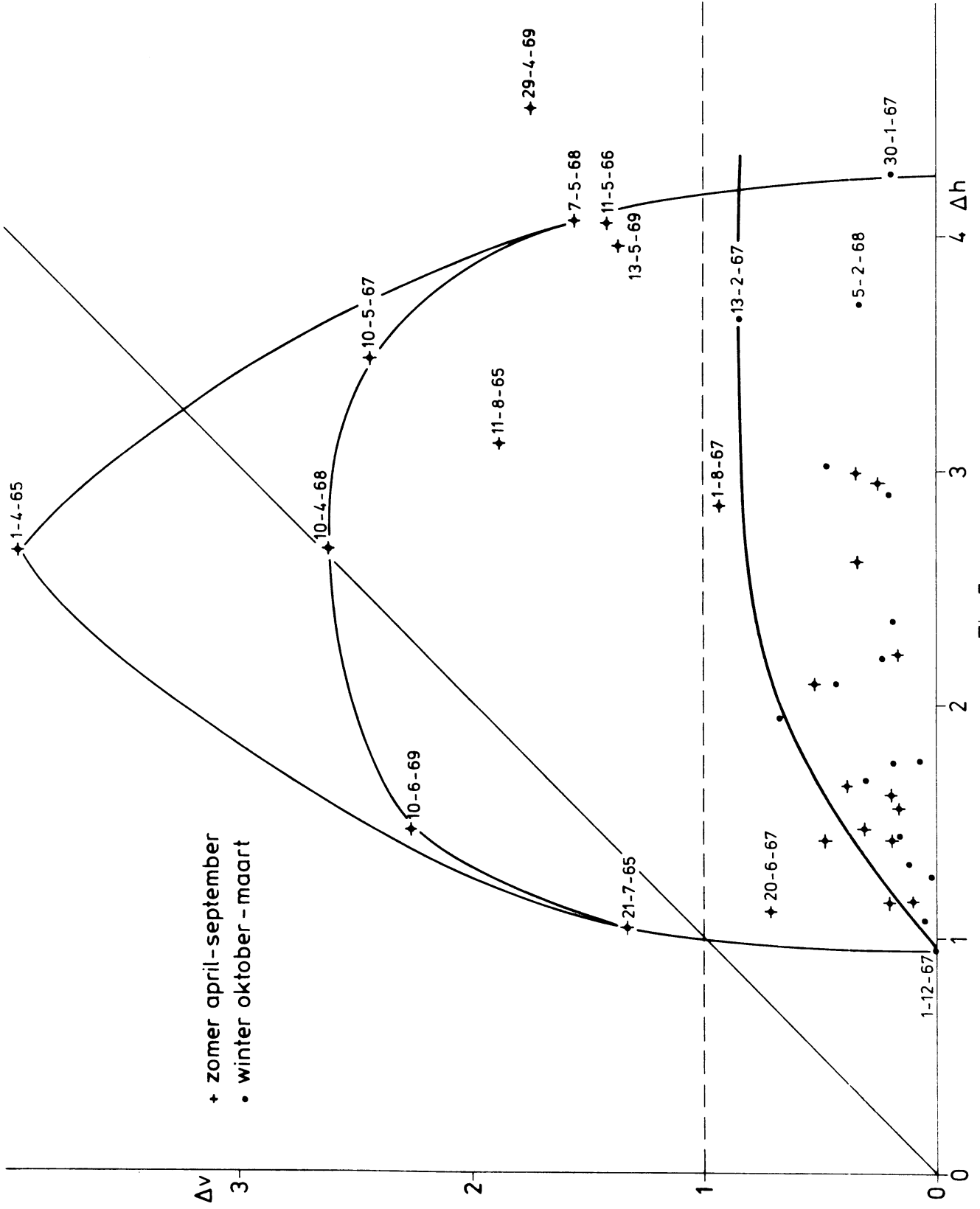


Fig. 5

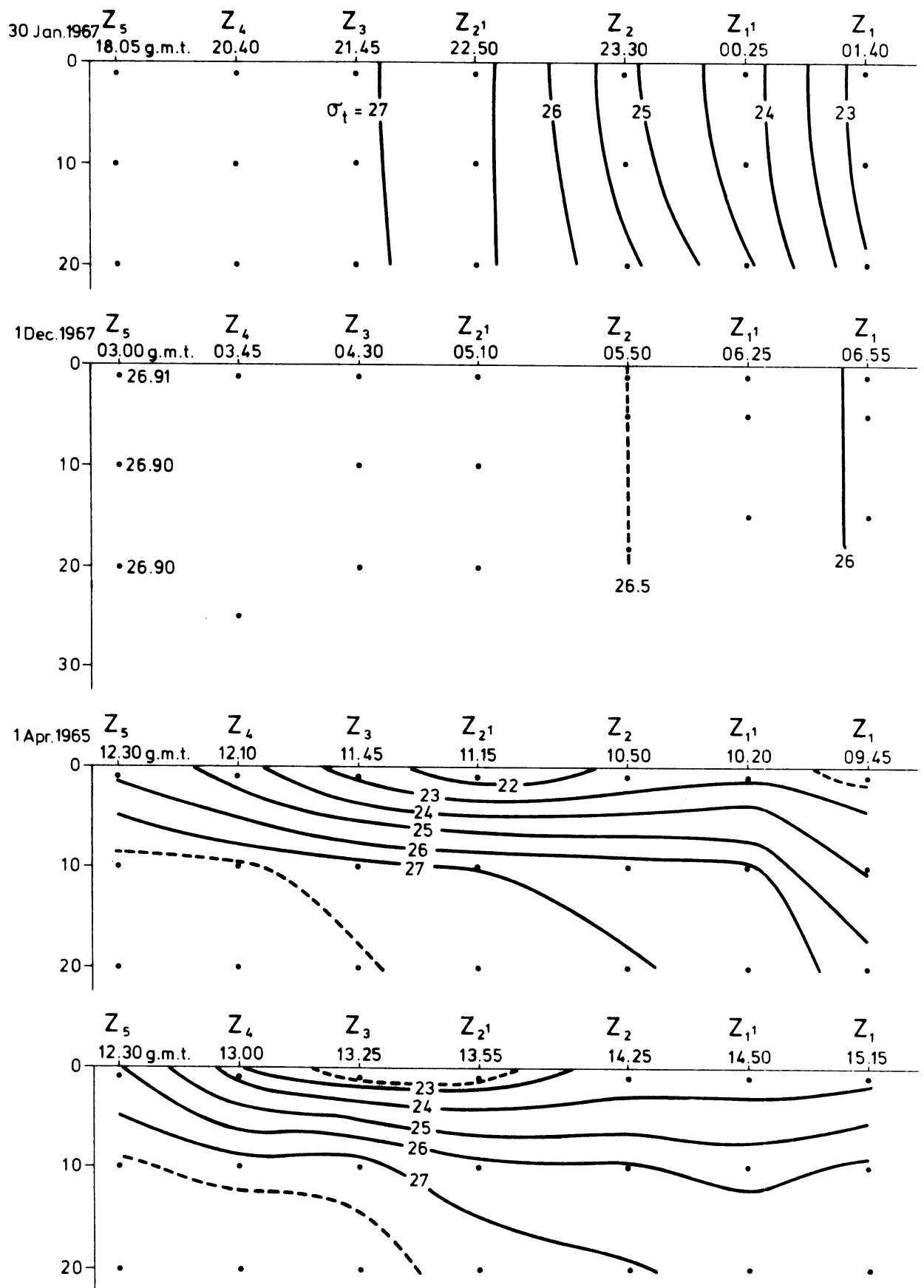


Fig. 6

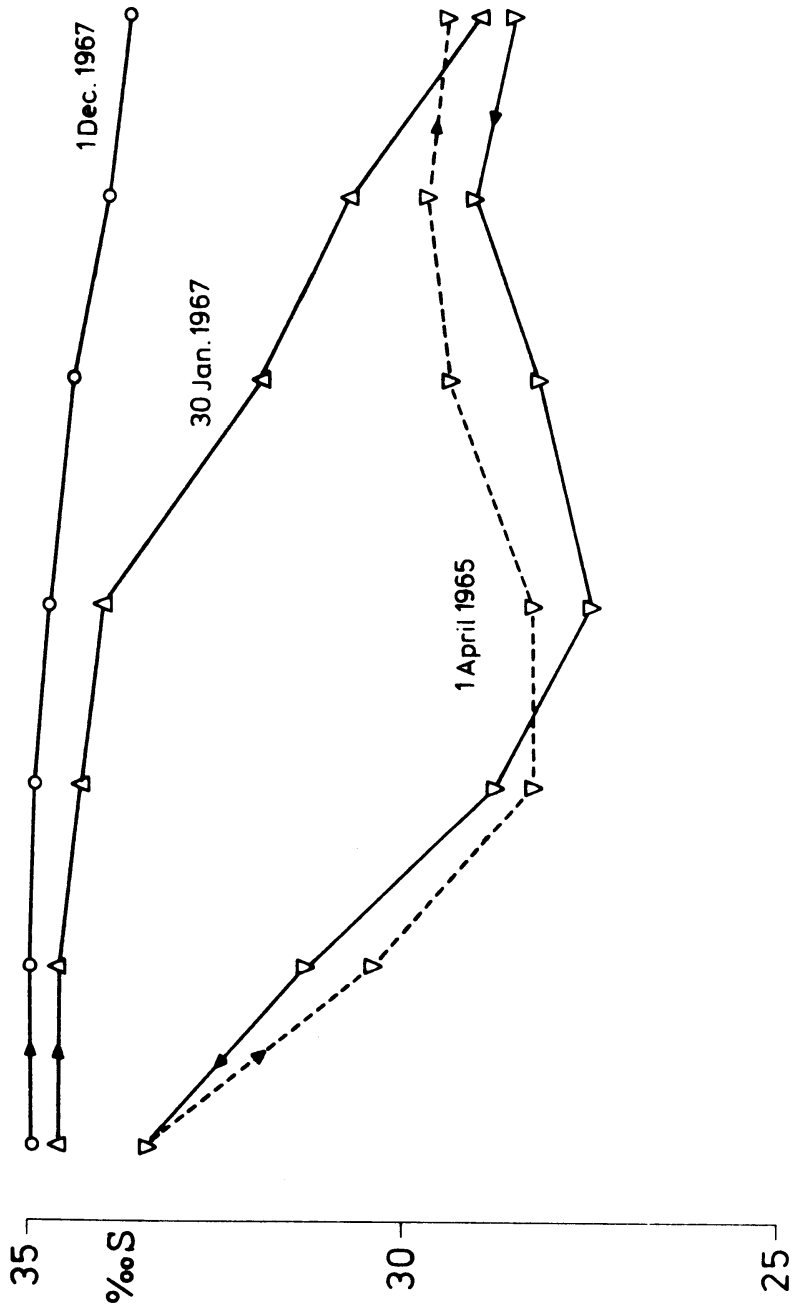


Fig. 7

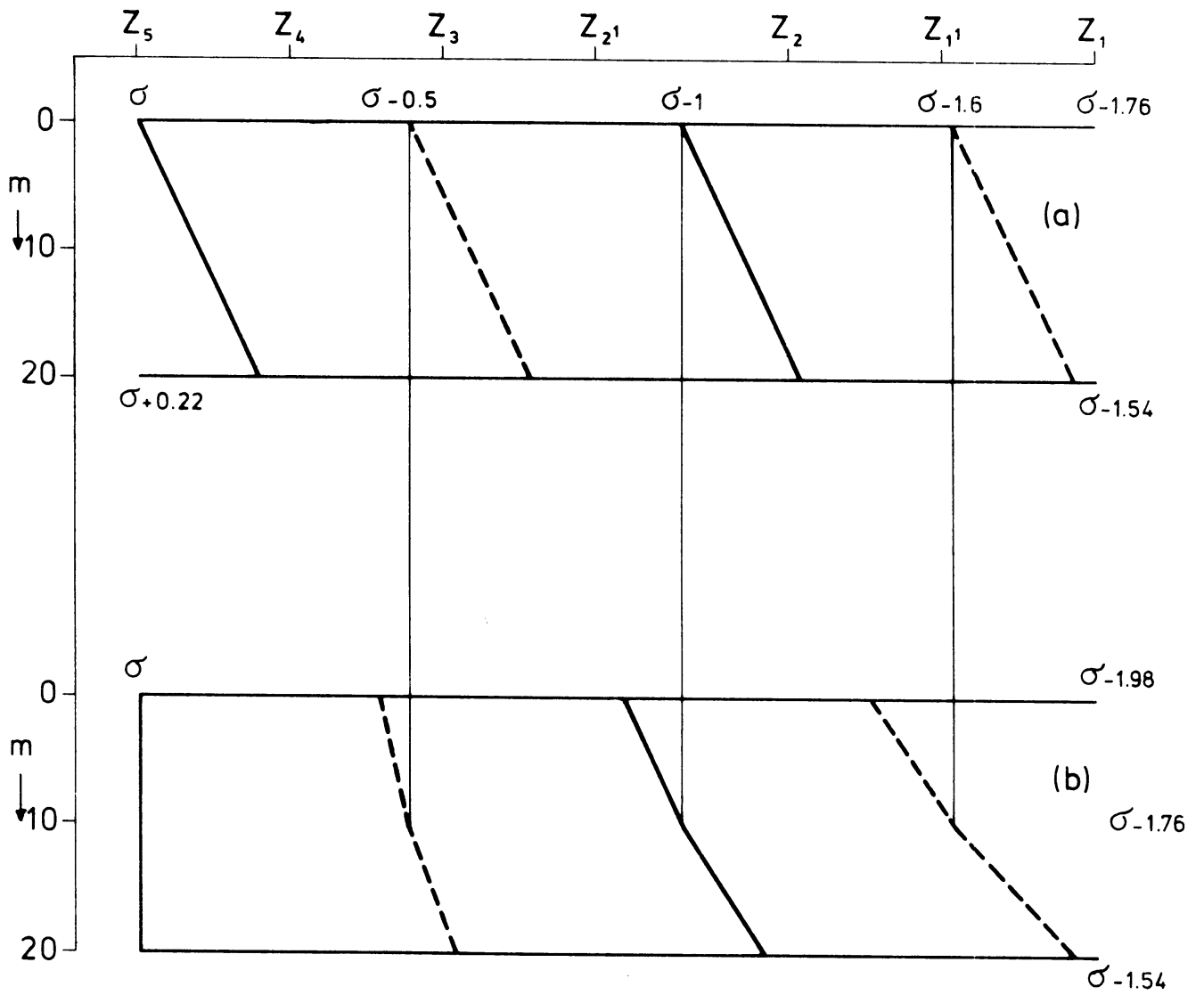


Fig.8

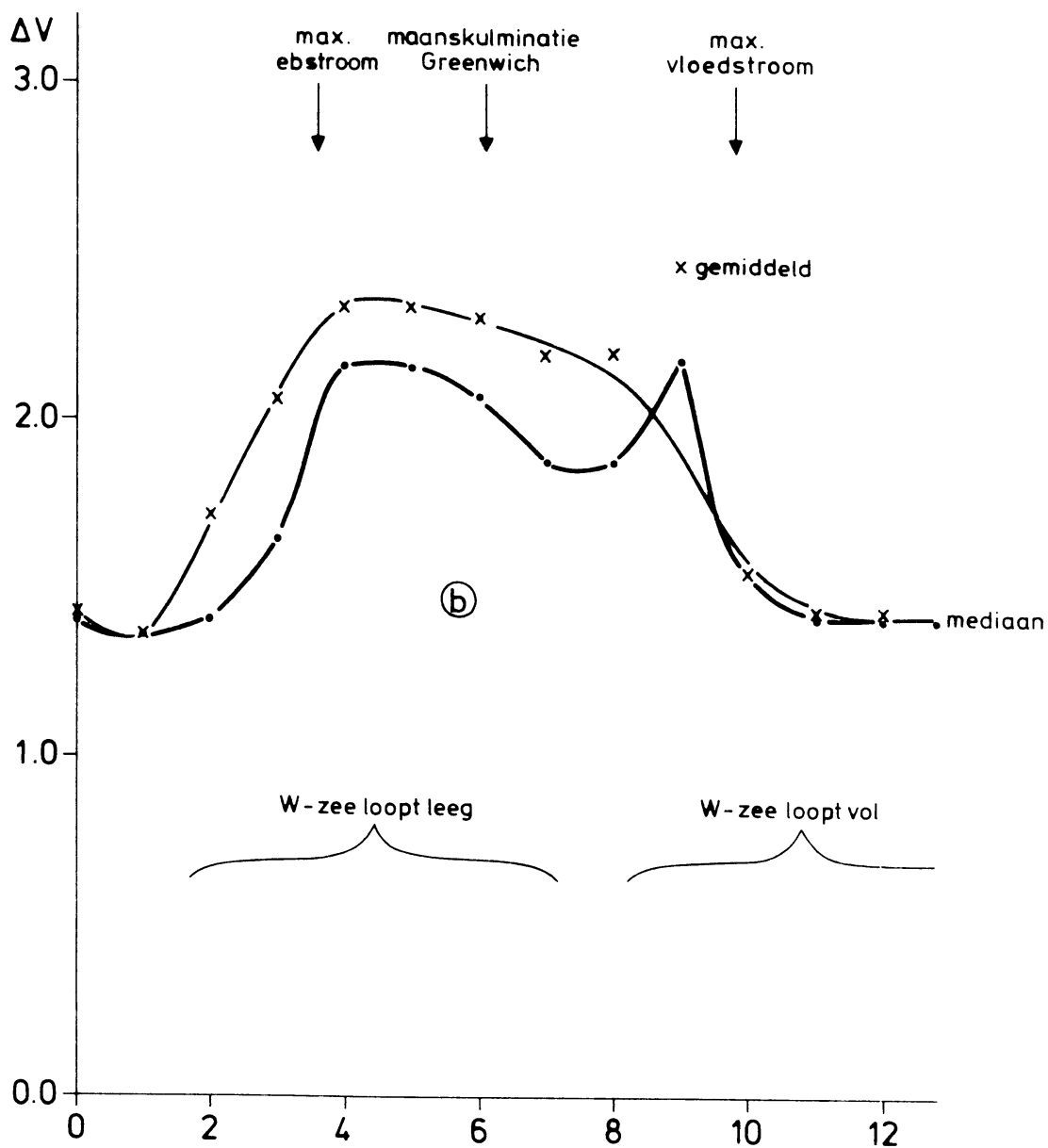
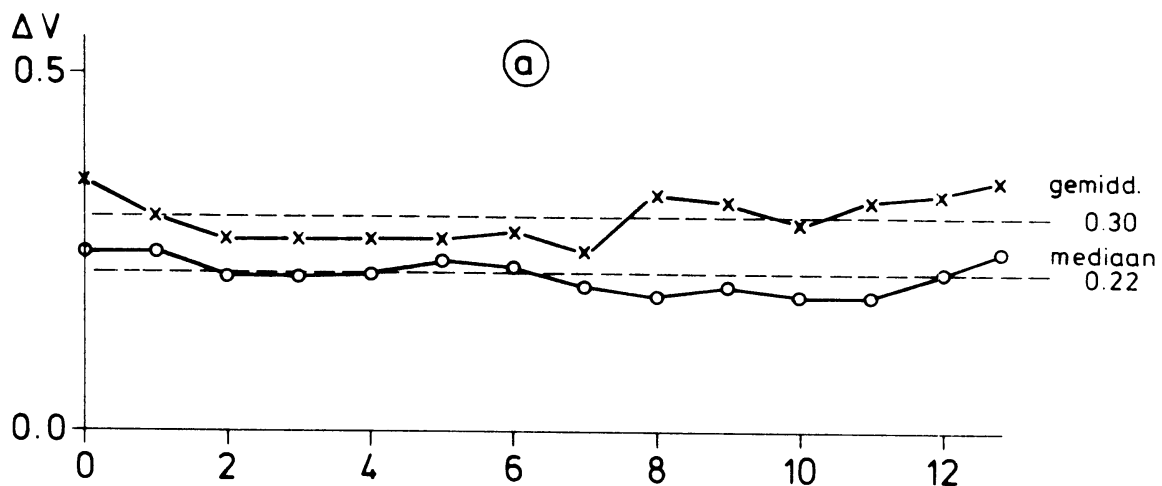


Fig. 9

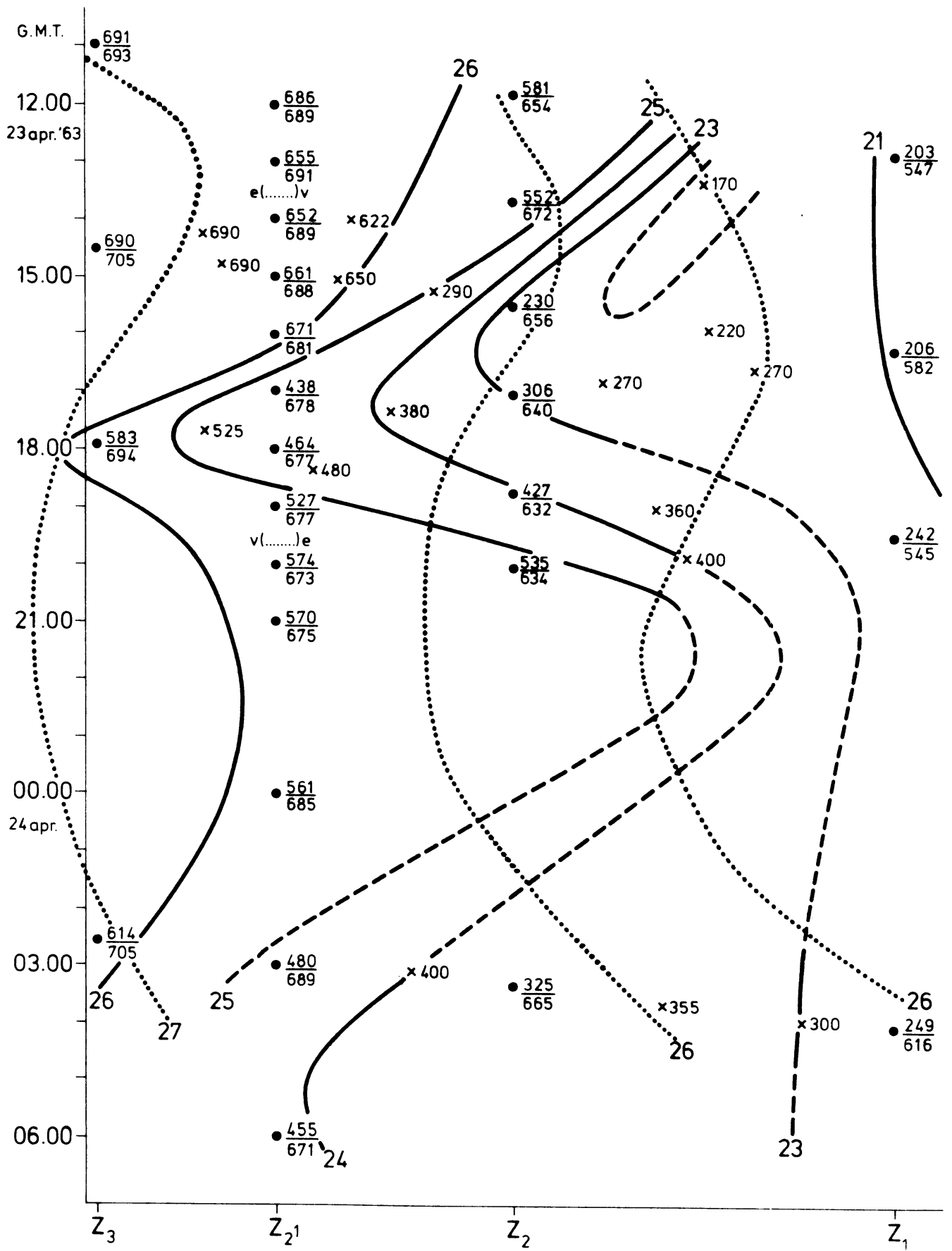


Fig.10



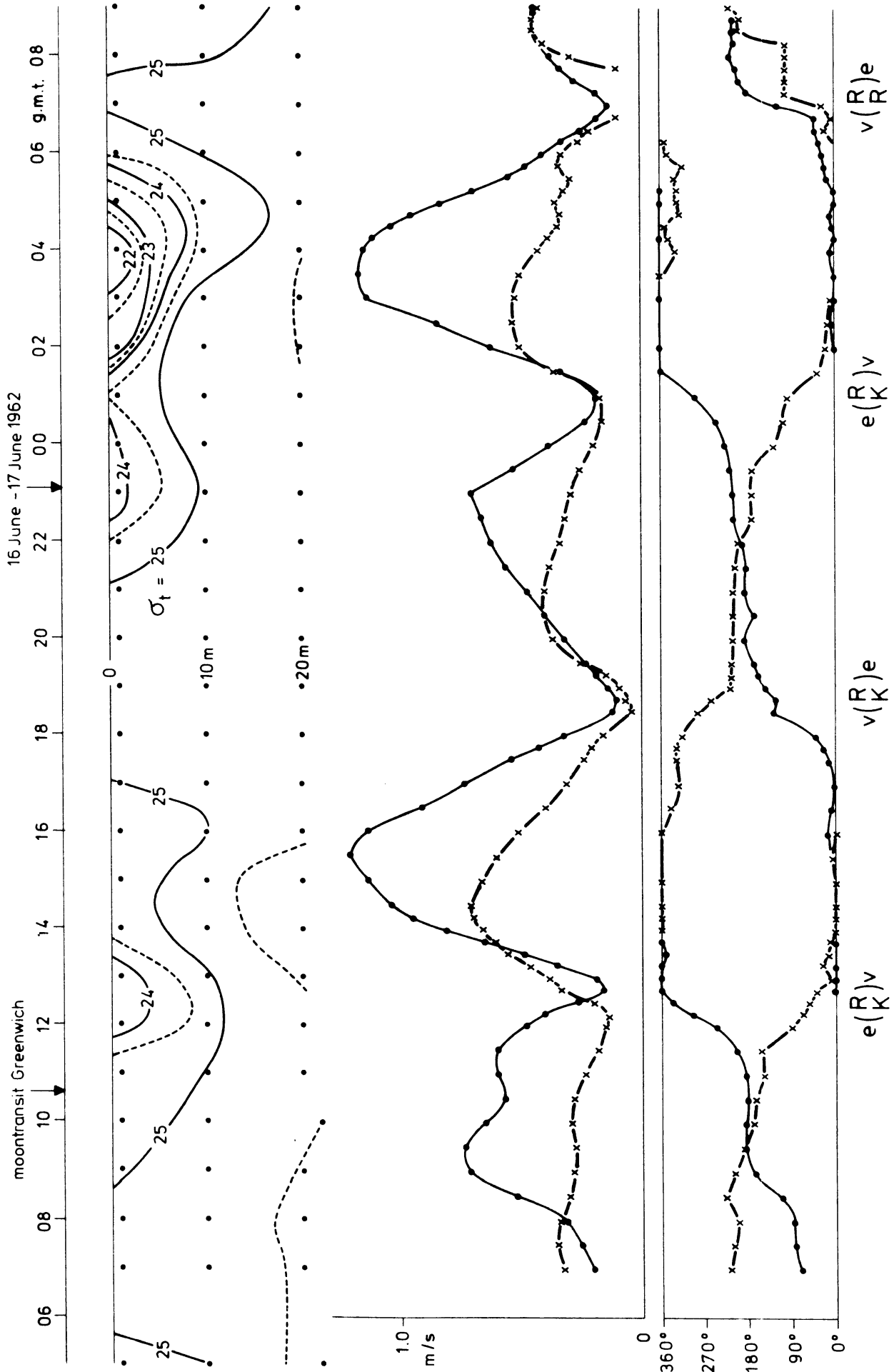


Fig. 11

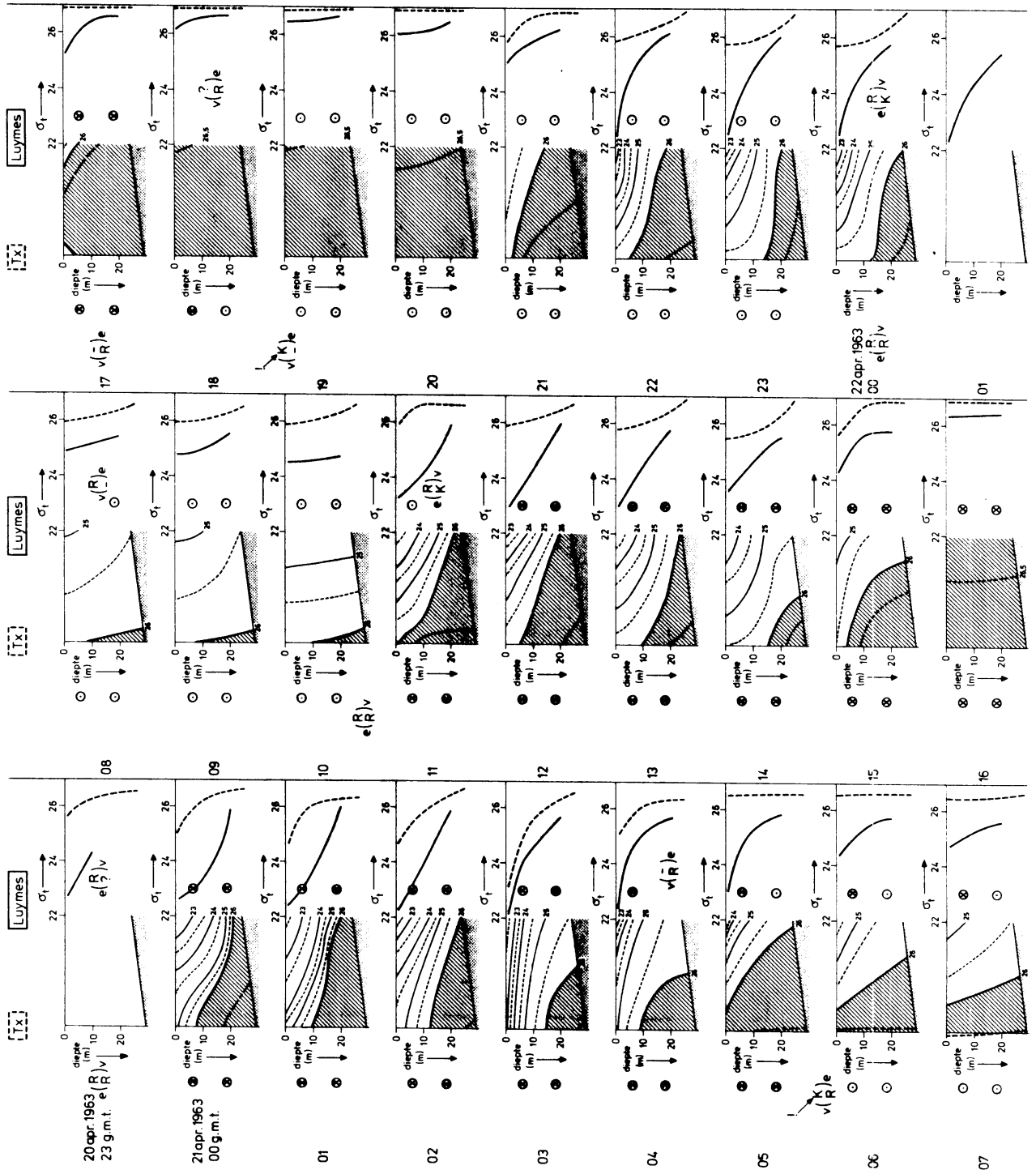
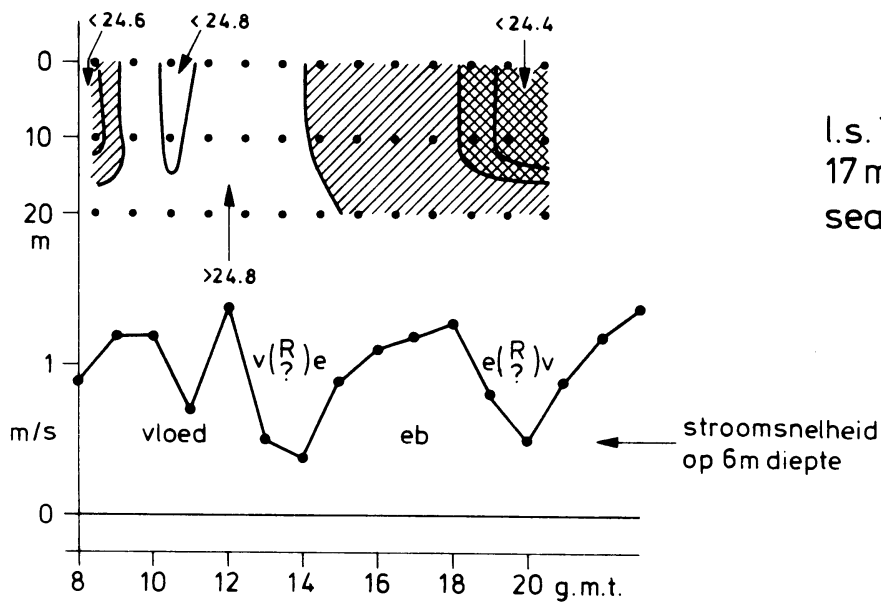
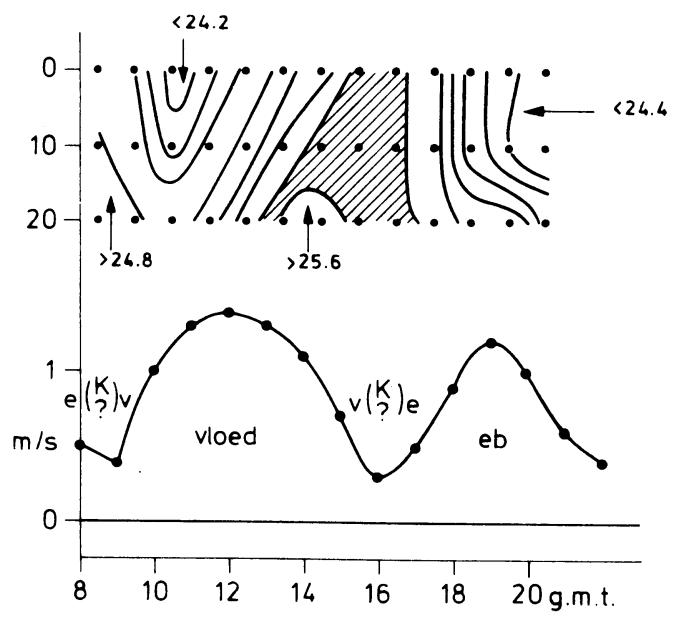


Fig 12



l.s. Terschellingerbank  
 17 mei 1968  
 sea : 4



l.s. Terschellingerbank  
 19 mei 1968  
 sea : 2

Fig. 13

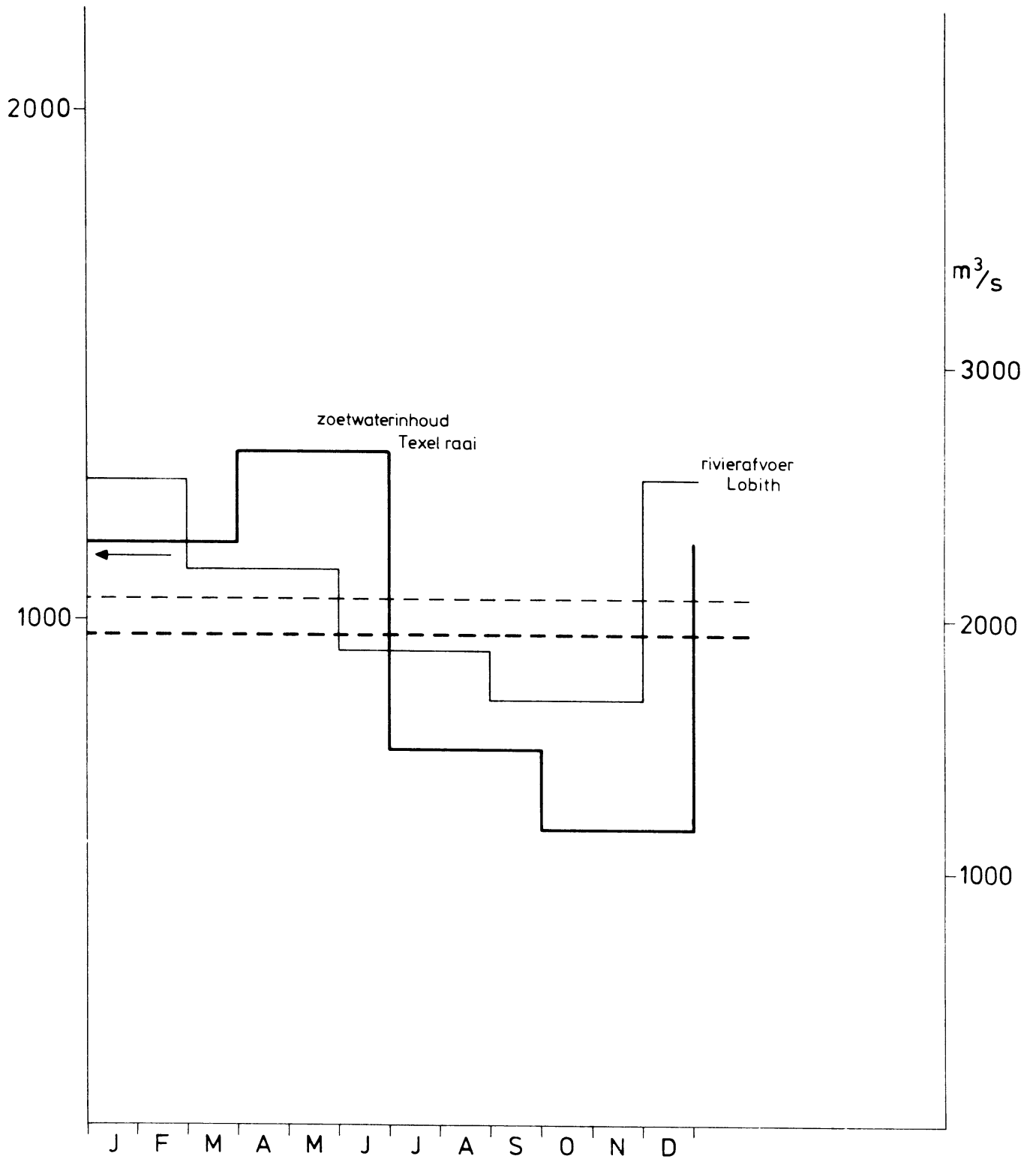
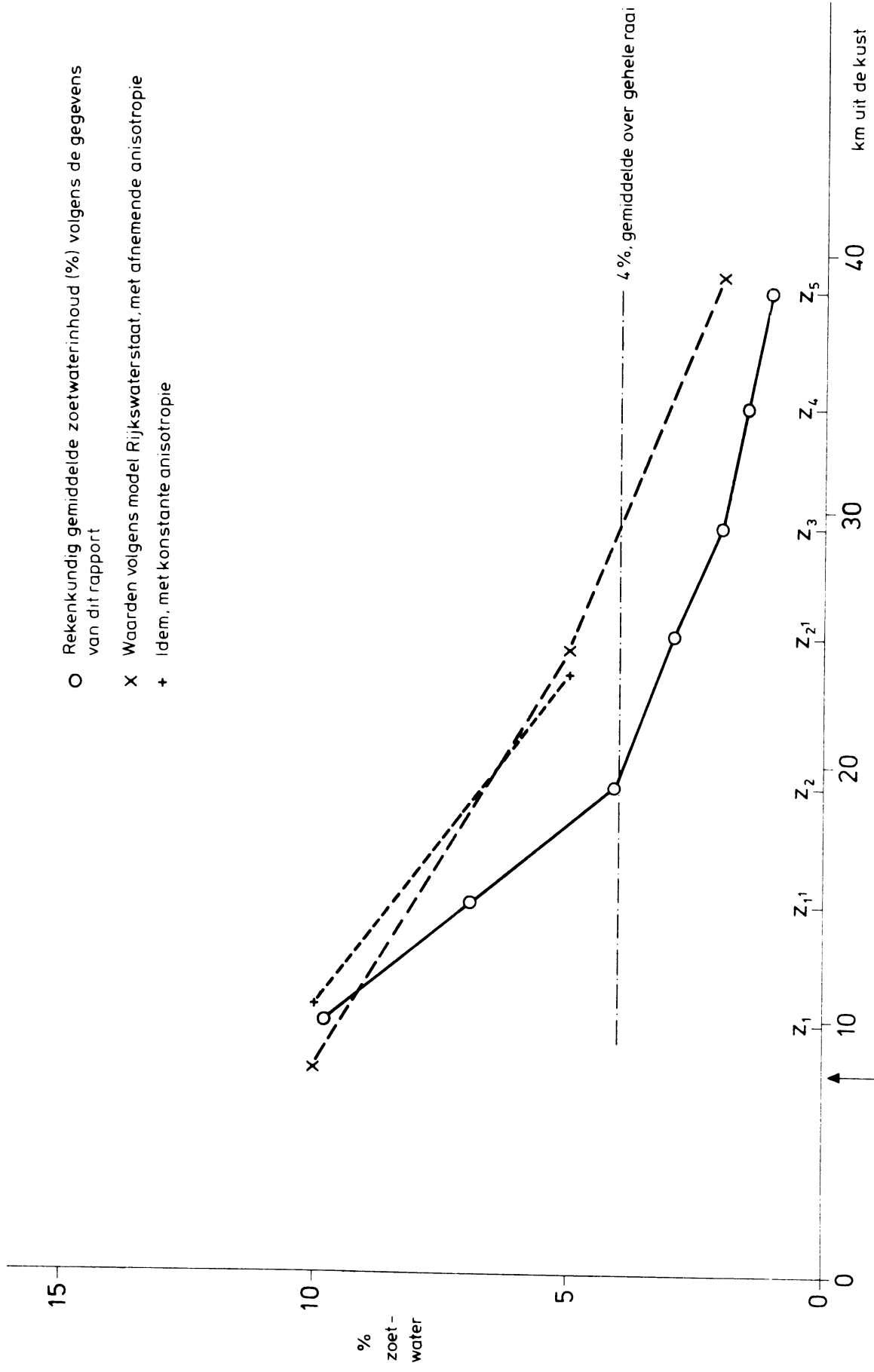


Fig.14



- O Rekenkundig gemiddelde zoetwaterinhoud (%) volgens de gegevens van dit rapport
- X Waarden volgens model Rijkswaterstaat, met afnemende anisotropie
- + idem, met konstante anisotropie

kust bij Den Heider "buitenbegrenzing" van de Haaks Fig. 15