

Fysisch, chemisch, biologisch en morfometrisch onderzoek  
in nederlandse brakwaterplassen

1. De Kreek bij Westkapelle

door

R.H. Bogaards, J.W. Francke en S. Parma

Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek  
Yerseke

Rapporten en Verslagen nr. 1978 - 10.

Rechten voorbehouden. Van "Rapporten en Verslagen" is herdruk of aanhaling slechts toegestaan met uitdrukkelijke toestemming van de auteur.

Inhoud	pag.
I. Inleiding	1
II. Historie en situatiebeschrijving	1
III. Materiaal en methoden	3
III.1. Morfometrie	3
III.2. Chemisch-fysisch onderzoek	4
III.3. Biologie	6
IV. Resultaten	7
IV.1. Morfometrie	7
IV.2. Fysisch-chemisch onderzoek	7
IV.3. Biologie	13
V. Discussie	14
VI. Beheer	23
VII. Dankbetuiging	24
VIII. Samenvatting - Summary	25
IX. Literatuur	27
Tabellen	32
Figuren	41
Bijlagen	

## I. Inleiding

Het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek heeft als opdracht: "Het maken van een beschrijving en analyse van de veranderingen in flora en fauna die door de uitvoering van het Deltaplan in de wateren van zuid-west Nederland zullen optreden" (Vaas, 1961).

Al lang voor de uitvoering van het Deltaplan waren hydrotechnische ingrepen, zoals de aanleg van bedijkingen, de afdamming van kreken, het herstellen van doorbraken, e.d. vaak voorkomende verschijnselen in het Delta-gebied. Weliswaar geschiedden deze ingrepen op technisch kleine schaal, maar de hydrobiologische effecten kunnen zeker vergeleken worden met de veranderingen tengevolge van het Deltaplan. Om deze reden wordt er al vanaf de oprichting van het Delta Instituut in 1957 onderzoek in binnendijkse wateren verricht. Dit onderzoek wordt sinds 1975 door de werkgroep "Binnenwateren" meer gecoördineerd en doelgericht uitgevoerd. Eén van de programmapunten van de werkgroep is de morfometrische, biologische en fysisch-chemische beschrijving van de kreken en welen in zuid-west Nederland.

Dit rapport bevat de resultaten van een onderzoek aan de Kreek bij Westkapelle op Walcheren.

## II. Historie en situatiebeschrijving

Begin oktober 1944 bombardeerden de geallieerde strijdkrachten de dijken van Walcheren waaronder die bij Westkapelle als onderdeel van een plan, via inundatie van dit eiland de duitse bezetting te verdrijven en om zodoende de scheepvaartroute naar Antwerpen vrij te maken. Het resultaat bij Westkapelle was een enorm gat in de dijk dat zich door de schurende werking van de eb- en vloedstromen verwijdde tot 600 m en verdiepte tot 17,6 m - N.A.P. (van Benthem Jutting, 1946; Wilderom, 1968). In de loop van de volgende maanden ontstond vlak achter de dijk een diepe kom. De stroming schuurde meer naar het achterland, via een bestaande waterloop (Westkapelsche Sprink), een geleidelijk ondieper wordende geul uit.

Tijdens de herstelwerkzaamheden in 1945 werd uit de kom achter de dijk zand gezogen tot op een diepte van ca. 25 m - N.A.P. Kort voor de sluiting was het diepste punt 21,5 m - N.A.P. (Bijlage 1). In het voorjaar van 1946 was Walcheren weer droog. Van de sluitingswerkzaamheden is

door de voormalige "Dienst Droogmaking Walcheren" een archief bijgehouden dat zich bevindt op het bureau van de Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, arrondissement Vlissingen.

De doorbraakkreek, thans bekend als de "Kreek bij Westkapelle" werd voor een groot deel ingericht als natuur- en recreatiegebied. Er wordt op de Kreek gevist door een beroepsvisser, terwijl er tevens sportvisserij wordt bedreven. In beide gevallen betreft het aal. Recreatieve activiteiten spelen zich langs de oever af; het bevaren van de Kreek is verboden.

De langgerekte, min of meer trechtervormige, geul is door de Provinciale Weg en de Schoutsweg in drie stukken gedeeld: "Hoofdkreek", "Middenkreek" en "Kleine Kreek" (Fig. 1). De Hoofdkreek staat onder beheer van Staatsbosbeheer en bevindt zich aan de periferie van het Walcherse polder-slotensysteem (Provinciale Waterstaat van Zeeland, 1977). Hij wordt gevoed door kwel, regenwater en het mechanisch gezuiverde effluent van Westkapelle (Fig. 1). Stootbelastingen kunnen optreden via een overstort van het rioleeringsstelsel van Westkapelle. De Hoofdkreek watert via een overstort onder de Provinciale Weg af op de Middenkreek en handhaaft daardoor een min of meer constant waterpeil.

De Middenkreek wordt, behalve via eerdergenoemde overstort en regenwater gevoed door een uit het N.W. komende watergang, die ongeveer halfweg de Kreek via een overstort binnenstroomd. Deze laatste hoeveelheid water is over het algemeen gering. De enige afvoer van dit kreekgedeelte is wederom een overstort en wel bij de Schoutsweg. Het waterpeil is ook hier min of meer constant.

De Kleine Kreek tenslotte heeft een variabel waterpeil en watert af via een sloot aan de oostzijde. Midden en Kleine Kreek worden beheerd door het Waterschap Walcheren .

Langs praktisch de gehele Hoofdkreek is een houten beschoeiing en een glooiing, bestaande uit los gestorte stenen, aanwezig. Een groot gedeelte van de oever van Midden- en Kleine Kreek is begroeid met bomen (vnl. wilg) en struiken. Bovendien is op verscheidene plaatsen riet aanwezig (zie Fig. 2).

De Kreek is uitgeschuurd in een als "jonge zeeklei" omschreven bodemtype in het Middelland van Walcheren. De Hoofdkreek ligt daarbij in het bodemkundig type 2 ("kleilig zand"), de Middenkreek gedeeltelijk in type 8 ("matig zandige en lichte klei") en 23 ("zandige klei en klei") en de Kleine Kreek in type 23 ("zandige klei en klei") (van der Sluijs, Steur en Ovaa, 1965).

### III. Materiaal en methoden

#### III.1. Morfometrie

Dieptemetingen, verricht in 1973, werden als het volgt uitgevoerd. Een nylonkoord werd op verscheidene trajecten (zie Fig. 3) van oever tot oever gespannen. Langs deze raai werd om de 5 meter de diepte bepaald. Aanvankelijk werd daartoe een metalen meetlint, verzaard met een stalen schijf (diameter 10 cm) gebruikt. In een later stadium zijn de metingen verricht met behulp van een batterijgevoed echolood ("Vetus dieptemeter type 2000", nauwkeurigheid 1% van de diepte). Alle metingen zijn uitgevoerd bij een bekend waterpeil (zie voor verdere bijzonderheden Bijlage 2 en 3).

In totaal 347 dieptemetingen, verdeeld over 17 raaien, werden uitgezet op een plattegrond (1:2000) van de Kreek. De isobaten afgerond op hele meters, zijn op grond van dit aantal metingen geïnterpoleerd.

Oppervlakte- en inhoudsberekeningen zijn gebaseerd op triplometingen ( $\bar{x} \pm 0,1\%$  met behulp van een planimeter (merk Ott. type 131 L). Voor de berekeningen van de morfometrische parameters werden Welch (1948) en Hutchinson (1957) gevolgd. Waar mogelijk werd gebruik gemaakt van een daartoe geprogrammeerde tafelcomputer (merk Olivetti type P 602). De volgende parameters zijn bepaald:

- A - oppervlakte
- l - lengte i.c. de kortste afstand over het wateroppervlak tussen de verst verwijderde punten op de oever (lijn B-C in Fig. 3).
- b - maximale breedte i.c. de maximale lengte van een lijn van oever tot oever die l loodrecht snijdt (lijn D-E in Fig. 3).
- $Z_m$  - maximale diepte (punt A, Fig. 3).
- bx - gemiddelde breedte i.c.  $\frac{A}{l}$ .

$\bar{Z}$  - gemiddelde diepte i.c. volume (V) gedeeld door oppervlakte (A).

$Z_c$  - diepte van de cryptodepressie i.c. de diepte van het laagste punt beneden zeeniveau. Zeeniveau is hier gedefinieerd als N.A.P. overeenkomend met halftij bij Westkapelle.

L - lengte van de oeverlijn, bepaald met behulp van een curvimeter.

$D_1$  - verloop van de oeverlijn ("shoreline development") i.c. de verhouding van L ten opzichte van de omtrek van een cirkel met oppervlakte A.  $D_1$  is te beschouwen als een maat voor het effect van de oeverzone op processen die zich in de Kreek afspelen en wordt berekend als 
$$D_1 = \frac{L}{2\sqrt{\pi A}}$$

V - volume. Het volume is bepaald met behulp van de formule

$$V = \frac{h}{3} (a_1 + a_2 + \sqrt{a_1 \cdot a_2})$$
, waarbij h is de hoogte van de waterschijf,  $a_1$  de oppervlakte van de bovenkant van de waterschijf en  $a_2$  de oppervlakte van de onderkant van de waterschijf. Daar de isobaten in hele meters bekend zijn, is  $h = 1$ , en zijn  $a_1$  en  $a_2$  bekend uit de planimeter resultaten. Door summatie van de volumina van de verschillende waterschijven wordt V verkregen

$D_v$  - de opbouw van de inhoud ("volume development") i.c. de verhouding van V ten opzichte van de inhoud van een kegel met een hoogte =  $Z_m$  en een grondvlak = a. Deze parameter wordt berekend als 
$$D_v = \frac{3\bar{Z}}{Z_m}$$
.

### III.2. Chemisch-fysisch onderzoek

Er zijn chemisch-fysische gegevens uit het vrije water beschikbaar uit drie perioden:

a. Van 1961-1975 zijn door L. de Wolf maandelijks chloridegehalten (volgens Mohr) gemeten in de Hoofdkreek (station I, Fig. 2).

Van 1969-1975 werd tevens de waterstand bepaald (N.A.P.) (Zie de Munck e.a., 1978). Van 1957-1977 zijn door het Waterschap Walcheren maandelijkse chloridebepalingen uitgevoerd en wel in de Hoofdkreek aan de uiterste westkant en in de Middenkreek bij de Provinciale Weg.

b. Van 1971-1972 is onder leiding van Drs. F. Vegter een fysisch-chemisch onderzoek verricht in een groot aantal kreken in Zeeland en Zuid-Holland (rapport in voorbereiding), waaronder de Kreek bij Westkapelle.

Op station I (zie Fig. 2) zijn maandelijks tussen 13.00 en 14.30 uur n.m. oppervlaktemonsters genomen en geanalyseerd op:

pH	- pH meter met gecombineerde electrode
temperatuur	- kwikthermometer
zuurstof	- Winklermethode
$\text{N-NH}_4^-$	- fenolhypochloride methode volgens Newell (1967)
$\text{N-NO}_3^-$	- volgens Strickland & Parsons (1968)
$\text{P-PO}_4^{3-}$	- volgens Murphy & Riley (zie Strickland & Parsons (1968))
$\text{Ca}^{++}$ en $\text{Mg}^{++}$	- titrimetrisch met EDTA volgens Merck
pigment	- extractie met methanol en extinctie bij 665 nm met spectrofotometer.
chloride	- volgens Mohr.

c. In de periode september 1973-december 1974 werd, in het kader van het programma van de afdelingen zoölogie en oecologie een veertiendaagse chemische bemonstering uitgevoerd. Langs een verticaal traject van 14 m (station II, Fig. 2) werden tussen 10.00 en 12.00 uur v.m. op iedere meter monsters genomen met behulp van een waterfles type Friedinger. De tochten werden bij toerbeurt uitgevoerd door genoemde afdelingen en door "Staatsbosbeheer".

Bovendien zijn op 24 januari, 23 april, 2 augustus en 4 november 1974 oppervlaktemonsters genomen op een oost-west traject (stations a-g, Fig. 2).

Behalve pH, temperatuur, zuurstof, ammonium, nitraat, orthofosfaat, calcium en magnesium (zie voor methoden hiervoor onder b) zijn bepaald.

chemisch zuurstof verbruik (CZV)	- kaliumdichromaat methode
sediment	- filtratie over glasvezelfilters (0,45 $\mu$ )
chlorofyl-a en feofytine	- volgens Strickland & Parsons (1968).
silicium	- volgens Strickland & Parsons (1968)
$\text{N-NO}_2^-$	- volgens Shinn (zie Strickland & Parsons, 1968).

Tenslotte zijn in het kader van het biologisch onderzoek incidentele chloridebepalingen verricht op diverse stations in de Kreek.

Ter ondersteuning van het biologisch benthosonderzoek zijn langs een tweetal raaien (A en B, Fig. 2) bodemonsters genomen. De bovenste 10 cm van het sediment werd geanalyseerd op



mediane korrelgrootte	- zie Wolff, 1973
sortering	- zie Wolff, 1973
organisch C-gehalte	- met Coleman CH-Analyser (zie Nieuwenhuize, van Liere & van Esbroek, 1978).
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	- P-Al methode (zie Nieuwenhuize, 1975).
N-totaal	- Kjeldahl-Lauro methode (zie Nieuwenhuize, 1975).

### III.3. Biologie

In april en september 1977 werd op een aantal plaatsen (Fig. 2, station 1-13) het littoraal kwalitatief bemonsterd op macrofauna. Op verscheidene monsterstations was vegetatie (Phragmites australis) aanwezig. De bemonstering geschiedde met behulp van een schepnet (in open water en tussen vegetatie; maaswijdte 0.6 mm) of een dregnet (bodem; maaswijdte 0.6 mm). Waar noodzakelijk werden ook in het water liggende stukken hout en stenen op macrofauna nagezocht. Tenslotten is de oeverzone juist boven de waterlijn gecontroleerd op de aanwezigheid van diverse organismen zoals Orchestia, Gammarus e.a.

Per monsterpunt is net zo lang gezocht tot geen nieuwe soorten werden bijgevonden. De monsters werden ter plaatse, uitgespreid in witte schalen, uitgezocht. De niet met zekerheid in het veld te herkennen soorten werden gefixeerd (70% alcohol) en in het laboratorium gedetermineerd.

In september 1977 is met behulp van een vlet met buitenboordmotor en een kornet (mondopening 100 cm, maaswijdte 5 mm) de bodem bemonsterd (diepte 1-5 m).

In september 1977 werd de monsterserie gecompleteerd met bodemhappen (raaien A en B, Fig. 2). De monsters werden verzameld met een Birge-Ekman happer (225 cm<sup>2</sup>), uitgezeef over 1.0 mm gaas en ter plaatse op macrofauna onderzocht.

In de zomer van 1973 zijn aantekeningen gemaakt over de aard en plaats van de oeverbegroeiing van de Kreek.

## IV. Resultaten

### IV.1. Morfometrie

De drie delen van de Kreek zijn duidelijk gescheiden eenheden en derhalve zijn de morfometrische gegevens apart berekend. De door ons gekozen oostgrens van de Kreek is in Fig. 2 aangegeven. In Bijlagen 2 en 3 zijn de isobaten ingetekend. De Tabellen I, II en III vermelden de gegevens betreffende de oppervlakte en inhoud op diepten van 1, 2, 3, etc. meter in de drie kreekdelen. In Fig. 4 zijn hypsografische curven afgebeeld die de relatie van diepte en oppervlakte resp. volume in de Hoofdkreek weergeven. Tabel IV geeft verdere morfometrische kenmerken van de drie kreekdelen.

### IV.2. Fysisch-chemisch onderzoek

In Fig. 5 zijn de peilvariatiën van de Hoofdkreek uit de periode 1969-1975 ingetekend. Uit incidentele waarnemingen in de periode 1975-heden blijkt dat het waterniveau zich niet ingrijpend heeft gewijzigd. Het niveau is over het algemeen vrij constant met maximale verschillen van 10-15 cm per jaar. Alleen in 1974 werd een aanzienlijke verlaging (ca. 40 cm) aangebracht, vanwege herstelwerkzaamheden aan de beschoeiing.

In Fig. 6 zijn de maandelijkse chloridewaarnemingen uit de periode 1961-1975 en in Fig. 7 de jaargemiddelden uit de periode 1957-1977 afgebeeld (zie ook Tabel V). Van 1957 tot 1966 is een geleidelijke daling opgetreden van gemiddeld ruim  $10^{\circ}/\text{oo}$  tot  $7-7\frac{1}{2}^{\circ}/\text{oo}$ . In de periode 1966 tot 1975 is het gemiddelde vrijwel constant gebleven, maar in 1975 trad wederom een duidelijke daling op tot gemiddeld  $6.76^{\circ}/\text{oo}$ . Deze verlaging lijkt in de volgende jaren door te zetten. De daling in 1975 viel samen met een langdurige periode van uitzonderlijke grote regenval.

Afgezien van de hiervoor vermelde dalingen in zoutgehalte zijn de fluctuaties per jaar vrij gering. In de periode 1969-1975 schommelden de chlorideconcentraties tussen  $6.76$  en  $7.75^{\circ}/\text{oo}$  (de extreme piek uit februari 1969 buiten beschouwing gelaten). Er is geen seizoensperiodiciteit (hoge zomer- en lage winterwaarden) aanwezig.

In de Figuren 8 en 9 zijn de fluctuaties van een aantal factoren uit het oppervlaktewater weergegeven. De getallen uit 1971-1972 zijn verzameld

onder verantwoordelijkheid van Drs. F. Vegter op punt I (Fig. 2), de getallen uit 1973-1974 hebben betrekking op monsters van punt II (Fig. 2) en maken deel uit van het periodiek bemonsterde verticale traject ter plaatse (zie par. III.2.).

Het zuurstofgehalte vertoont zeer sterke schommelingen welke zullen samenhangen met onder meer de dagperiodiciteit en het moment van bemonstering. Er is sprake van sterke over- en onderverzadigingswaarden (170-35%). Een zekere seizoensperiodiciteit is waarneembaar, waarbij de maximale concentraties in de voorzomer en de minimale concentraties in de tweede helft van het jaar vallen.

De temperatuur vertoont de te verwachten periodiciteit met een amplitude van 0-20° C.

De zichtdiepte (Secchiwaarde) (alleen gemeten op station II) varieert tussen 30 en 110 cm met een duidelijk minimum in de hoogproductieve zomerperiode.

Het magnesiumgehalte is meestal rond de 500 mg/l, met op onregelmatige tijden zeer sterke uitschieters naar ca. 1000 mg/l (april 1971) resp. 100 mg/l (diverse data). Calcium fluctueert meestal tussen de 250 en 300 mg/l, maar een seizoensperiodiciteit is afwezig. Er komen enkele extreme waarden voor (100-500 mg/l).

De pH fluctueert zoals te verwachten is voor brakke binnenwateren, tussen de 8 en 9,5. De duidelijke seizoensperiodiciteit met minima in de winter en maxima in de zomer kan een gevolg zijn van de bemonsteringstechniek. Daar immers steeds op ongeveer hetzelfde moment van de dag is gemonsterd (zie par. III.2.), ligt dit tijdstip in de winter vroeger in de lichtperiode dan in de zomer. Door assimilatie processen zal gedurende de dag de pH stijgen, waardoor bij een gefixeerd monstertijdstip de kans op een hoge pH in de zomer groter is dan in de winter.

Het ammoniumgehalte vertoont geen duidelijke seizoensperiodiciteit, al is er een indicatie dat de hogere waarden meestal in de winterperiode en de lagere waarden in de zomerperioden worden gemeten. Er kunnen maxima van 0.7-1.0 mg/l optreden.

De seizoensperiodiciteit van het nitraatgehalte is duidelijker en heeft maximale waarden tot 2 mg/l (in 1971 zelfs 7 mg/l) in de winterperiode en minima dalend tot beneden de 0.1 mg/l in de zomer. De in de Grevelingen optredende opeenvolging van ammonium- en nitraatpieken is hier afwezig (Nienhuis, 1977).

Nitriet vertoont eveneens een periodiciteit met wintermaxima van meer dan 1 mg/l en zomerminima van 0 mg/l. De toename en afname van nitriet loopt iets vóór op die van nitraat. Orthofosfaat kan in de wintermaanden zeer hoge concentraties bereiken (tot meer dan 7 mg/l) maar de zomerminima dalen zelden onder de 1 mg/l. Een seizoensperiodiciteit is in principe wel aanwezig, maar de concentratie verschillen tussen twee opeenvolgende monsterdata kunnen aanzienlijk zijn en daardoor is de seizoensperiodiciteit wat verdoezeld.

De pigment getallen voor de periode 1971-1972 zijn weergegeven in extinctie eenheden, de chlorofyl- en feofytine concentraties uit 1973-1974 in  $\text{mg/m}^3$ . De absolute waarden uit de twee perioden zijn onderling niet vergelijkbaar, maar wel kan geconcludeerd worden dat in beide perioden een seizoensperiodiciteit aanwezig is. Een maximale pigmentconcentratie van ca.  $160 \text{ mg/m}^3$  chlorophyl-a wordt bereikt in mei. Het feofytinegehalte vertoonde zowel een piek in de winter als in de zomer.

De siliciumconcentratie tenslotte fluctueert enorm van ca. 1 tot 13 mg/l. Een seizoensperiodiciteit is afwezig.

Uit de vier kwartaalbemonsteringen in 1974 (Tabel VI) mag geconcludeerd worden dat in de Hoofdkreek praktisch geen horizontale gradient voorkomt. Alleen in de zomermaanden is voor het sedimentgehalte een oplopende west-oost gradient geconstateerd maar dit zou veroorzaakt kunnen zijn door weersomstandigheden waarbij door turbulentie in het ondiepere oostelijke gedeelte van de Hoofdkreek meer sediment in het vrije water wordt gebracht. Op het traject Hoofdkreek - Middenkreek-Kleine Kreek blijken echter wel duidelijke gradienten voor te komen. Zo vormen gaande van west naar oost de chlorideconcentraties en Secchiwaarden meestal een dalende reeks, terwijl sedimentgehalte, siliciumconcentratie en het chemisch zuurstofverbruik meestal toenemen. De concentraties van de fosfor- en stikstofverbindingen blijven gelijk of nemen af over genoemd traject. Voor calcium, magnesium en de pigmentfracties is geen vaste tendens waar te nemen.

Hoewel het zoutgehalte van de oppervlakte van de Kreek het gehele jaar door zeer constant is bestaan er wel duidelijke verschillen langs de verticaal (Fig. 10). Deze zoutstratificatie is te wijten aan het optreden van kwel en het niveau van de chemocline vertoont een seizoensperiodiciteit.

Begin januari is op de bodem (i.c. 14 m) een ca. 1 m dikke laag water aanwezig, waarvan het chloridegehalte een weinig hoger is dan in de zich daarboven bevindende kolom. In maart begint het chloridegehalte aan de bodem te stijgen en de chemocline verplaatst zich naar hogere waterlagen. In de periode mei-oktober bevindt de chloridespronglaag zich op 11.5-12 m, terwijl midden in de zomer vlak boven de bodem maximale chloridegehalten van 13<sup>o</sup>/oo-14<sup>o</sup>/oo worden gemeten. In oktober wordt de chemocline snel afgebroken en in november is de waterkolom ter plaatse weer homogeen van zoutgehalte. De zoutstratificatie heeft konsekwenties voor de verticale verschillen van de overige fysisch-chemische factoren.

Uit het isothermenverloop (Fig. 11) is af te lezen, dat er in maart temperatuursverschillen beginnen op te treden tussen oppervlakte en diepere lagen. De thermocline bevindt zich in mei op circa 6 m en verplaatst zich in de loop van de zomer naar diepere lagen. Tegelijkertijd is echter een temperatuursprong aanwezig op de plek van de zoutstratificatie. Uit incidentele waarnemingen in de diepe kom van 16 m is gebleken dat deze zoutgelaagtheid samen kan gaan met een omgekeerde thermocline: in januari 1978 was de temperatuur tussen 3 en 4<sup>o</sup> C, maar steeg in de onderste zoute lagen tot meer dan 7<sup>o</sup> C.

Uit Fig. 12 is af te lezen dat er ook midden in de zomer in de hogere waterlagen kleine temperatuurverschillen kunnen optreden (bv. 23-5-1973; 15-8-1974; 19-9-1974). Hoewel deze verschillen minder dan 1<sup>o</sup> C kunnen bedragen, en dus in de isothermenkaart van Fig. 12 niet als clinen zichtbaar zijn, hebben zij wel duidelijke invloed op het zuurstofregime. De isoplethenkaart voor zuurstofverzadiging (Fig. 13) vertoont duidelijk dubbele spronglagen. De bovenste oxyxline is reeds aanwezig in maart en bevindt zich dan in de zone van 2-4 m. In de loop van april-mei zakt deze naar 6-8 m, maar in juni is de ligging weer ondieper. Deze wisseling in diepteligging zet zich in de rest van het seizoen voort totdat eind september-begin oktober de bovenste spronglaag definitief is verdwenen.

De onderste oxycline is gecorreleerd met de zoutstratificatie. Al in januari, wanneer de saliniteitsverschillen in de bodemlaag maximaal een half promille bedragen, is er een duidelijke afname in zuurstofgehalte in de onderste waterlagen. Pas in maart wordt de bodem anaeroob. De anaerobie breidt zich in de zomer uit tot ca. 12 m d.i. 3 m boven de bodem. Eind november, synchroon met het verdwijnen van de zoutstratificatie wordt weer

zuurstof over de gehele verticaal aangetroffen.

Het calciumgehalte (Fig. 14) is vrij homogeen over de verticaal gedurende de wintermaanden. Synchroon met de naar boven gerichte verplaatsing van de chemocline in januari stijgt het calciumgehalte bij de bodem tot maximaal 375 mg/l. In september echter daalt dit gehalte weer en in oktober is het gehalte over de gehele verticaal min of meer homogeen. In juni/juli 1974 was niet alleen het calciumgehalte bij de bodem gestegen, maar trad ook een verhoging in het epilimnion op met een maximum van 475 mg/l. Dit oppervlakte maximum is ook in Fig. 8 zichtbaar, maar heeft betrekking op slechts één piekwaarde in juni. In de voorafgaande jaren waren deze zomermaxima afwezig.

Het magnesiumgehalte (Fig. 15) vertoont net als het calciumgehalte een gelaagdheid in de zomermaanden. Ook hier treden al in januari wijzigingen in de concentraties bij de bodem op, maar pas in maart leidt dit tot een duidelijke stijging met maxima boven de 800 mg/l. De minimumconcentratie in maart 1974 in de oppervlakkige lagen (zie Fig. 8) was eveneens op grotere diepte aanwezig (minder dan 200 mg/l).

Gedurende de stratificatieperiode kan het ammoniumgehalte in de diepere lagen zeer sterk oplopen (Fig. 16). Van april tot september 1974 werden op ca. 13 m diepte waarden van 10 mg/l, en op 14 m diepte zelfs waarden van 20 mg/l gemeten. Hoewel het optreden van de hoge waarden in de diepte synchroon verliep met de aanwezigheid van de zoutstratificatie, lag de zone waar de sterke veranderingen langs de verticaal optraden (de "ammoniumcline") ondieper dan de "chlorideclines": in de periode mei-september 1974 liep het ammoniumgehalte tussen 9 en 10 m diepte op van ca. 0.4 tot 1 gr/l, terwijl de sterke wijzigingen in chlorideconcentratie 1-2 m dieper plaatsvonden.

Het isoplethenverloop van nitraat (Fig. 17) is moeilijk te beschrijven. De concentratie neemt bij de bodem over het algemeen sterk af en bereikt in de zomer de nulwaarde. De maximale waarden (meer dan 2 gr/l) worden op enige afstand onder de oppervlakte gemeten.

Het nitrietgehalte kan langs de gehele verticaal hoge waarden bereiken (Fig. 18). In de stratificatieperiode, dus gedurende de zomermaanden, worden de hoogste waarden tussen 9 en 12 m diepte aangetroffen, maar buiten deze periode lopen de isoplethen min of meer verticaal.

Over het algemeen neemt het orthofosfaatgehalte in de diepere lagen

toe (Fig. 19) en kan maxima van meer dan 8 mg/l bereiken. Vooral in de zomerperiode is een duidelijke fosfaatgradient aanwezig.

Het P-totaalgehalte (Fig. 20) vertoont gedurende de zomerstratificatie een zeer duidelijke gradient terwijl aan de oppervlakte het gehalte niet boven de 5 mg/l steeg was in september 1974 vlak boven de bodem een maximum van meer dan 25 mg/l aanwezig. In de winterperiode kunnen langs de gehele verticaal waarden van meer dan 10 mg/l voorkomen.

Hoewel de Kreek in november/december 1973 praktisch geheel homogeen van zoutgehalte en temperatuur was (Fig. 10 en 11) werd tussen de 13 en 15 m een duidelijke toename in chlorofylgehalte geconstateerd (Fig. 21). Het gradientverloop vertoonde in de loop van de daaropvolgende maanden een nogal grillig beeld. Aanvankelijk was het chlorophyl gehalte in de onderste meters vele malen hoger dan aan de oppervlakte, maar in april en mei 1974 trad een periode op waarbij de bodem een lagere concentratie dan de oppervlakte vertoonde. In juni en juli herstelde de oorspronkelijke toestand zich. Daarna daalde het chlorophylgehalte langs de gehele verticaal tot relatief lage waarden.

Ook het feofytinegehalte kan in de diepere lagen een sterke toename vertonen (Fig. 22). Evenals bij het chlorophylgehalte is het isoplethenverloop zeer grillig zonder permanent gecorreleerd te zijn met de perioden van zout of temperatuur stratificatie. Wel is duidelijk dat wanneer van een sterke toename langs de verticaal sprake is, dit optreedt in de zoutere onderlaag.

Het isoplethen verloop van silicium (Fig. 23) vertoont geen enkele correlatie met seizoenen of stratificatie. Zo was in november 1975 de concentratie aan de oppervlakte met ruim 35 mg/l maximaal, terwijl in 1974 gedurende dezelfde periode het gehalte langs de gehele verticaal ca. 10 mg/l bedroeg.

In Tabel VII zijn de chemische en granulaire gegevens van het sediment samengevat. De mediane diameter uitgedrukt als phi-waarde neemt langs raai A geleidelijk af, hetgeen betekent dat het sediment geleidelijk grover wordt. Wolff (1973) gebruikt voor de phi-klassen 1-2 en 2-3 de termen "medium sand" resp. "fine sand". De sortering d.i. de spreiding in korrelgrootteverdeling is op ondiepe plaatsen vrij klein, maar neemt met de diepte toe. (0.35-0.50: "well sorted"; 0.50-2.00 "less well sorted", Wolff, 1973).

### IV.3. Biologie

Fig. 2 bevat gegevens over de plaats waar oevervegetatie is aangetroffen. De dominante soort is riet (Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud). Tabel VIII vermeldt de diersoorten die tijdens onze bemonsteringen zijn aangetroffen. Ter vergelijking is aangegeven welke soorten door Heerebout (1970b; bemonstering uit de periode 1968-1969) werden gevonden. Tenslotte is opgenomen welke soorten door van Benthem Jutting (1946) en Bakker (1950) in het geïnundeerde Walcheren zijn waargenomen.

Het is duidelijk dat de sterke uitbreiding in aantal soorten bij onze controle niet veroorzaakt wordt door recente immigratie maar door een intensievere bemonstering. Zo is in het verleden in het geheel niet naar de entomofauna gekeken, terwijl wij minstens 8 soorten aantreffen.

Diverse duidelijk mariene soorten, die kort na de vorming van de Kreek werden aangetroffen, zoals Arenicola marina, Mytilus edulis, Cerastoderma edule, Balanus soorten, Crangon crangon, Pleuronectus flesus, P. platessa, e.a. werden door ons niet teruggevonden. Ook Heerebout (1970b) noemt nog enkele soorten die door ons niet zijn aangetroffen te weten Conopeum seurati, Diadumene cincta, Mya arenaria en Pleuronectus flesus.

In Tabel IX zijn de gespecificeerde gegevens van de bemonsteringen langs de oever en de hapmonsters langs raai A en B (zie Fig. 2) samengevat. Enkele soorten zijn zeer algemeen langs de oever van de kreek, en wel Electra crustulenta, Nereis diversicolor, Hydrobia spec., Corophium spec., Gammarus zaddachi, Neomysis integer, Palaemonetes varians en Potamoschistus microps. Geen van de meer algemene soorten is beperkt tot de Hoofdkreek, maar er zijn wel verscheidene soorten die juist in de Hoofdkreek ontbreken, zoals Idotea chelipes, Ischnura elegans, Sigara stagnalis en Callicorixa concinna. Enkele soorten zijn maar op 1 à 2 plaatsen gevangen. Ingeval van Anguilla anguilla (juv.) zal dit aan toeval zijn te wijten. Procladius choreus, Culicidae spec. en Sigara lateralis zijn beperkt tot station 8. Deze locatie is echter afwijkend omdat door instromend drainwater vanuit de sloot het zoutgehalte ter plaatse op de beide monsterdagen in april en september 1973 0.74 resp. 0.99<sup>o</sup>/oo Cl<sup>-</sup> bedroeg.

Verscheidene soorten werden tot op vrij grote diepte gevonden en wel Electra crustulenta en Gammarus zaddachi tot ca. 8 m Neomysis integer tot ca. 7 m, en Chironomus salinarius tot ca. 6 m diepte. Nereis diversicolor en Corophium spec. bereikten hun maximale diepte op ruim 4 m en Gammarus



duebeni op 3 m. Jaera spec., Palaemonetes varians en Sphaerma hookeri ten slotte reikten niet verder dan ruim 2 m. Bij de interpretatie van deze gegevens moet bedacht worden dat de kantmonsters op de stations 1-13 kwantitatief veel groter waren dan de hapmonsters op de raaien A en B. Afwezigheid in een hapmonster van een bepaalde diepte wil niet zeggen dat de betreffende soort op deze diepte volstrekt niet voor kan komen. Bovendien speelt de mobiliteit van diverse soorten een rol.

## V. Discussie

De morfometrie van de Kreek weerspiegelt nog steeds de onstaanswijze nl. een diepe doorbraak kom achter de zeedijk uitgeschuurd als een wiel en verder verdiept door zandwinning tijdens de afsluiting, terwijl het bekken meer naar het binnenland snel ondieper wordt. Tijdens de inundatieperiode liepen de getijstromen kennelijk langs de zuidoever.

Gedurende de periode 1945-1974 verontdiepte de diepe kom zich van circa 21,6 tot 16,7 m, i.c. 4,8 m. De preciese verontdieping is niet aan te geven omdat de waterstand van de Kreek ten tijde van de meting in 1945 niet is vermeld. De verontdieping kan voornamelijk worden toegeschreven aan afschuiving van sediment. Sedimentatie van organisch materiaal zal een rol gespeeld hebben maar is niet kwantitatief te schatten.

Een waarde van 1,89 voor de "shoreline development" ( $D_1$ ) illustreert de vrij regelmatige vorm van de Hoofdkreek. De waarde 3.05 voor de Middenkreek komt door de langgerekte vorm en door de aanwezigheid van enige uitstulpingen. De waarde 1.12 voor de "volume opbouw" ( $D_v$ ) van de Hoofdkreek is laag en komt door het grote aandeel van de relatief diepe en regelmatige kom.

De componenten van een waterbalans voor de Hoofdkreek zijn, behalve neerslag (N) en verdamping (V):

- a. aanvoer via kwel (K)
- b. (vermoedelijk geringe) aanvoer via de rioolwaterzuiveringsinstallatie en (periodiek) via de overstort van het rioleringsstelsel van Westkapelle (R) (alleen bij plotselinge hevige neerslag).
- c. afvoer via de overstort onder de Provinciale weg (A).

De balansvergelijking is  $N + K + R = A + V$ . Daar bij Vlissingen een verdam-

pingoverschot van ca. 60 mm bestaat (zie van der Sluijs et al., 1965) is het redelijk te veronderstellen dat een overeenkomstig verschil in neerslag en verdamping ook bij Westkapelle optreedt.

De waterafvoer bij de Provinciale Weg werd op 21 september 1977 bepaald op 785 l/min., hetgeen neerkomt op een verversingstijd van de Hoofdkreek van ca. 3,3 jaar. De afwatering ten tijde van bovenvermelde meting was echter aan de geringe kant (Peilschaal 28-N.A.P. tegen normaal ca. 25-N.A.P.). Voor een nauwkeurige bepaling van de verblijfstijd van het water in de Hoofdkreek zijn meer waarnemingen noodzakelijk. Het lijkt acceptabel de verblijfstijd voorlopig op 1 à 2 jaar te schatten.

De ligging van de chemocline vertoont een seizoensperiodiciteit (Fig. 10). Hiervoor zijn een tweetal oorzaken aan te wijzen en wel:

- a) een seizoensperiodiciteit in kwel. Deze mogelijkheid is onwaarschijnlijk, Zo er een periodiciteit op zou treden, dan zou maximale kwel juist in een periode met maximale neerslag (i.c. de winterperiode) zijn te verwachten (mond. meded. Ing. B. van der Weerd). Bovendien is de kans op hoge waterstanden langs de kust en dus op verhoogde kwelintensiteit in het winterseizoen hoger dan in de zomerperiode.
- b) een afbraak van de chemocline door turbulentie. In de zomerperiode is een thermostratificatie aanwezig, die als barriere voor een turbulentie in het hypolimnion en het monimolimnion fungeert. In de winter is deze barriere afwezig en kan de wind een turbulentie veroorzaken die het monimolimnion (i.c. de zoute onderlaag) aantast. Vanwege het geringe volume van het in circulatie gebrachte deel van het monimolimnion (ca. 6% van het totale volume van de kreek) en vanwege het neerslagoverschot in de winter is het in circulatie brengen van zouter dieptewater niet in een verhoging van de chlorideconcentratie zichtbaar.

Een seizoensperiodiciteit in de ligging van de halocline is beschreven voor het bulgaarse Lake Varna (Valkann, 1937, zie Remane, 1971). In dit meer stroomt zeewater binnen, dat in de zomer een hoge temperatuur heeft en dan op het iets zoutere water blijft drijven. In de winter wordt dit dieptewater door kouder zeewater verdrongen.

Voor een nadere analyse van deze kwelverschijnselen en de invloed op waterbalans en chloridegehalte zijn gedetailleerde metingen van kwelintensiteit en afvoer noodzakelijk. Dan kan tevens duidelijk worden of de nu plaatsvindende grondwateronttrekking in de omgeving van Westkapelle de kwel en afvoer van de kreek beïnvloedt.

De variaties in peil (Fig. 5) zullen voornamelijk veroorzaakt zijn door opwaaiing tijdens perioden met meer wind en door variaties in kwel waardoor er meer of minder stuwning bij de plaats van afvoer is opgetreden.

Wat betreft zoutgehalte behoort de Kreek tot het  $\alpha$ -mesohaliene type. De variaties zijn in vergelijking met ondiepere brakke binnenwateren in Zeeland zeer gering en we bezitten in deze kreek een voorbeeld van een constant brak milieu (zie de Munck, c.s., 1978). De geleidelijke daling in zoutgehalte voor 1966 is vermoedelijk het gevolg van een verzoetingsproces, dat is aangevangen in 1944 en bij ca.  $16,5^{\circ}/\text{oo Cl}'$  (kustwater) en in 1966 is gestabiliseerd bij ca.  $7,25^{\circ}/\text{oo Cl}'$ . Deze veronderstelling wordt gesteund door het feit dat bij een lineaire extrapolatie van de regressie tussen 1957 en 1966 het chloridegehalte in 1944 ongeveer  $14,7^{\circ}/\text{oo}$  heeft bedragen. Dit wijkt slechts weinig af van de veronderstelde  $16,5^{\circ}/\text{oo}$ . Een verklaring voor het verschil kan zijn dat er geen rechtlijnige, maar een zwak exponentiele afname in chloridegehalte heeft plaatsgevonden. Bij een exponentiele extrapolatie zal men in 1944 een iets hoger zoutgehalte meten.

De oorzaak voor de geleidelijke daling in zoutgehalte na 1974 is onbekend. Er is in ieder geval geen correlatie met civieltechnische of cultuurtechnische ingrepen in de omgeving (mond. meded. S.W. Postma, Waterschap Walcheren).

Het optreden van een zoutstratificatie is vrij kenmerkend voor de diepere binnenwateren in Zeeland. Een chemocline werd bijvoorbeeld geconstateerd in de Kreek bij Schelphoek (Heerebout, 1970a), Kreek bij Ouwkerk (ongepubl. gegevens, Delta Instituut) en de kreken bij Veere en Ritthem (Bogaards, Francke & Parma, 1978). De zoutstratificatie in de Kreek bij Westkapelle is in tegenstelling tot die in de Kreken bij Ritthem en Veere niet aan een vrij vaste diepte gebonden. Er is echter reden om aan te nemen dat beneden de 15 m isobaar, dus in het diepste deel van de kom van de Hoofdkreek, een permanente stratificatie blijft bestaan. Zo werd in januari 1978 op het punt van maximale diepte bij de bodem een verhoging in zoutgehalte, gepaard met een sterke  $\text{H}_2\text{S}$  geur, geconstateerd.

De aanwezigheid van een thermocline is normaal voor diepere waterbekkens (Ringelberg, 1976). De relatief ondiepe ligging van de spronglaag, in het begin van het zomerseizoen op 8 m.- zal samenhangen met de relatief

beschutte ligging van de kom achter de duinenrij en de dijk ten opzichte van de overheersende zuidwestelijke wind.

De frekvent optredende oververzadiging van zuurstof aan de oppervlakte en de vaak sterke gradient in de bovenste meters, gekoppeld aan thermogradienten, kunnen worden toegeschreven aan een hypertrofe toestand van het bekken. Ook de hoge orthofosfaat- en pigmentgetallen en de lage Secchiwaarden wijzen in deze richting. De fotische zone is vooral in het productie seizoen betrekkelijk ondiep en op enige meters onder de oppervlakte overheersen de mineralisatieprocessen. Hierdoor wordt het areaal van de plas waar organismen zich kunnen handhaven aanzienlijk ingekrompen. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat de belasting door de rioolwaterzuiveringsinstallatie van Westkapelle een oorzaak is van de hypertrofie, maar dit is, door ontbreken van gegevens omtrent waterafvoer en nutriëntengehalte niet te kwantificeren.

Uit Tabel VI blijkt dat er nogal wat verschillen zijn in fysisch-chemische omstandigheden tussen de drie kreekdelen. Dit zal samenhangen met het relatief sterkere effect van regenwaterinvoer in de Midden - en Kleine Kreek" en met het grote verschil in morfometrie. De tendens tot daling in chlorideconcentratie die wij in de kwartaaltochten constateerden is ook af te lezen uit de waarnemingen van het Waterschap Walcheren in Tabel V ("Hoofdkreek bij dorp" versus "Middenkreek bij Prov. weg"). De hogere waarden voor sedimentconcentratie en chemisch zuurstofverbruik en de lagere waarden voor de doorzichtigheid (Secchi) zullen veroorzaakt zijn door de grotere opwerveling van sediment in de veel ondiepere Midden - en Kleine Kreek .

Gemeten op één datum blijkt het oppervlaktewater van de Hoofdkreek een vrij uniform nutriëntengehalte te bezitten. Alleen op 2 augustus 1974 kwamen er tussen de verschillende stations nogal grote verschillen in gesuspendeerd P - en feofytinegehalte voor.

In Tabel IX zijn een aantal gegevens samengevat uit andere brakke waterbekkens, teneinde een vergelijking te kunnen maken met de Kreek bij Westkapelle (Bakker, 1974 en pers. meded; Vegter in voorbereiding en pers. meded; Nienhuis, 1977). De orthofosfaatgehalten van het oppervlaktewater van de Kreek zijn zeer hoog, al blijken toch ook andere kleinere binnenwateren aanzienlijke concentraties te kunnen bevatten. In de grote bekkens,

zoals Veerse Meer en Grevelingen zijn de gehalten aanzienlijk lager.

Van de stikstofcomponenten is vooral nitraat in een hoge concentratie in de Kreek aanwezig. Toch is in de zomer vaak het stikstofgehalte zeer laag. Fosfaat daarentegen blijft meestal boven de  $1 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$  waaruit te concluderen is, dat er in geval van nutriëntentekort eerder sprake zal zijn van stikstof- dan van fosfaatdeficiëntie. Deze veronderstelling is ook geuit ten aanzien van de brakke Grevelingen (Nienhuis, 1977).

Het chlorofylgehalte van de Kreek is, in vergelijking met andere diepere bekkens, zoals Schelphoek, Veerse Meer en Grevelingen, aan de zeer hoge kant. In ondiepe brakke plassen zijn echter aanzienlijk hogere waarden gevonden. In de Spuikom van Vianen bijvoorbeeld is het gemiddeld chlorofylgehalte een factor 5 hoger dan in de Kreek bij Westkapelle, maar zelfs een factor 35 hoger dan in de Grevelingen. Er is kennelijk een relatie tussen diepte van de plas en het chlorofylgehalte, wellicht doordat pigment van opgewerveld fyto benthos mee wordt geanalyseerd.

Het gemiddeld zuurstofgehalte van de Kreek lijkt vanuit waterkwaliteitsoogpunt een redelijke waarde te hebben, maar uit Fig. 8 blijkt deze factor zeer sterk te fluctueren. Dergelijke grote wisselingen ontbreken in de Grevelingen en het Veerse Meer.

Mur (1971) toonde aan dat de brakke Hondsbossche Vaart in samenstelling afwijkt van verdund zeewater. Het water uit dit kanaal bevat meer  $\text{K}^+$  en  $\text{Ca}^{++}$  en minder  $\text{Na}^+$  dan verdund zeewater zoals opgegeven door Schlieper (Remane & Schlieper, 1971). Een overeenkomstige conclusie kan gelden voor de Kreek bij Westkapelle en ook enige andere zeeuwse binnenwateren, hetgeen blijkt uit een vergelijking van deze wateren met de Oosterschelde (zie Tabel X). In de grotere stagnante bekkens zoals Grevelingen en Veerse Meer wijkt het Ca/Cl quotient slechts weinig af van Oosterscheldewater en ook van de door Schlieper opgegeven getallen voor zeewater (i.c.  $0.021$  bij  $17.35^\circ/\text{oo Cl}'$ ). In de kleinere geheel van de zee afgesloten binnenwateren worden (veel) hogere quotienten gevonden, hetgeen betekent dat het water relatief méér calcium bevat dan het Oosterscheldewater. Hetzelfde verschijnsel, hoewel minder uitgesproken, is te constateren ten aanzien van magnesium.

Het organisch C-gehalte van het sediment is met waarden van 2-4.4% zeer hoog (Tabel VII). In de slibrijke gedeelten van de Grevelingen komt de koolstofwaarde zelden boven de 0.5%, in zandige sedimenten zelfs niet

hoger dan 0,25% (Nienhuis, pers. meded.).

Het aantal publicaties dat direkt of zijdelings de biologie van de Kreek behandeld is zeer gering. Slechts Mörzner Bruijns (1953) gaat meer direct in op de ornithologische bijzonderheden van de Kreek. In andere publicaties wordt de Kreek genoemd als onderdeel van een uitgebreider onderzoek naar de verspreiding van bepaalde diergroepen zoals zeeanemonen (Braber & Borghouts, 1977), amphipoden (Den Hartog, 1963, 1964), bryozoën (Heerebout, 1970a), mollusken (Meijer, 1976; Koulman & Wolff, 1977).

De soortenrijkdom is niet groot. Typische mariene soorten, die door van Benthem Jutting (1946) en Bakker (1950) van het geïnundeerde Walcheren zijn vermeld zullen, zo zij al in de Kreek zijn voorgekomen na het beëindigen van de getijdewerking en de verlaging van het zoutgehalte snel zijn verdwenen (Balanus balanoides, B. crenatus, Carcinus maenas; Crangon crangon, Macropipus holsatus, Cardium edule, Asterias rubens).

Het euryhaline karakter van diverse soorten (Electra crustulenta, Nereis diversicolor, Hydrobia spec., Corophium spec., Gammarus zaddachi, G. duebeni, Neomysis integer, Palaemonetes varians, Orchestia gammarella, Sphaeromo hookeri, Chironomus halophilus en Ischnura elegans) komt tot uiting in de vondsten uit diverse stations bij ca. 6,5-7<sup>o</sup>/oo Cl' en uit station 8 waar ten tijde van de bemonstering een chloridegehalte van 0,7-1<sup>o</sup>/oo werd gemeten (zie IV.3.).

Diadumene cincta, vermeld door Heerebout (1970b), werd door ons niet gevonden. Volgens Braber & Borghouts (1977) is de soort afwezig in de binnenwateren met een chloridegehalte lager dan 8<sup>o</sup>/oo Cl'. Wellicht heeft D. cincta in de Kreek bij Westkapelle aan de rand van zijn verspreidingsmogelijkheden en is derhalve slechts in een zeer lage dichtheid aanwezig.

Gonothyrea (= Laomedea) loveni werd door ons in een enkel exemplaar aangetroffen vastgehecht op kolonies van Electra (zie ook Heerebout, 1970a). Deze soort is vrij algemeen in de zeeuwse brakke binnenwateren verspreid (Visscher, 1963).

Arenicola marina is door ons niet teruggevonden, al zal dat niet aan de afwezigheid van getij en het lage zoutgehalte (7-8<sup>o</sup>/oo Cl') zijn te wijten. De soort wordt immers in het Deltagebied onder getijloze omstandigheden frekwent aangetroffen (Grevelingen, Veerse Meer, Braakman-Westgeul).

In het Baltische gebied is *Arenicola* bij chloridegehalten tussen 4.1-7.7<sup>o</sup>/oo gevonden en ook in het Veerse Meer kan zij onder mesohaliene (9-11<sup>o</sup>/oo Cl') omstandigheden leven (Wolff, 1973).

*Nereis diversicolor* komt zeer veelvuldig voor in brakke binnenwateren (Wolff, 1973) en heeft een zeer ruime oecologische amplitude. In de Kreek bij Westkapelle is de soort niet lager dan 4-5 m aangetroffen, maar uit het estuariene gebied zijn vondsten van 18 m bekend. Wolff (1973) vermeldt een zekere preferentie van de soort voor fijnere sedimentfracties (mediane korrelgrootte 3,01-4,00 phi d.i. 62,5-125 µ). De phi-waarde in de Kreek is lager en neemt beneden de 5 m ook nog duidelijk af (Tabel VII). Wellicht is de verticale verspreiding van *N. diversicolor* in de Kreek beperkt door de granulaire sedimentsamenstelling.

Voor *Pygospio elegans* meldt Wolff (1973) dat de soort wél in binnenwateren aangetroffen maar nimmer bij chloridegehalten lager dan 10<sup>o</sup>/oo. Uit de vondst in de Kreek bij Westkapelle blijkt, dat in deze habitat zoutgehalten van 6.5-7<sup>o</sup>/oo worden verdragen, hetgeen in overeenstemming is met de waarnemingen uit estuarine vindplaatsen.

*Neomysis integer* en *Palaemonetes varians* behoren tot de meest algemene soorten in de Kreek hetgeen overeenstemt met zeer euryoeke verspreiding in het Deltagebied (zie Borghouts, 1978; Heerebout, 1974). Ook de isopoden *Idotea chelipes* en *Sphaeroma hookeri* zijn algemeen verspreid in zeeuwse binnenwateren. *Ligia oceanica* is tot nu toe slechts aangetroffen in enkele brakke wateren vlak achter de zeedijk (Delta Instituut, ongepubl. gegevens).

Het oudere materiaal van het genus *Jaera* (Heerebout, 1970b) is benoemd als *J. albifrons* Leach. Binnen deze soort zijn een aantal (sub)species onderscheiden (zie Prod'homme van Reine-de Jager, 1966; Huwae, 1977), waarvan *J. ischiosetosa* Forsman, in de Kreek bij Westkapelle blijkt voor te komen.

*Gammarus deubeni* en *G. zaddachi* zijn reeds door Den Hartog (1964) uit de Kreek vermeld. Beide soorten komen zeer algemeen in kreken, welen en inlagen voor. Opvallend is het verschil in verticale verspreiding (Tabel VIII). Terwijl *G. zaddachi* over het gehele bemonsterde traject (d.i. tot 8 m diepte) werd aangetroffen, was *G. duebeni* beneden 3 m afwezig. In het estuarine milieu zijn beide soorten beperkt tot de getijdzone (Den Hartog, 1964).

*Orchestia gammarellus* werd door Den Hartog (1963) gemeld uit de Kreek bij Westkapelle en is verreweg de meest algemene Talitridae soort uit

westelijk Deltagebied. Het gezamenlijk voorkomen van O. gammarellus en O. cavinana is vrij uitzonderlijk (Biersteker, 1961). Het verspreidingsgebied van O. cavinana is voornamelijk beperkt tot zoete en oligohaliene plaatsen. Den Hartog (1963) vind binnendijkse exemplaren slechts op enkele plaatsen, waarbij het maximale zoutgehalte  $2,8^{\circ}/\text{oo Cl}'$  bedroeg ("Groot Eiland", Luntershoek, Zeeuws-Vlaanderen). In de Kreek van Westkapelle werden de dieren gevonden op een plaats, waar op korte afstand een smalle duinstrook begint. Misschien is de oeverzone boven de waterlijn, i.c. de plaats waar de soort wordt gevonden, enigszins verzoet door afstromend oppervlaktewater van het duin.

De entomofauna is niet recent in de kreek verschenen maar bij vroegere bemonsteringen nooit verzameld. Slechts Wolff (1966b) vermeldt de aanwezigheid van de "duikerwantsen" in de Kreek.

De aanwezigheid van de chironomiden Chironomus halophilus, C. salinarius en Procladius choreus in Z.W. Nederland is gemeld door Parma & Krebs (1977). Het valt op dat C. salinarius niet op het "zoete" station 8 is aangetroffen hetgeen bevestigt dat deze soort een brakker traject bevolkt dan C. halophilus (ondergrens ca.  $3^{\circ}/\text{oo}$ ). C. salinarius komt op aanzienlijke grotere diepte voor (i.c. 6 m) dan C. halophilus.

Ischnura elegans is in het Deltagebied (Walcheren) gevonden door Kiauta (1965). De euryhaliniteit (tot ca.  $7^{\circ}/\text{oo Cl}'$ ) wordt gemeld door Rémane (1971) en bevestigd door ongepubliceerde gegevens uit het Delta Instituut. Zo is de soort ondermeer bekend van Kaaskenswater bij Zierikzee ( $8,80^{\circ}/\text{oo Cl}'$ ), de Kreek tussen Rilland en Bath ( $3-5^{\circ}/\text{oo Cl}'$ ) en de Westeindse Weel bij Borssele ( $1-2^{\circ}/\text{oo Cl}'$ ). Kiauta (1965) noemt de afwezigheid van I. elegans een goede biologische indicatie voor een sterke watervervuiling, maar hij vermeldt niet welke criteria voor watervervuiling worden gehanteerd.

De wantsen van Zeeland zijn bestudeerd door Nieser (1966) en Duffels (1962 en ongepubl. geg.). De meest algemene soort uit de Kreek bij Westkapelle, Sigara stagnalis, is een typische brakwatersoort (zie Claus 1937) en werd door Nieser (1966) tot  $5,25^{\circ}/\text{oo Cl}'$  gevangen. S. lateralis werd alleen op het zoete station 8 gevonden, maar staat bekend als een euryhaliene soort (Remane, 1971) die door Nieser (1966) bij  $4,84^{\circ}/\text{oo Cl}'$  werd aangetroffen. Callicorixa concinna, zou een voorkeur vertonen voor oligohaliene milieus (Nieser 1966), maar schuwt, gezien het voorkomen bij ca.  $5,7^{\circ}/\text{oo Cl}'$



in de Kreek bij Westkapelle het mesohalinicum zeker niet.

De Trichoptera larve Limnephilus behoort tot de soort affinis of incisus. L. affinis wordt vermeld uit brakke poeltjes in schorren (Hiley, 1976).

Identificatie van Hydrobia's is moeilijk en alleen mogelijk aan levend materiaal. Daarbij komt dat er ten aanzien van H. stagnorum ook taxonomische moeilijkheden voorlopig onder voorbehoud als H. cf. stagnorum benoemd. Meyer (1976) geeft een overzicht van de grote morfologische variabiliteit van H. stagnorum uit de Kreek bij Westkapelle. Hij vermeldt tevens een vondst van Potamopyrgus jenkinsi (Smith).

Mya arenaria is door ons in 1977 niet aangetroffen hoewel de soort elders in het Deltagebied in binnenwateren met een zoutgehalte groter dan 5<sup>o</sup>/oo Cl' is gevonden (Wolff, 1966a; Wolff, 1973; Heerebout 1970b). Mytilus edulis kwam tijdens de inundatie op Walcheren voor maar in de getijloze kreek niet achtergebleven. Getij is voor het voortbestaan van deze soort niet noodzakelijk, gezien het voorkomen in de stagnante Grevelingen en Veerse Meer, maar het zoutgehalte van de Kreek is vermoedelijk te laag (zie Wolff, 1973). Bovendien zijn voor Mya en Mytilus de zuurstofcondities zeer ongunstig.

Cerastoderma glaucum komt uitsluitend voor in stagnante brakke wateren. Koulman & Wolff (1977) geven 4-13<sup>o</sup>/oo Cl' als zouttolerante grenzen, zodat de Kreek van Westkapelle voor deze soort een gunstig milieu vormt.

Electra crustulenta is algemeen in allerlei zeeuwse binnenwateren en kan zeer uiteenlopende condities (zoutgehalte, temperatuur, diepte) weerstaan (Heerebout, 1970a). Het zeer algemeen voorkomen in de Kreek bij Westkapelle is conform de verwachting.

Conopeum seurati werd door ons niet teruggevonden. Jebram (1968) en Heerebout (1970a) noemen de soort typerend voor binnendijkse brakke plassen. Heerebout (1970a) stelt dat C. seurati voorkomt in binnenwateren waar minstens de helft van de tijd het zoutgehalte hoger is dan 5<sup>o</sup>/oo Cl'. De Kreek bij Westkapelle voldoet ruimschoots aan deze voorwaarde en de soort kan dus wat zoutgehalte betreft zeker nog aanwezig zijn.

Anguilla anguilla, Potamoschistus microps en Gasterosteus aculeatus zijn algemeen in brakwater. Pleuronectus flesus kwam, volgens een nota (nr. 895 dd. 25 september 1969) van de "Afdeling Sportvisserij en Beroepsbinnenvisserij" van de Directie van de Visserijen nog in augustus 1965 in

de Kreek bij Westkapelle voor. De nota, die handelt over een onderzoek naar de oorzaak van een massale vissterfte vermeldt dat tussen de dode aal "ook een grote bot gevangen (werd), die geheel gaaf was en niets abnormaals te zien gaf". De locale beroepsvisser, de heer J.J. Daalhuizen te Oost-Souburg deelde ons mee dat hij omstreeks 1952-1955 jonge bot "ter grootte van een gulden" in de Kreek heeft gevangen, hetgeen er op duidt dat de soort zich in dit binnenwater heeft voortgeplant. Daarna heeft zich dit verschijnsel niet herhaald. Voortplanting uit geïsoleerde nederlandse binnenwateren (zoals Grevelingen en Veerse Meer) is niet bekend (K.F. Vaas, mond. meded.). Indien er na de reproductie uit het begin van de vijftiger jaren geen nieuwe geslaagde eiafzetting heeft plaatsgevonden, dan kan de bot uit 1969 ca. 14-17 jaar oud zijn geweest, hetgeen overeenstemt met de opgaven van Ehrenbaum (1936, max. 16 jaar). Maar het is zelfs mogelijk dat de vangst uit 1969 een ingesloten exemplaar uit 1944 betrof, hetgeen de leeftijd zou brengen op minstens 25 jaar.

## VI. Beheer

Bij opmerkingen ten aanzien van het beheer dient voorop te staan, dat alle drie de kreekdelen in het bestemmingsplan "Buitengebied" van de gemeente Westkapelle de bestemming "Beschermd natuurgebied" bezitten. In de praktijk heeft de Hoofdkreek behalve een natuurwetenschappelijk, ook een recreatieve functie. De Kreek is een geliefkoosde plek voor hengelaars, terwijl het wandelpad langs de oever veelvuldig gebruikt wordt door zowel Westkappelaars als toeristen. Deze vorm van recreatief gebruik levert tot nu toe weinig gevaar op voor de natuurwetenschappelijke waarde van de Hoofdkreek.

Het beheer dient zich te richten op het vrije water en op de oeverzone. Afgaande op de soms lage zuurstofconcentraties en de zeer hoge fosfaatgetallen moet geconcludeerd worden dat de waterkwaliteit van de gehele Kreek slecht is. Deze zal verbeteren wanneer de lozing van afvalwater via de zuiveringsinstallatie gestopt wordt. De waterkwaliteit in de Midden- en Kleine Kreek wordt tevens bepaald door de invoer van polderwater en de afspoeling van het omringende akkerland. Bij naleven van de doelstelling van het zuiveringsplan "Walcheren", i.c. het creëren van ecologisch gezond oppervlaktewater, zal ook hierdoor de waterkwaliteit van de Kreek bij Westkapelle

verbeteren. Het gevolg zal zijn een verbetering van de zuurstofomstandigheden tot op grotere diepten. Men kan verwachten dat daardoor het areaal waar bodemdieren gedijen zal toenemen, waardoor ook de visstand gunstig zal worden beïnvloed.

De oeverzone langs de Hoofdkreek bestaat hoogstens uit een smalle rietzoom, welke weinig geschikt is als broedplaats voor vogels. Bovendien loopt langs de gehele Hoofdkreek het wandelpad vlak langs de waterkant slechts het schiereiland aan de N.O.-oever en de zijkreek in de Z.O.-hoek (zie Fig. 1) kunnen een natuurwetenschappelijke functie vervullen. Daartoe dient verstoring door recreanten voorkomen te worden en wel door belemmering van de toegankelijkheid.

De oeverlanden langs de Midden- en Kleine Kreek dragen op verscheidene plaatsen brede rietkragen, terwijl de toegankelijkheid door het ontbreken van paden en de aanwezigheid van bouwland veel moeilijker is. Hierdoor is de natuurwetenschappelijke functie optimaal. Rustverstoring dient te worden voorkomen. Bij de plannen tot polderpeilverlaging op Walcheren (zie het rapport "Walcheren waarheen?", van de Provinciale Directie voor de Bedrijfsontwikkeling in Zeeland) dient met de natuurwetenschappelijke waarde van de oeverzone in deze Kreekdelen rekening te worden gehouden.

#### VII. Dankbetuiging

Wij willen de volgende instanties en personen vermelden die op enigerlei wijze aan de totstandkoming van dit rapport hebben meegewerkt:

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| - Staatsbosbeheer te Goes          | - voor toestemming tot en medewerking aan het onderzoek                                |
| - Dhr. H.S. Zandstra               | - voor hulp bij de chemisch-fysische bemonstering                                      |
| - Het Waterschap Walcheren         | - voor de toestemming tot publicatie van de chloridegegevens uit de periode 1957-1975. |
| - Rijkswaterstaat Directie Zeeland | - voor de toestemming tot opname van Bijlage 1.  |
| - Drs. G.R. Heerebout              | - voor determinatie van de Bryozoa   |
| - Drs. F. Vegter                   | - voor toestemming tot publicatie van zijn gegevens uit 1971-1972.                     |

- H.J. Blok, Mevr. M.E. van den Boomgaard-Pekaar, A.A. Bolsius, J.A. van den Ende, Mej. M.L.P. van Esbroek, R.H.G. Kleingeld, B.P.M. Krebs, J.M. van Liere, A.G.A. Merks, J. Nieuwenhuize, J.J. Sinke, A.G. Vlasblom en J.O. van de Zande - voor hulp bij de chemische bepalingen, bemonsteringen, statistische berekeningen, fotografie, tekenen, typen en drukken.
- mevr. C.H. Borghouts - Biersteker - voor het kritisch doorlezen van het verslag.

#### VIII. Samenvatting - Summary

Dit rapport bevat een morfometrische, fysisch-chemische en biologische beschrijving van de Kreek bij Westkapelle. De Kreek ontstond in 1944 na een bombardement van de zeedijk en bestaat uit een "Hoofdkreek" (23 ha, max. diepte 16,7 m) een "Middenkreek" (10 ha., max. diepte 2,9 m) en een "Kleine Kreek" (0,8 ha., max. diepte 1,7 m). De Hoofdkreek wordt gevoed door regenwater en kwelwater, en het effluent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie. Zij watert via een overstort af op de Middenkreek. De Middenkreek ontvangt bovendien drainwater uit instromende poldersloten. De verblijfstijd van het water in de Hoofdkreek wordt geschat op 1 jaar.

Het chloridegehalte van het oppervlaktewater van de Hoofdkreek is in de loop der jaren gezakt van ca. 16,5<sup>0</sup>/oo tot ca. 6,3<sup>0</sup>/oo, maar de jaarlijkse fluctuaties zijn erg gering. Door het optreden van zoute kwel treedt er een chemocline op, die in het zomerseizoen tot ca. 11 m diepte kan stijgen, maar in de winter tot beneden de 15 m diepte zakt. Bovendien is in de zomer een thermocline aanwezig. Deze spronglagen hebben een duidelijke invloed op de zuurstofhuishouding. Onder de thermocline treedt een drastische daling in O<sub>2</sub> concentratie op. Onder de chemocline is het water anaeroob en vormt zich H<sub>2</sub>S. Het ammonium en de fosforconcentraties zijn onder de chemocline sterk verhoogd.

Het nutriëntengehalte van de Hoofdkreek is hoog. Het orthofosfaatgehalte van het oppervlaktewater zakt zelden beneden de 1 mg/l, het nitraatgehalte kan in de zomer de nul naderen, maar heeft in de winter een maximum van meer dan 2 mg/l. Zo er nutriëntentekort optreedt dan zal in

dit bekken sprake zijn van stikstofbeperking. Ook in vergelijking met andere, diepe stagnante brakwaterbekkens is het nutriënten- en ook het pigmentgehalte uitzonderlijk hoog.

Het calciumgehalte van de Kreek is vrij stabiel (gemiddeld 285 mg/l). Uit vergelijking van het Ca/Cl quotiënt van de Kreek met dat van het mariene Oosterscheldewater blijkt de calciumconcentratie in binnenwateren relatief verhoogd te zijn.

De Kreek is bevolkt met een typische brakwaterfauna. Verscheidene mariene soorten die vlak na het ontstaan van de Kreek zijn aangetroffen ontbreken nu (Balanus soorten, Carcinus maenas, Cardium edule, Asterias rubens e.a.).

Tijdens onze biologische bemonsteringen zijn ca. 30 macrofauna-soorten gevonden. Zeer algemeen zijn thans Electra crustulenta, Nereis diversicolor, Hydrobia spec., Corophium spec. Gammarus zaddachi, Neomysis integer, Orchestia gammarella, Palaemonetes varians, Sphaeroma hookeri, Chironomus salinarius en Potamoschistus microps.

Uitzonderlijk is het gecombineerd voorkomen van Orchestia cavinana en O. gammarellus en de melding dat bot zich in dit stagnante, van de zee afgesloten bekken zou hebben voortgeplant.

This report contains a morphometrical, physico-chemical and biological description of the "Kreek bij Westkapelle (= "Creek near Westkapelle"). The Creek was formed in 1944 by a bombardment causing a hudge gap in the sea-wall. It is divided by roads in a main part (23 ha., max. depth 16,7 m), a middle part (10 ha., max. depth 2,9 m) and a small part (0,8 ha., max. depth 1,7 m). The "Main Creek" is fed by rainwater, seepagewater and by the effluent of a mechanical sewage plant. It drains its water on the "Middle Creek" by means of a weir. Moreover the "Middle Creek" receives water via polderditches. The retention time of the water in the "Main Creek" is estimated on appr. 1 year.

During the years the chloride content of the surfacewater of the "Main Creek" reduced from appr. 16.5<sup>o</sup>/oo till 6.3<sup>o</sup>/oo. However, the yearly fluctuations are very small.

Because of saline seepage a chemocline is present, which raises till appr. 11 m depth in summer. During the winterseason this clone drops underneath the 15 m isobath. During the summerseason also a thermocline is present.

These stratification phenomena have a clear impact on the oxygenbudget. Below the thermocline the oxygen concentration drops drastically, below the chemocline the water is anaerobic and contains H<sub>2</sub>S. The ammonium- and phosphate concentrations below the thermocline raise sharply.

The nutrient content of the "Main Creek" is high. Orthophosphate concentrations of the surface water hardly ever drop below 1 mg/l. The nitrate concentration approaches the zero level in summer, but has a maximum of over 2 mg/l in winter. In case of a nutrientdeficiency nitrogen and not phosphor will be the minimum factor. Also in comparison with other deep stagnant brackish water basins in SW-Netherlands the nutrient- and pigment concentrations are extremely high.

The calciumcontent of the Creek is rather stable (mean of 285 mg/l). Comparing the Ca/Cl ratio of the Creek with that of the marine Eastern Scheldt the stagnant inland brackish waters are relatively rich in calcium.

The Creek has a typical brackish water fauna. Several marine species still present shortly after the formation of the Creek, are now lacking (e.g. Balanus species, Carcinus maenas, Cardium edule, Asterias rubens). We found appr. 30 macrofauna species. Very common are Electra crustulenta, Nereis diversicolor, Hydrobia spec., Corophium spec., Gammarus zaddachi, Neomysis integer, Orchestia gammarella, Palaemonetes varians, Sphaeroma hookeri, Chironomus salinarius and Potamoschistus microps.

The presence mutual existence of Orchestia cavimana and O. gammarellus and the presumed reproduction of flounder (Pleuronectus flesus) in this isolated basin, are rather exceptional.

#### IX. Literatuur

- Bakker, C. & N. de Pauw, 1974. Comparison of brackish water plankton assemblages of identical salinity ranges in an estuarine tidal (Westerschelde) and stagnant (Lake Veere) environment (S.W. Netherlands) I. Phytoplankton - Hydrobiol. Bull. A'dam 8: 179-189.
- Bakker, D., 1950. De inundaties gedurende 1944-1945 en hun gevolgen voor de landbouw. V. De flora en fauna van Walcheren en andere inundatiegebieden tijdens en na de inundatie. Versl. Landbouwkundig Onderz., 56: 1-40.

- Bentham Jutting, W.S.S., van 1946. Marine organisms in the island of Walcheren (Netherlands) during the inundation. October 1944-October 1945. *Archief Zeeuwsch Genootschap der Wetenschappen 1944-1945*: 1-7.
- Bogaards, R.H., J.W. Francke & S. Parma, 1978. Meromixis in the Netherlands. Annual Report 1977, Delta Institute for Hydrobiological Research (in druk).
- Biersteker, C.H., 1961. Onderzoek naar de oecologie van *Orchestia*'s in het Deltagebied. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek. *Studentenverslagen D1-1961*.
- Borghouts, C.H., 1978. Population structure and life cycle of *Neomysis integer* (Leach) (Crustacea, Mysidacea) in two types of inland waters *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 20(in druk).
- Braber, L. & C.H. Borghouts, 1977. Distribution and ecology of Anthozoa in the estuarine region of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. *Hydrobiologia* 52: 15-21.
- Butot, L.J.M., 1978. Het natuurbehoud en typelocaliteiten. *Correspondentieblad van de Malacologische Vereniging*. No. 181: 754-758.
- Claus, A., 1937. Vergleichend-physiologische Untersuchungen zur Ökologie der Wasserwanzen mit besonderer Berücksichtigung der Brackwasserwanze *Sigara lugubris* Fieb. *Zool. Jb. Physiol.* 58: 356-432.
- Duffels, J.P., 1962. Vondsten van *Sigara selecta* (Fieb.) (Ilem. Het.) in Nederland. *Entomol. Ber. (Amst.)* 22: 59.
- Ehrenbaum, E., 1936. *Naturgeschichte und wirtschaftliche Bedeutung der Seefischer Nordeuropas*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 337 pp.
- Hartog, C. den, 1963. The amphipods of the Deltaic region of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt in relation to the hydrography of the area. Part II. The Talitridae. *Neth. J. Sea Res.* 2: 40-67.
- Hartog, C. den, 1964. The amphipods of the Deltaic region of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt in relation to the hydrography of the area. Part III. The Gammaridae. *Neth. J. Sea Res.* 2: 407-457.

- Heerebout, G.R., 1970a. Verspreidingsoecologie van de Bryozoa in het Deltagebied speciaal in relatie tot het brakke water. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek. Studentenverslagen D1-1970.
- Heerebout, G.R., 1970b. A classification system for isolated brackish inland waters, based on median chlorinity fluctuation. Neth. J. Sea Res. 4: 494-503.
- Heerebout, G.R., 1974. Distribution and ecology of the Decapoda Natantia of the estuarine region of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. Neth. J. Sea Res. 8: 73-93.
- Hiley, P.D., 1976. The identification of british limnephilid larvae (Trichoptera). Systematic Entomology 1: 147-167.
- Hutchinson, G.E., 1957. A treatise on limnology. I. New York. John Wiley & Sons., 1015 pp.
- Huwae, P.H.M., 1977. De Isopoda van de Nederlandse kust. Wetensch. Meded. Kon. Ned. Natuurhist. Veren. no. 118, 1-24
- Jebam, D., 1968. Zur Bryozoen-Fauna der Niederlande. Neth. J. Sea Res. 4: 86-94.
- Koulman, J.G. & W.J. Wolff, 1977. The Mollusca of the estuarine region of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt in relation to the hydrography of the area. V. The Cardiidae. Basteria 41: 21-32.
- Merks, A.G.A., 1975. Analysemethoden voor water. Interne voorschriften, Scheikundig Laboratorium Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke.
- Meijer, T., 1976. Verslag van de excursie naar Walcheren op 11 april 1976. Correspondentieblad van de Nederlandse Malacologische Vereniging No.171: 555-557.
- Mörzer Bruyns, M.F., 1953. De Kreek bij Westkapelle. De Wandelaar in Weer en Wind 21: 175-176.
- Munck, W., A.J.J. Sandee, J.M. Verschuure & L. de Wolf, 1978. Chloridegehalte, peilvarite en zuurgraad in een aantal binnenwateren in het Deltagebied gedurende de periode 1968-1975. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke. Rapporten en Verslagen 1978-8.



- Mur, L.R., 1971. Scenedesmus in brak water. Thesis, Amsterdam, 168 pp.
- Newell, B.S., 1967. The determination of ammonia in water. Journ. mar. biol. Ass. U.K. 47: 217-280.
- Nienhuis, P.H., 1977. Veranderingen in de primaire produktie in de Grevelingen na de afdamming in 1971. Vakblad voor Biologen 57: 271-274.
- Nieser, N., 1966. Waterwantsen van Walcheren en Zuid-Beveland. Zeepaard 26: 63-84.
- Nieuwenhuize, J., 1975. Analysemethoden voor grond en gewas. Interne voorschriften, Bodemkundig Laboratorium, Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke,
- Nieuwenhuize, J., J.M. van Liere & M.L.P. van Esbroek, 1978. De bepaling van partikulaire organische koolstof door middel van de Coleman C-H analyzer. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke. Rapporten en Verslagen, 1978-5.
- Parma, S. & B.P.M. Krebs, 1977. The distribution of chironomid larvae in relation to chloride concentration in a brackish water region of the Netherlands. Hydrobiologia 52: 117-126.
- Provinciale Waterstaat in Zeeland, 1977. Verslag onderzoek kwaliteit oppervlaktewater in Zeeland, 1975/76. Middelburg 11 p. 3 bijlagen.
- Prud'homme van Reine-de Jager, H., 1966. The distribution of the subspecies of Jaera albifrons Leach (Crustacea, Isopoda, Asellota) in the Netherlands. Beaufortia 14(164)1-3.
- Remane, A. & C. Schlieper, 1971. Biology of brackish water. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Die Binnengewässer 25: 372 pp.
- Ringelberg, J., 1976. Aquatische oecologie in het bijzonder van het zoete water. Utrecht, Bohn, Scheltema & Holkema, 240 p.
- Sluys, P. van der, G.G.L. Steur & I. Ovaa, 1965. De bodem van Zeeland. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering, 80 p.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons, 1968. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada 167: 311 pp.
- Vaas, K.F., 1961. De taak en het arbeidsveld van de afdeling Delta Onderzoek van het Hydrobiologisch Instituut te Yerseke. Vakblad voor Biologen 41: 1-8.

- Vegter, F. Hydrochemie van enkele binnenwateren in het Deltagebied (1971-1972). Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Rapporten en Verslagen. In voorbereiding.
- Visscher, H.R., 1963. De Hydroiden in het Deltagebied. Zomer en najaar 1962, voorjaar 1963. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek. Studentenverslagen D2-1963.
- Welch, P.S., 1948. Limnological methods. New York etc. Mc.Grawhill, 381 pp.
- Wilderom, M.H., 1968. Tussen afsluitdammen en deltadijken III. Midden Zeeland. Vlissingen, M.H. Wilderom, 447 p.
- Wolff, W.J., 1966a. Meerkoeten en strandgapers. De Levende Natuur 69: 217-220.
- Wolff, W.J., 1966b. Enige brakke binnenwateren van Walcheren en Zuid-Beveland. Zeepaard 26: 85-88.
- Wolff, W.J., 1973. The estuary as a habitat. Zool. Verh., Leiden, 126: 1-242.

Tabel I. Oppervlakte en volume op verschillende diepten van de "Hoofdkreek".

diepte in meters	oppervlakte		volume	
	in m <sup>2</sup>	% van totale oppervlakte	in m <sup>3</sup>	% van totale volume
0	229.722	100.0	1.370.982	100.0
1	177.604	77.3	1.167.877	85.2
2	157.577	68.6	1.000.386	73.0
3	135.947	59.2	853.757	62.3
4	116.867	50.9	727.470	53.1
5	99.537	43.3	619.384	45.2
6	93.481	40.7	522.890	38.0
7	88.093	38.3	432.116	31.5
8	82.788	36.0	346.690	25.3
9	74.312	32.3	268.178	19.6
10	67.957	29.6	197.067	14.4
11	57.833	25.2	134.240	9.8
12	47.490	20.7	81.663	6.0
13	33.673	14.7	41.280	3.0
14	13.869	6.0	18.229	1.3
15	8.354	3.6	7.233	0.5
16	6.168	2.7	0	0

Tabel II. Oppervlakte en volume op verschillende diepten van de "Middenkreek".

diepte in meters	oppervlakte		volume	
	in m <sup>2</sup>	% van totale oppervlakte	in m <sup>3</sup>	% van totale volume
0	101.448	100.0	135.308	100.0
1	63.638	62.7	53.496	39.5
2	43.960	43.3	0	0

Tabel III. Oppervlakte en volume op verschillende diepten van de "Kleine Kreek".

diepte in meters	oppervlakte		volume	
	in m <sup>2</sup>	% van totale oppervlakte	in m <sup>3</sup>	% van totale volume
0	7.569	100.0	6.186	100.0
1	4.898	64.7	0	0

Tabel IV. Morphometrische gegevens van de drie kreekdelen. Symbolen uit Hutchinson (1957)

		Hoofdkreek	Middenkreek	Kleine Kreek
oppervlakte	A	229.700 m <sup>2</sup>	101.400 m <sup>2</sup>	7.570 m <sup>2</sup>
lengte	l	1.140 m	1.170 m	175 m
maximum breedte	b	455 m	180 m	55 m
maximum diepte	Z <sub>m</sub>	16.7 m	2.9 m	1.7 m
gemidd. breedte	b <sub>x</sub>	201 m	85 m	43 m
gemidd. diepte	Z	6.0 m	1.3 m	0.8 m
diepte cryf	Z <sub>c</sub>	17.0 m	4.0 m	3.2 m
lengte oeverlijn	L	3.220 m	3.440 m	440 m
verloop oeverlijn	D <sub>l</sub>	1.89	3.05	1.43
volume	V	1.371.000 m <sup>3</sup>	135.300 m <sup>3</sup>	6.190 m <sup>3</sup>
volume opbouw	D <sub>v</sub>	1.12	2.0	2.45
waterstand tijdens metingen		25 cm - N.A.P.	105 cm - N.A.P.	145 cm - N.A.P.

Tabel V. Jaargemiddelden van het chloridegehalte in oppervlaktewater.

Waarnemingen Delta Instituut			waarnemingen Waterschap Walcheren		
Hoofdkreek bij Prov. Weg			gemidd. ‰ Cl <sup>1</sup>		
jaar	aantal monsters	gemidd. ‰ Cl <sup>1</sup>	aantal monsters	Hoofdkreek bij dorp	Middenkreek bij Prov. Weg
1957	-	-	12	10.11	9.74
1958	-	-	11	9.94	8.66
1959	-	-	11	9.53	9.71
1960	-	-	12	9.84	9.47
1961	11	9.07	12	8.95	8.59
1962	12	8.85	11	8.38	8.83
1963	9	8.10	9	8.01	7.98
1964	12	7.95	12	7.93	8.03
1965	11	7.63	12	7.57	6.76
1966	11	7.13	12	7.19	7.06
1967	11	7.26	12	7.13	7.09
1968	13	7.46	12	7.23	7.37
1969	11	7.15	12	7.05	6.76
1970	13	7.16	12	7.22	7.16
1971	11	7.12	12	7.08	7.16
1972	12	7.83	12	7.42	7.73
1973	12	7.31	12	7.37	7.41
1974	13	7.20	11	7.31	7.06
1975	12	6.76	9	6.67	6.56
1976	4	6.74	12	6.39	6.40
1977	4	6.61	12	6.31	6.13

Tabel VI. Fysisch-chemische bijzonderheden van oppervlaktewater op een 7-tal stations (zie voor de situering van de stations Fig.3, a-g). Fosfor- en stikstof fracties uitgedrukt in P en N.

tijd uur	Secchi in cm	pH	zwaartstof mg/l	Sedi- Chlo- Feofy- ment			Cl' °/oo	Si mg/l	Ca mg	P-verbindingen mg/l				N-verbind. mg/l								
				mg/l	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l				
24 januari 1974																						
a	11.20	5.8	85	7.98	8.6	77.1	11.8	10.6	20.3	7.98	12.8	269	486	9.82	7.25	3.86	0.28	3.39	0.41	0.15	0.75	-
b	11.10	5.8	90	7.99	10.6	94.1	12.5	10.8	14.0	7.99	12.0	268	485	9.19	7.63	3.79	0.21	3.84	0.61	0.20	0.44	-
c	10.20	5.8	90	7.98	9.6	86.2	9.7	-	-	7.98	14.0	263	493	9.41	7.66	3.93	0.13	3.74	0.62	0.20	0.96	-
d	10.10	5.8	-	7.98	9.6	85.3	9.1	10.4	17.1	7.98	13.7	266	493	8.63	7.66	3.78	0.19	3.89	0.41	0.19	1.08	-
e	10.05	5.8	110	7.96	9.7	86.9	11.8	12.4	16.1	7.96	13.6	264	492	9.78	7.63	3.79	0.18	3.83	0.52	0.19	1.05	-
f	12.00	6.3	65	8.21	10.9	97.9	17.2	14.1	6.54	15.4	261	450	6.66	5.84	3.26	0.13	2.58	0.25	0.19	1.27	-	
g	12.20	6.3	-	8.22	11.1	99.1	18.9	18.9	5.88	11.6	260	408	5.88	5.73	2.80	0.14	2.93	0.29	0.16	0.49	-	
23 april 1974																						
a	9.45	11.2	-	8.68	12.9	131.5	17.8	84	40	7.22	1.15	269	500	4.45	3.81	2.17	0.40	1.65	0.07	0.00	1.54	81
b	10.05	10.8	50	8.70	12.5	125.8	15.2	79	31	7.14	1.19	269	505	4.58	4.02	2.15	0.33	1.87	0.24	0.01	1.26	40
c	10.10	10.9	50	8.70	12.9	130.7	19.1	77	39	7.16	1.15	263	507	4.22	4.11	2.09	0.36	2.02	0.03	0.00	0.99	96
d	11.00	11.2	40	8.70	13.1	132.9	21.6	93	41	7.22	1.21	258	501	4.15	3.66	2.03	0.38	1.63	0.04	0.10	0.73	72
e	11.25	11.7	35	8.71	13.8	141.9	31.2	97	58	7.18	1.21	253	484	4.11	3.70	2.05	0.40	1.65	0.03	0.01	0.53	57
f	12.00	12.4	25	8.79	11.1	115.5	45.8	67	47	7.29	1.17	263	507	3.05	2.94	1.67	0.19	1.27	0.03	0.00	0.09	82
g	12.10	13.2	25	8.79	12.0	125.9	34.6	73	29	6.56	1.11	257	467	2.86	2.70	1.49	0.23	1.21	0.03	0.01	0.05	90
2 augustus 1974																						
a	-	18.6	-	-	8.1	96.4	11.5	14.8	17.1	7.35	7.16	268	503	3.26	3.09	2.79	5.36	0.30	0.10	0.56	0.00	151
b	-	18.8	-	-	9.5	113.5	11.0	0	45.2	7.41	6.32	263	500	3.33	2.72	2.86	6.14	-	0.11	0.62	0.00	141
c	10.00	18.7	50	-	10.0	118.4	12.0	18.9	18.2	7.33	8.08	268	500	3.00	2.92	2.86	9.90	0.07	0.08	0.58	0.05	104
d	-	19.0	-	-	10.3	123.1	20.2	13.8	13.1	7.32	9.79	268	504	2.94	3.09	2.86	7.24	0.22	0.03	0.49	0.00	159
e	-	19.6	-	-	12.2	147.6	25.3	3.9	5.8	7.33	10.53	269	504	3.16	3.09	2.88	8.50	0.21	0.03	0.36	0.02	129
f	13.30	20.3	25	-	11.1	137.0	41.2	1.8	1.2	8.11	11.52	303	547	3.59	3.48	3.26	2.94	0.22	0.04	0.08	0.00	183
g	14.00	21.3	-	-	11.2	140.5	40.9	3.4	2.3	7.69	12.49	290	533	3.81	3.35	3.28	1.98	0.07	0.07	0.06	0.00	178
4 november 1974																						
a	11.45	8.2	-	8.02	8.7	82.3	8.0	17.0	0.8	6.76	1.36	247	468	-	-	7.43	-	-	0.10	0.34	1.41	55
b	11.30	8.2	110	8.01	8.4	78.6	13.0	17.9	6.3	6.76	1.36	245	473	-	-	7.43	-	-	0.40	0.35	1.52	41
c	10.50	8.0	100	8.03	8.6	81.0	7.4	19.3	1.7	6.74	1.35	244	493	-	-	7.43	-	-	0.20	0.33	1.56	56
d	10.30	7.9	120	8.01	8.0	79.1	7.0	11.3	0.6	6.74	1.38	244	488	-	-	7.57	-	-	0.07	0.21	1.02	55
e	10.25	7.9	125	7.98	7.7	72.2	11.1	6.8	0.3	6.71	1.38	247	501	-	-	7.39	-	-	0.08	0.26	1.24	49
f	14.30	8.4	-	7.90	5.7	53.7	17.0	18.0	3.4	5.94	1.53	237	418	-	-	5.54	-	-	0.33	0.36	1.63	40
g	14.35	7.7	-	8.00	9.2	82.9	14.3	15.2	4.9	3.79	1.46	194	-	-	-	3.57	-	-	0.21	0.21	3.05	88

Tabel VII. Granulaire en chemische samenstelling van sediment langs een tweetal raaien (zie Fig. 3).  
 Monsters van 13-9-1977.

Raai	diepte in cm	mediane korrelgrootte phi-getal	sortering phi-getal	organisch C %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100 gr.	N-totaal %
A	70	2.58	0.63	0.84	49	0.10
	110	2.36	0.59	1.13	63	0.13
	220	2.20	0.56	0.92	59	0.11
	300	2.10	0.65	1.54	75	0.16
	420	2.10	0.65	1.57	53	0.15
	520	2.10	0.84	2.02	49	0.19
	570	1.94	0.48	0.80	30	0.07
	700	1.91	0.71	1.40	30	0.13
	790	1.95	0.89	1.66	35	0.15
	B	100	2.19	1.40	2.17	62
200		-	-	4.44	35	0.36



Tabel VIII. Lijst van diersoorten gevonden door diverse auteurs

		van Benthem Jutting (1946) en Bakker (1950)	Heerebout 1970b	eigen waarneming (dit rapport)	
Coelelenterata	<i>Diadumene cincta</i> Steph.		x		
	<i>Gonothyrea loveni</i> (Allman)		x	x	
Annelida	<i>Arenicola marina</i> (L.)	x			
	<i>Nereis diversicolor</i> (O.F. Müller)		x	x	
	<i>Pygospio elegans</i> Clap.			x	
	<i>Oligochaeta</i> spec.			x	
Crustacea	<i>Balanus crenatus</i> Brug	x			
	<i>B. balanoides</i> L.	x			
	<i>Neomysis integer</i> Leach	x	x	x	
	<i>Idotea chelipes</i> (Pallas)		x	x	
	<i>Jaera albifrons</i> Leach		x		
	<i>J. ischiosetosa</i> Forsman			x	
	<i>J. spec.</i> ♀♀			x	
	<i>Ligia oceanica</i> L.			x	
	<i>Sphaeroma hookeri</i> Leach		x	x	
	<i>Corophium</i> spec.	x		x	
	<i>Gammarus duebeni</i> Lillj		x	x	
	<i>G. zaddachi</i> Sexton		x	x	
	<i>Orchestia cavimana</i> (Heller)			x	
	<i>O. gammarellus</i> (Pallas)			x	
	<i>O. spec.</i> ♀♀			x	
	<i>Crangon crangon</i> (L)	x			
	<i>Palaemonetes varians</i> (Leach)	x	x	x	
	<i>Carcinus maenas</i> (L.)	x			
	<i>Macropipus holsatus</i> (Fabr.)	x			
	Insecta	<i>Ischnura elegans</i> (v.d.L.)			x
<i>Callicorixa concinna</i> (Fieber)				x	
<i>Sigara stagnalis</i> (Leach)				x	
<i>S. lateralis</i> (Leach)				x	
<i>Limnephilus affinis</i> Curtis of <i>L. incisus</i> Curtis				x	
Culicidae				x	
<i>Chironomus halophilus</i> (Kieff.)				x	
<i>C. salinarius</i> (Kieff.)				x	
<i>Procladius choreus</i> (Meig).				x	
Mollusca		<i>Hydrobia stagnorum</i> (Gmelin)		x	
		<i>H. cf. stagnorum</i> (Gmelin)	x		x
	<i>Cardium edule</i> L.				
	<i>Cerastoderma glaucum</i> Brug.	x	x	x	
	<i>Mya arenaria</i> L.	x	x		
	<i>Mytilus edulis</i> L.	x			
Echinodermata	<i>Asterias rubens</i> L	x			
Bryozoa	<i>Conopeum seurati</i> (Canu)		x		
	<i>Electra crustulenta</i> (Pallas)	x	x	x	
Chordata	<i>Anguilla anguilla</i> (L)	x		x	
	<i>Gasterosteus aculeatus</i> L.	x		x	
	<i>Pleuronectes flesus</i> L.	x	x		
	<i>P. platessa</i> L.	x			
	<i>Potamoschistus microps</i> Krøyer		x	x	



Tabel X. Gemiddelden van een aantal abiotische factoren uit diverse Zeeuwse waterbekkens (n = 9-13). De gegevens van Grote Gat, Spuiikom Vianen, Schelphoek en Terluchtse Weel zijn ontleend aan Vegter (in voorbereiding).

De gegevens van het Veerse Meer, Grevelingen en Oosterschelde zijn ter beschikking gesteld door resp.

Drs. C. Bakker en Drs. F. Vegter. De gemiddelden van de Oosterschelde hebben betrekking op diverse stations en in totaal 40 waarnemingen.

jaar	Cl <sup>o</sup> /∞	P-PO <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	N-NO <sub>3</sub> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	O <sub>2</sub> mg/l	O <sub>2</sub> verz.%	E/l chlorofyl	Ca <sup>++</sup> /Cl <sup>o</sup>	Mg <sup>++</sup> /Cl <sup>o</sup>	
Kreek Westkapelle	1971	7.09	1.750	0.23	0.13	1.07	285	523	11.3	119	188	0.040	0.074
Grote Gat	1971	2.20	1.079	0.31	0.10	0.79	179	174	9.0	81	568	0.090	0.079
Oostburg (Z.Vl).	1971	12.80	0.529	0.72	0.05	0.04	565	909	12.5	146	1046	0.044	0.071
Spuiikom Vianen bij Ouwerkerk (Sch.)	1969	13.42	1.360	0.86	0.26	0.34	462	898	-	111	17	0.034	0.067
Schelphoek bij Serooskerke (Sch.)	1971	9.24	0.725	0.30	0.06	0.11	-	-	9.8	10	465	-	-
Terluchtse Weel bij 's Heer Arendskerke	1971	11.55	0.476	0.11	0.08	0.22	289	790	9.9	106	60	0.025	0.068
Veerse Meer bij Caisson	1972	16.55	0.195	0.13	0.04	0.03	363	1063	9.7	106	30	0.022	0.064
Grevelingen station G10	1971	17.10	-	-	-	-	367	1155	-	-	-	0.021	0.068

Onderschriften figuren

- Fig. 1: De situering van de "Kreek bij Westkapelle".
- Fig. 2: Overzicht van begroeiing van de oevers en van de monsterpunten.
- Fig. 3: Overzicht van de raaien (getrokken lijnen), waarlangs dieptemetingen zijn verricht.
- A : punt van maximale diepte ( $Z_m$ )
- B-C : lengte (l)
- D-E : maximale breedte(b) (zie de tekst).
- Fig. 4: De relatie tussen diepte en oppervlakte(A) resp. volume(B) van de "Hoofdkreek".
- Fig. 5: Waterstandsvariatië in de "Hoofdkreek" uit de periode 1969-1975.
- Fig. 6: Variatië in chloridegehalte van het oppervlaktewater van de "Hoofdkreek" uit de periode 1961-1975.
- Fig. 7: Jaargemiddelden in chloridegehalten van het oppervlaktewater van de "Hoofdkreek" uit de periode 1957-1975. Gegevens Waterschap Walcheren . (Zie ook Tabel V).
- Fig. 8: Variatie van diverse fysische en chemische factoren in het oppervlaktewater van de "Hoofdkreek" over de periode 1971-1974.
- Fig. 9: Variatie van diverse chemische factoren in het oppervlaktewater van de "Hoofdkreek" over de periode 1971-1974.
- Fig. 10: Isohalinenverloop op station II.
- Fig. 11: Isothermenverloop op station II.
- Fig. 12: Verticale zout-, zuurstof- en temperatuurgradienten op station II.
- Fig. 13: Verloop van het zuurstofgehalte op verschillende diepten van station II.
- Fig. 14: Verloop van het calciumgehalte op verschillende diepten van station II.
- Fig. 15: Verloop van het magnesiumgehalte op verschillende diepten van station II.
- Fig. 16: Verloop van het ammoniumgehalte op verschillende diepten van station II.

Fig. 17: Verloop van het nitraatgehalte op verschillende diepten van station II.

Fig. 18:	"	"	"	nitriet	"	"	"	"	"	"	"
Fig. 19:	"	"	"	orthofosfaat	"	"	"	"	"	"	"
Fig. 20:	"	"	"	P-totaal	"	"	"	"	"	"	"
Fig. 21:	"	"	"	chlorofyl	"	"	"	"	"	"	"
Fig. 22:	"	"	"	feofytine	"	"	"	"	"	"	"
Fig. 23:	"	"	"	silicium	"	"	"	"	"	"	"

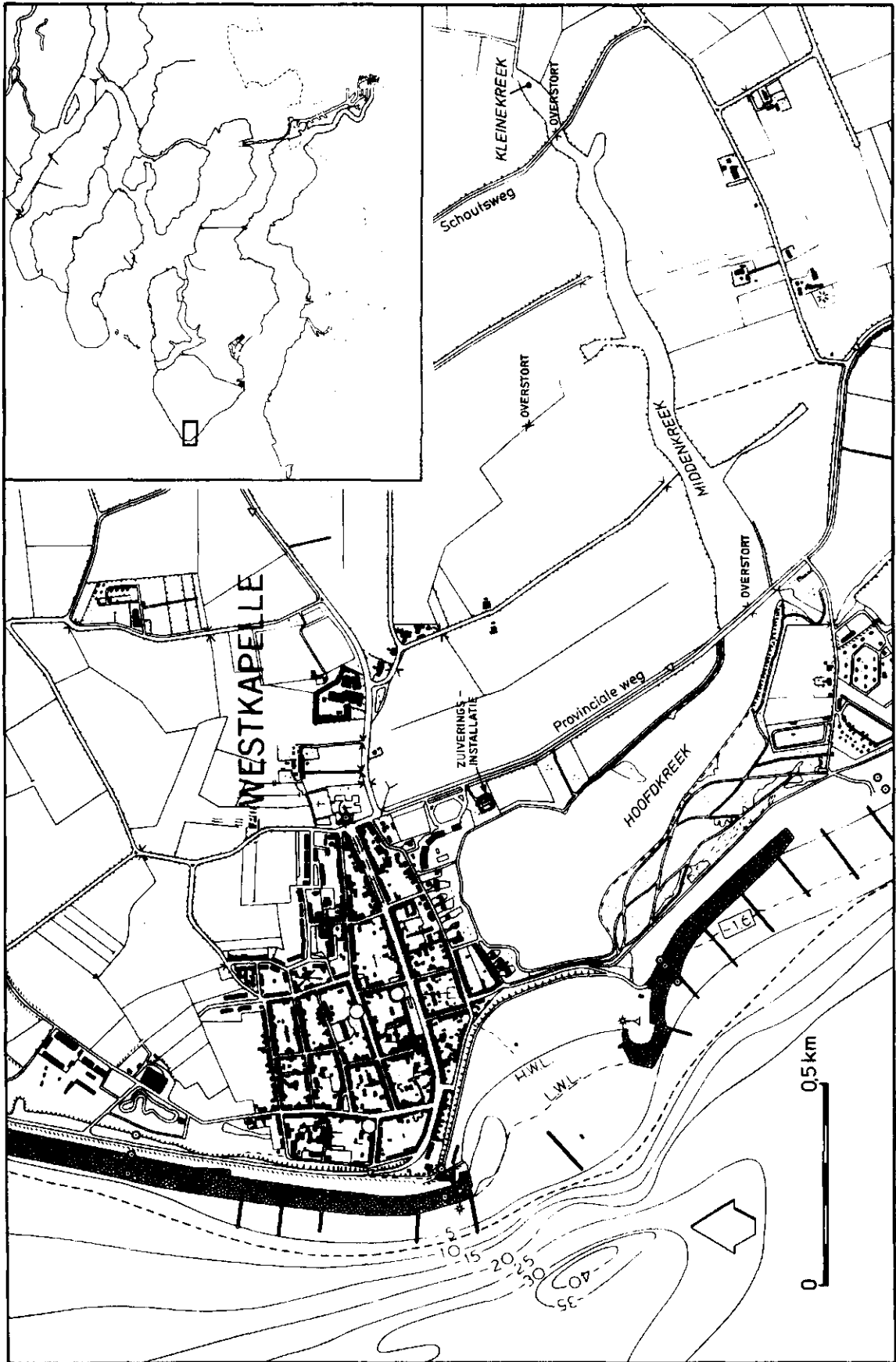


Fig. 1

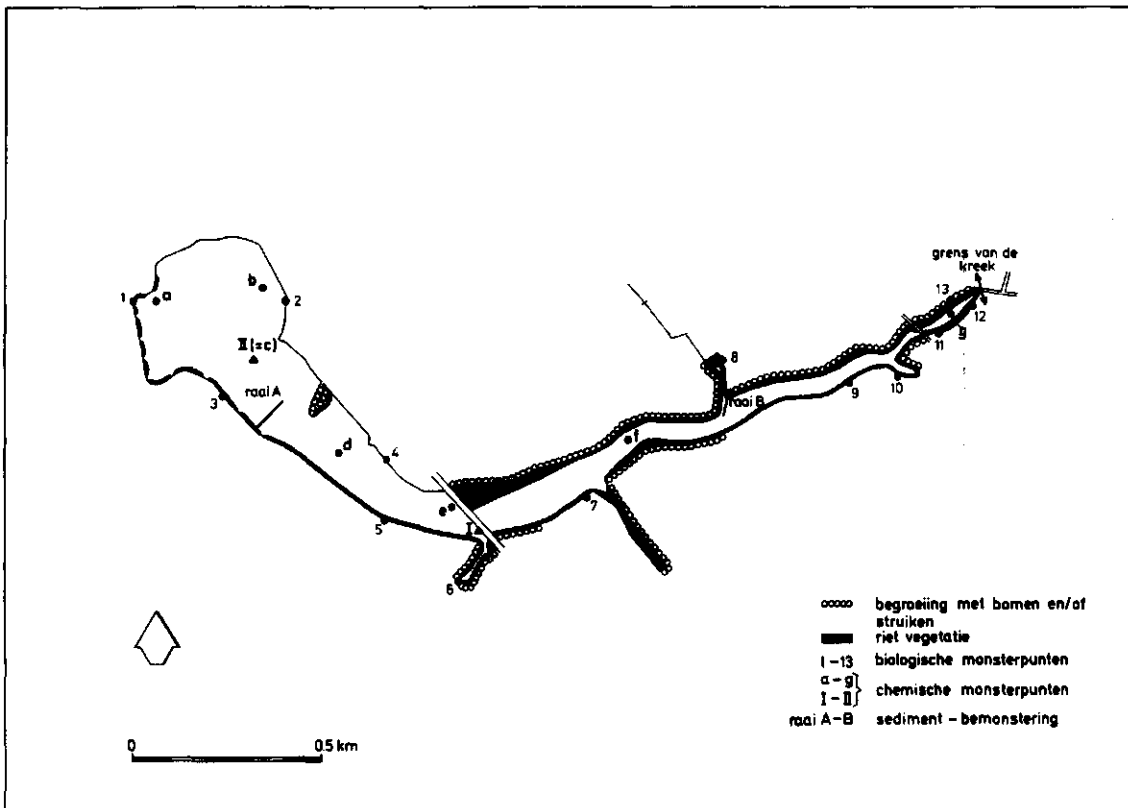


Fig. 2

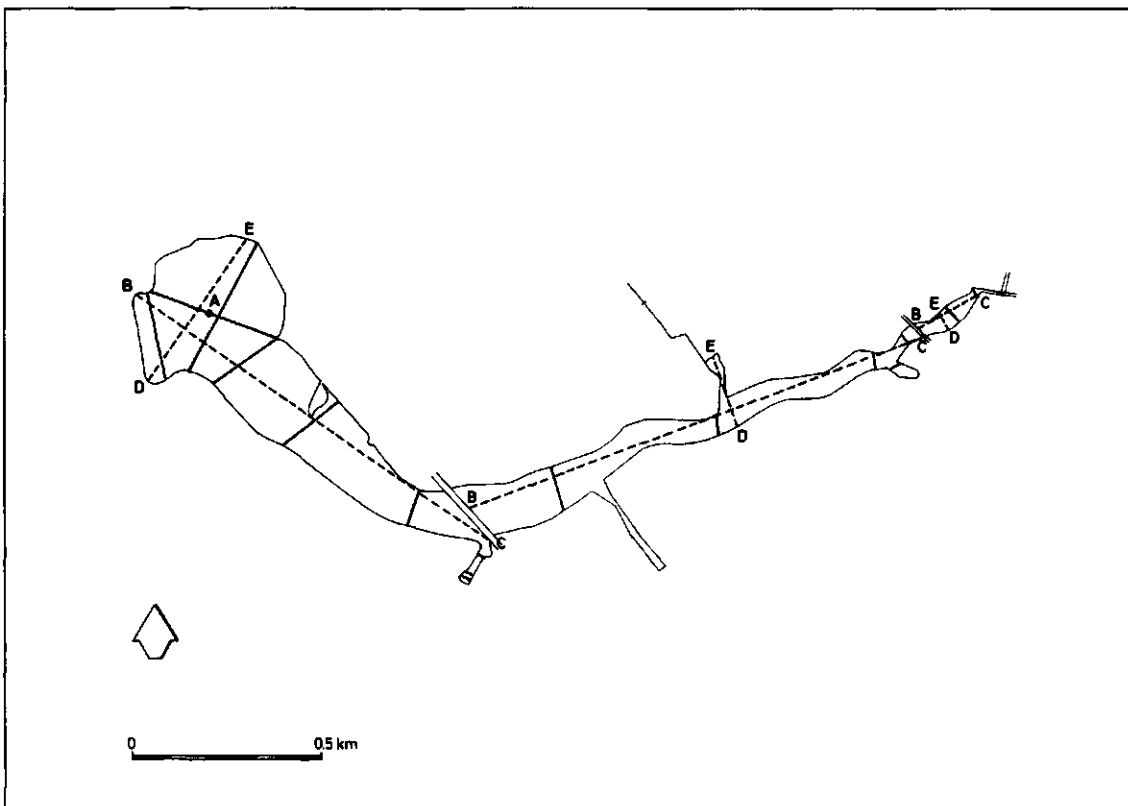


Fig. 3

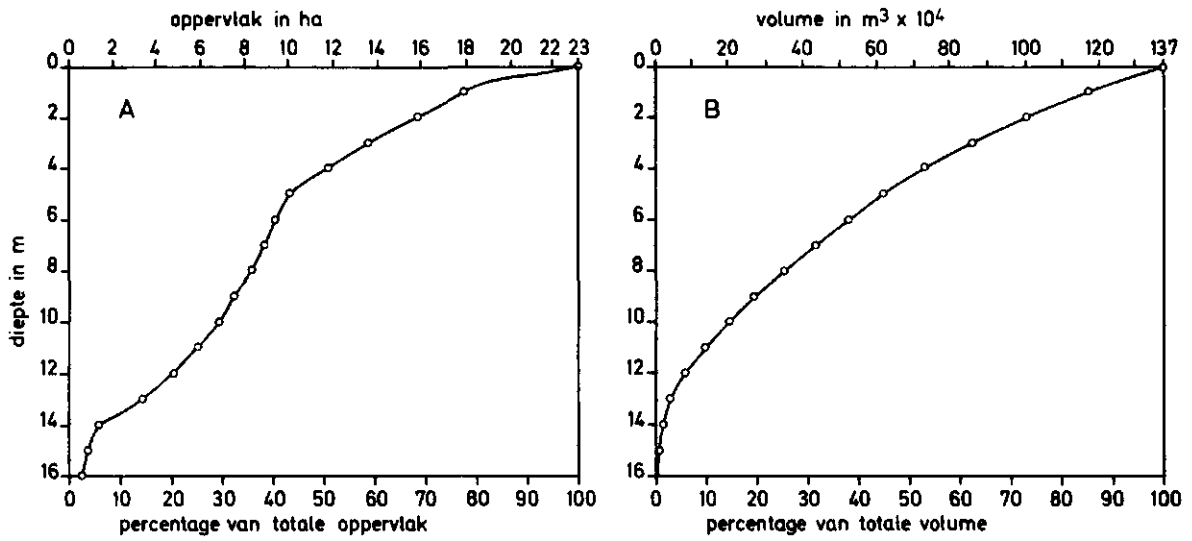


Fig. 4

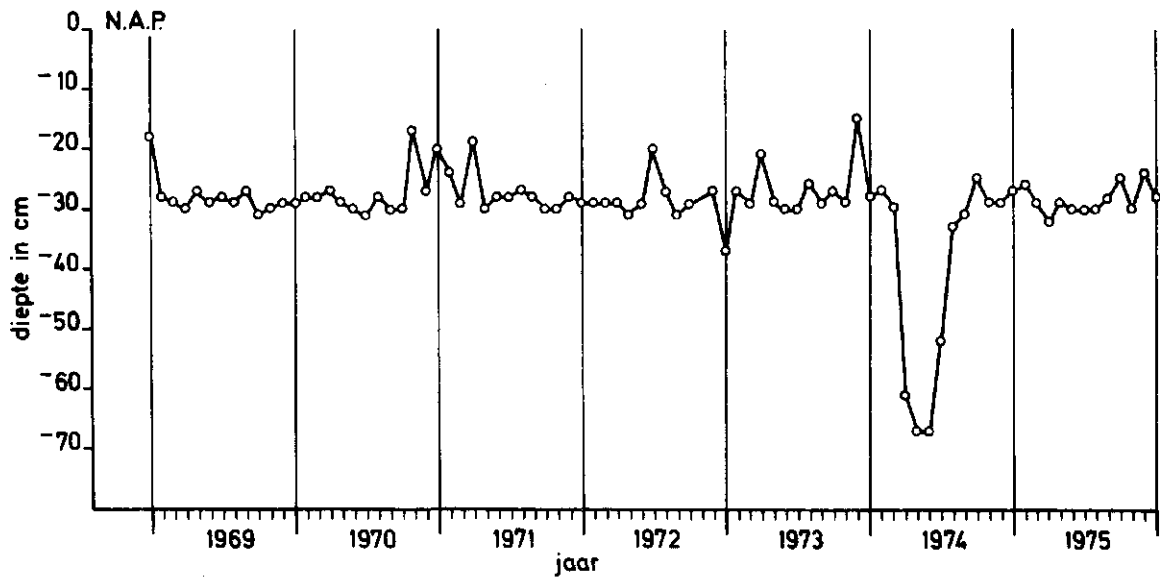


Fig. 5



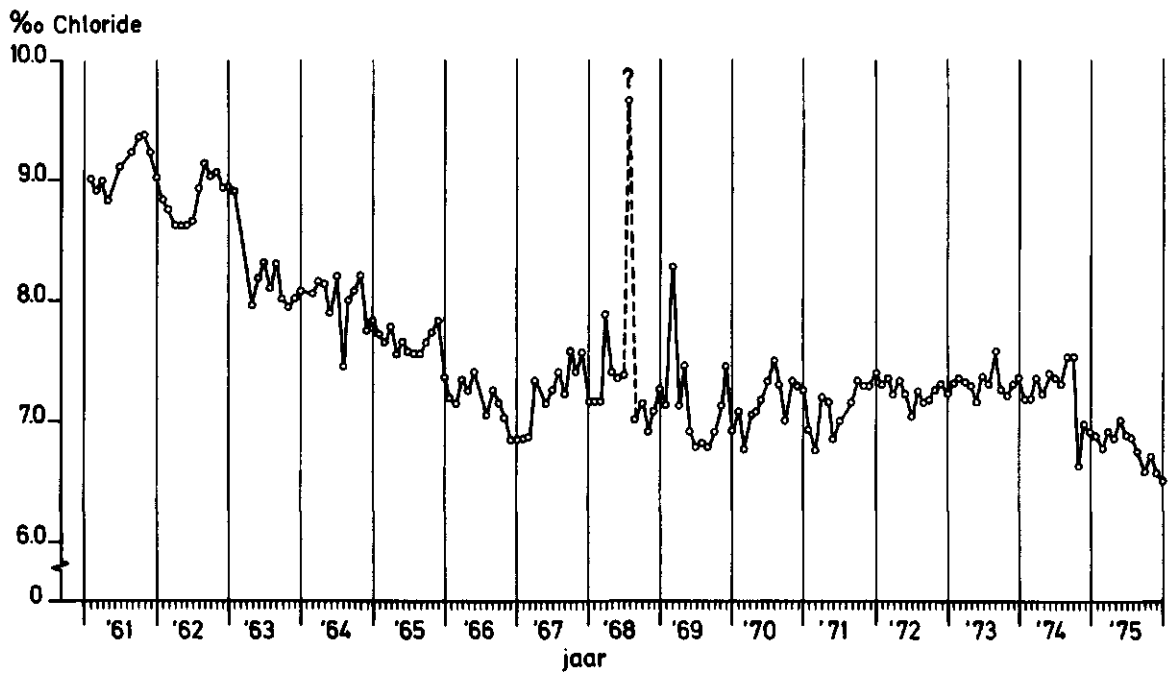


Fig. 6

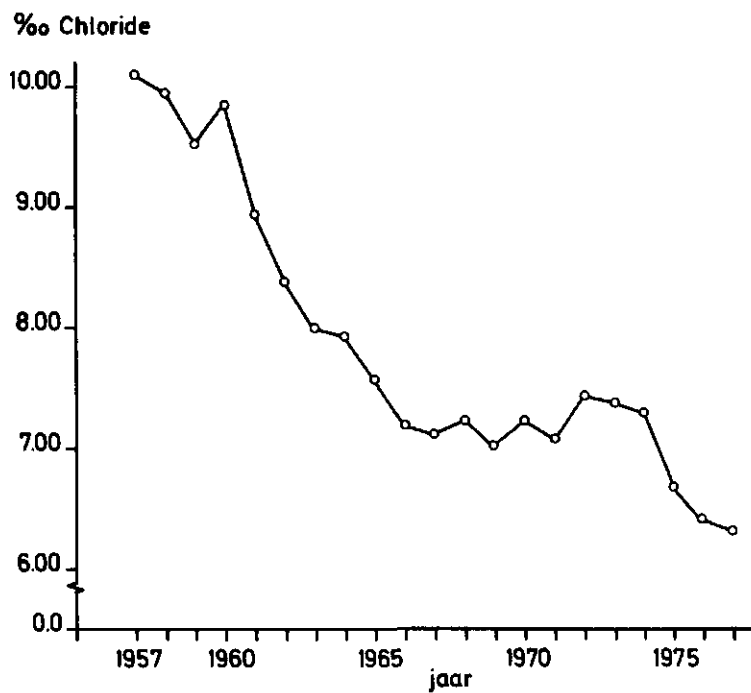


Fig. 7

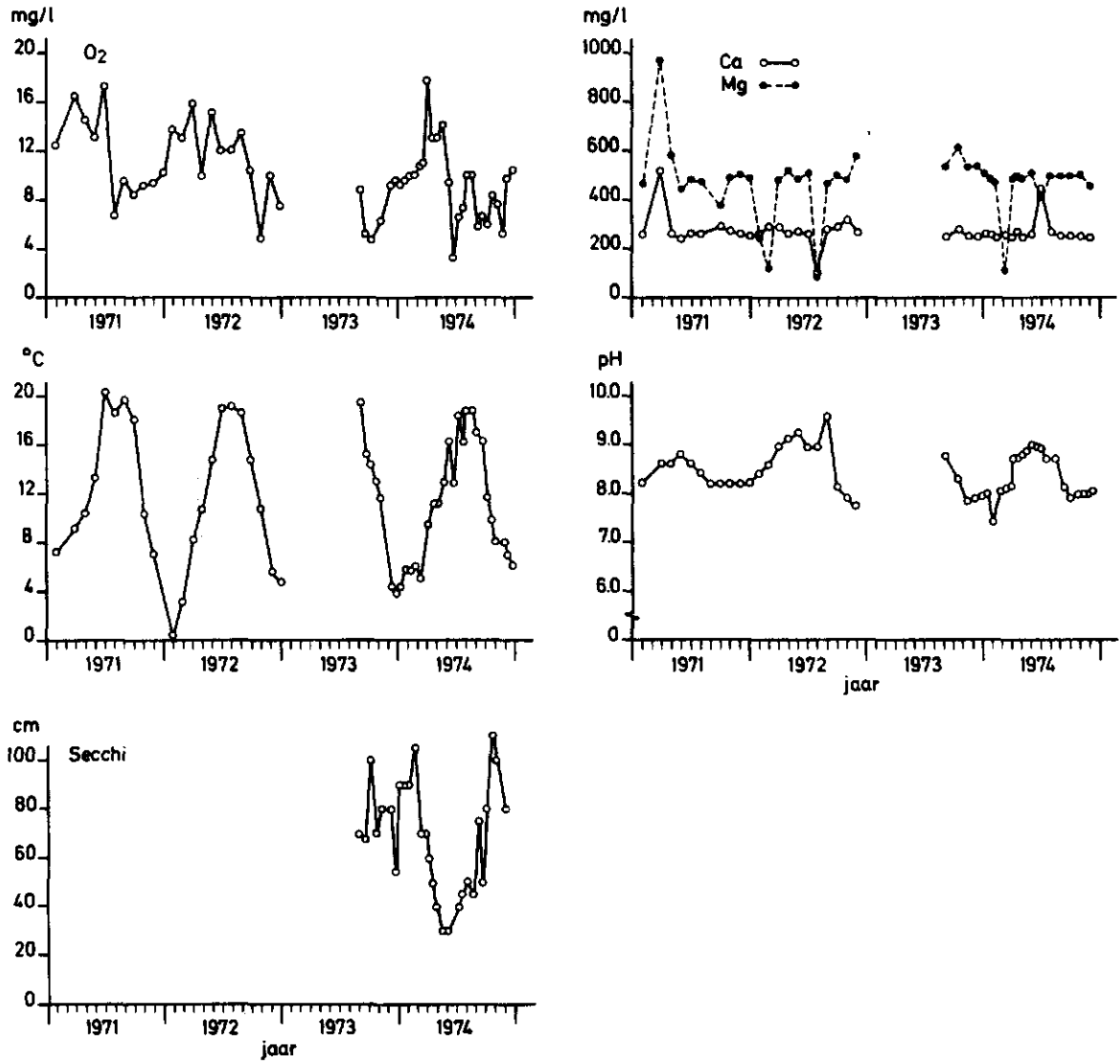


Fig. 8

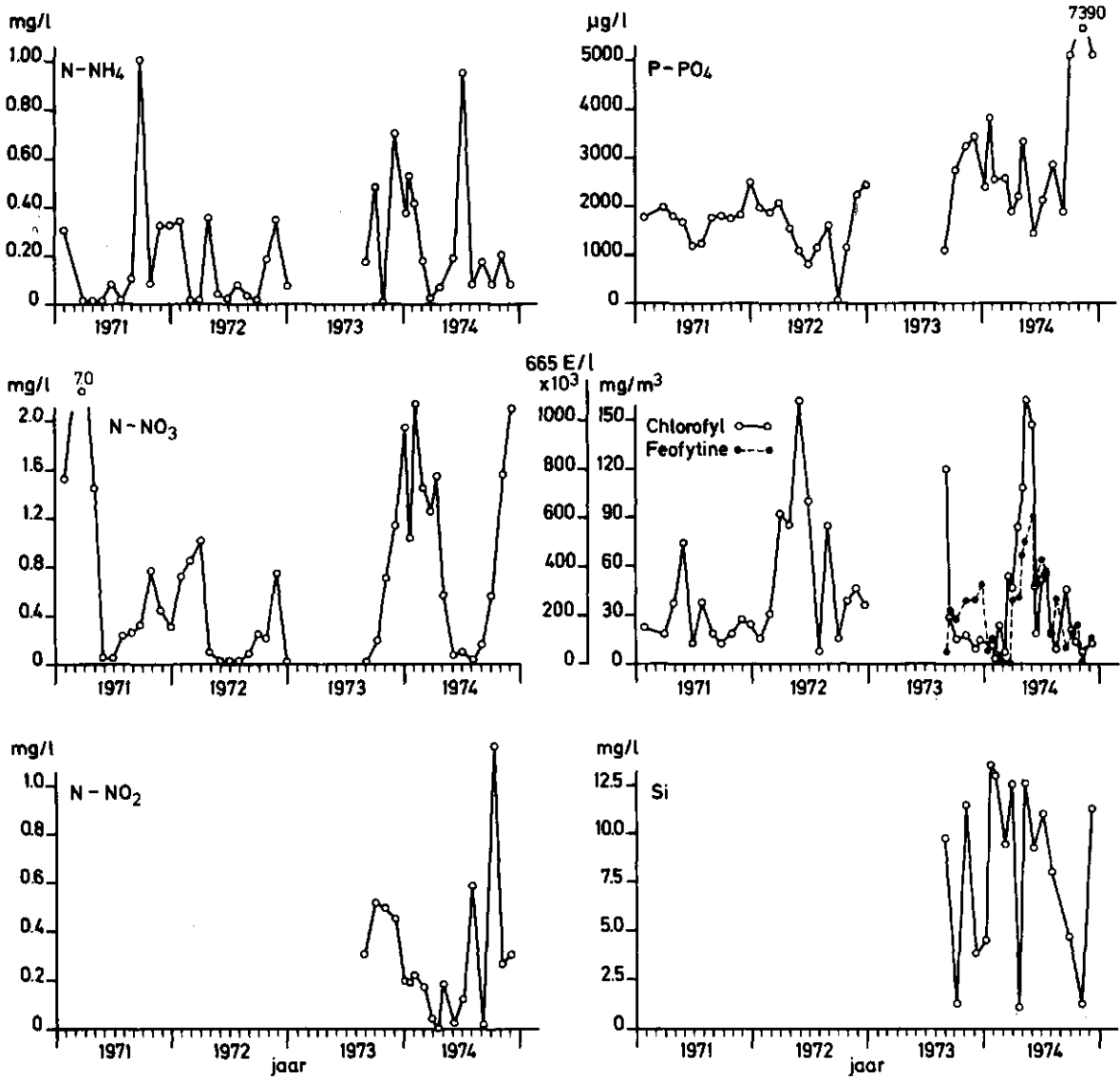


Fig. 9

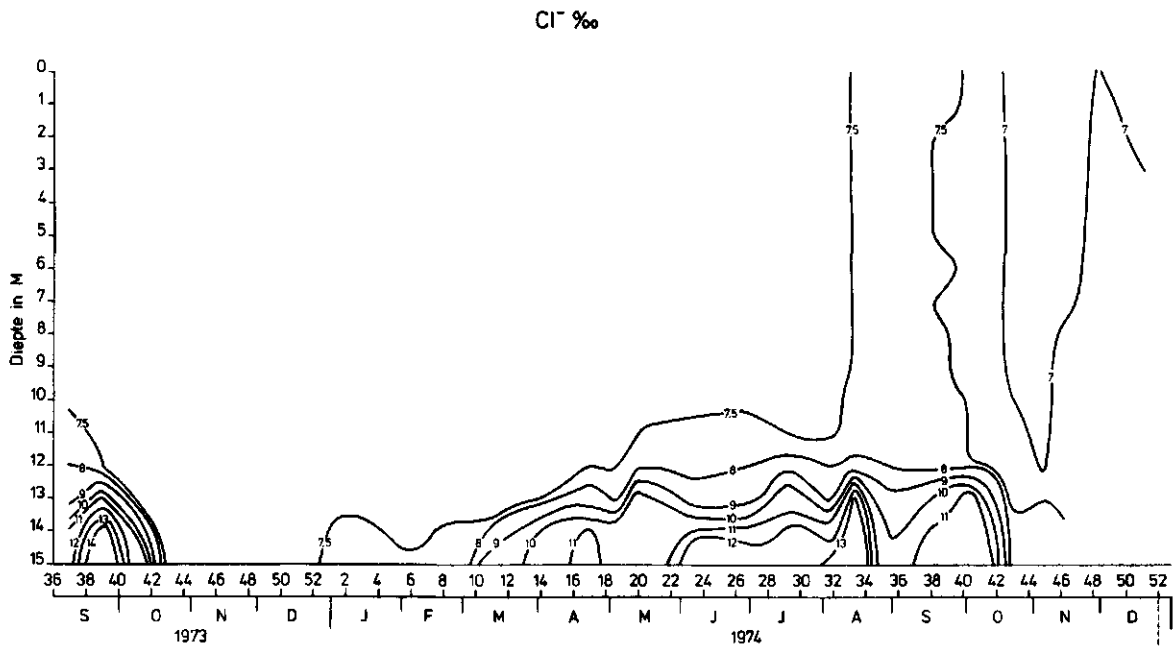


Fig. 10

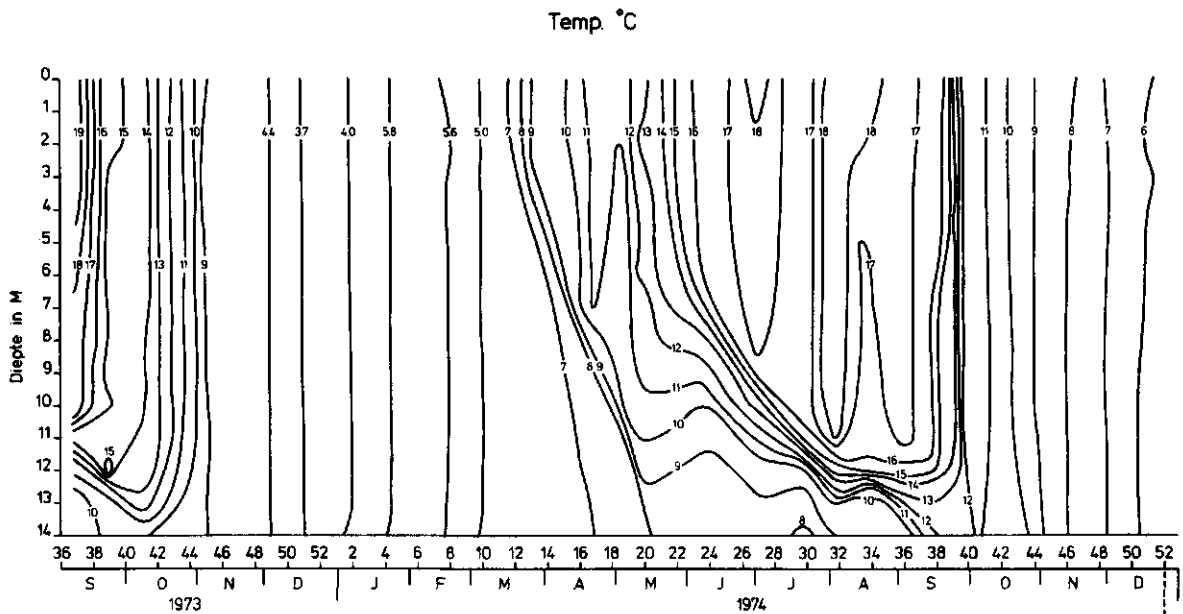


Fig. 11

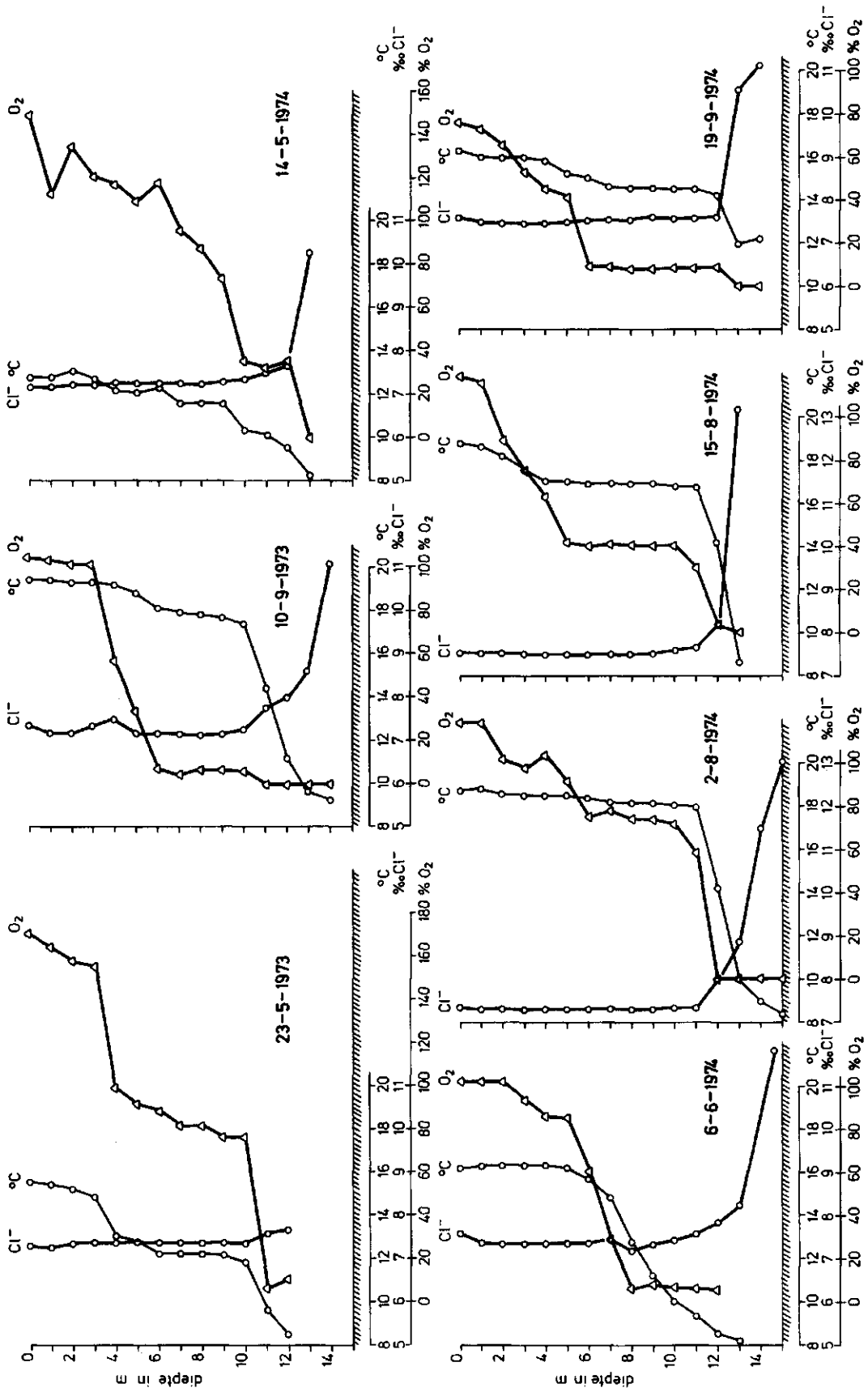


Fig. 12

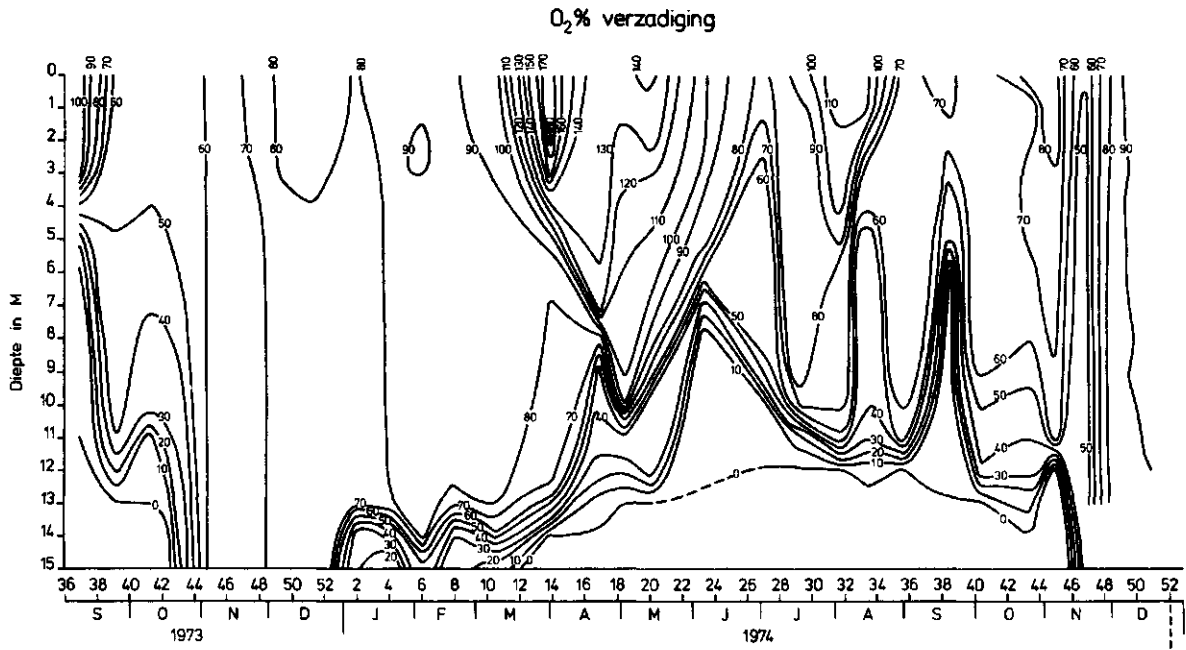


Fig. 13

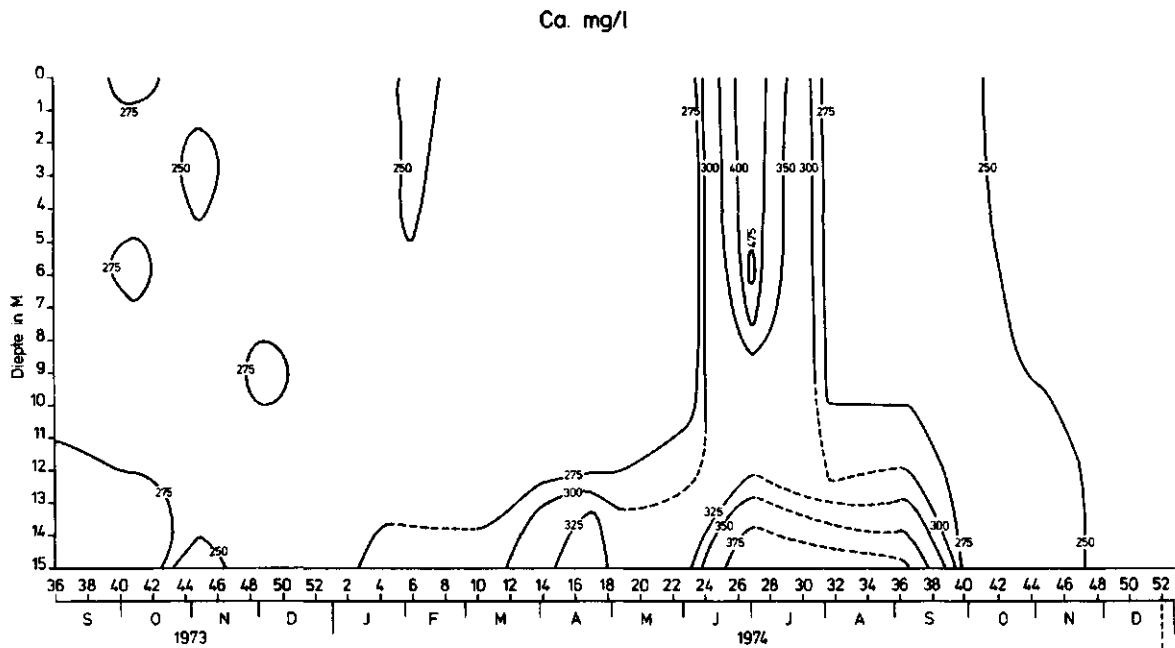


Fig. 14

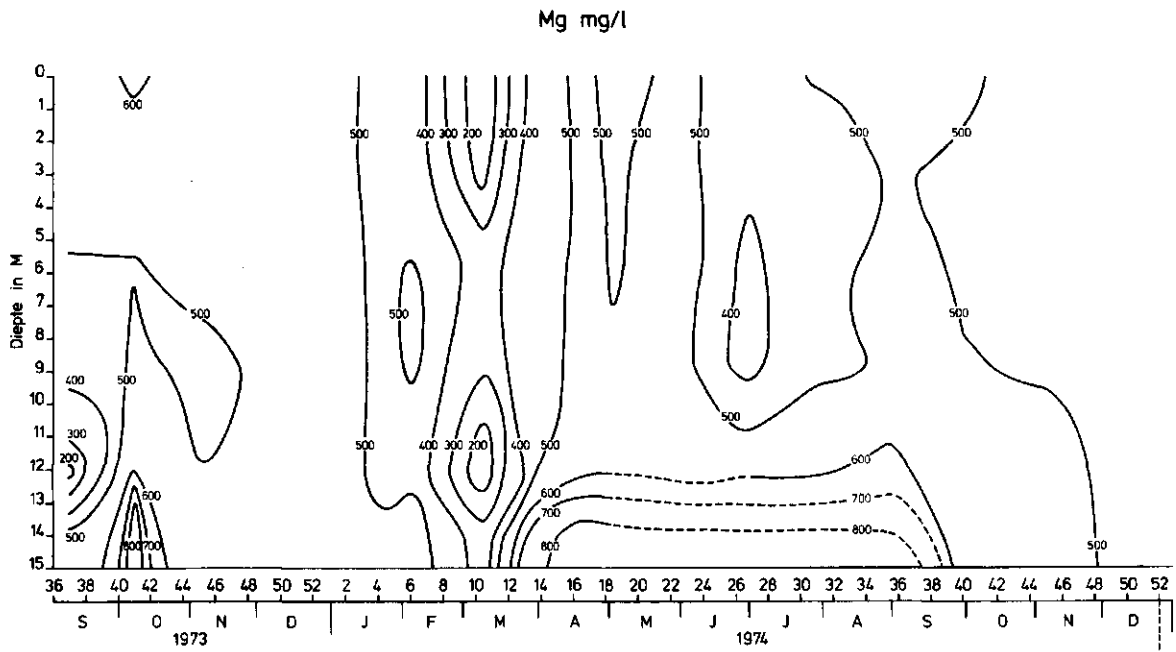


Fig. 15

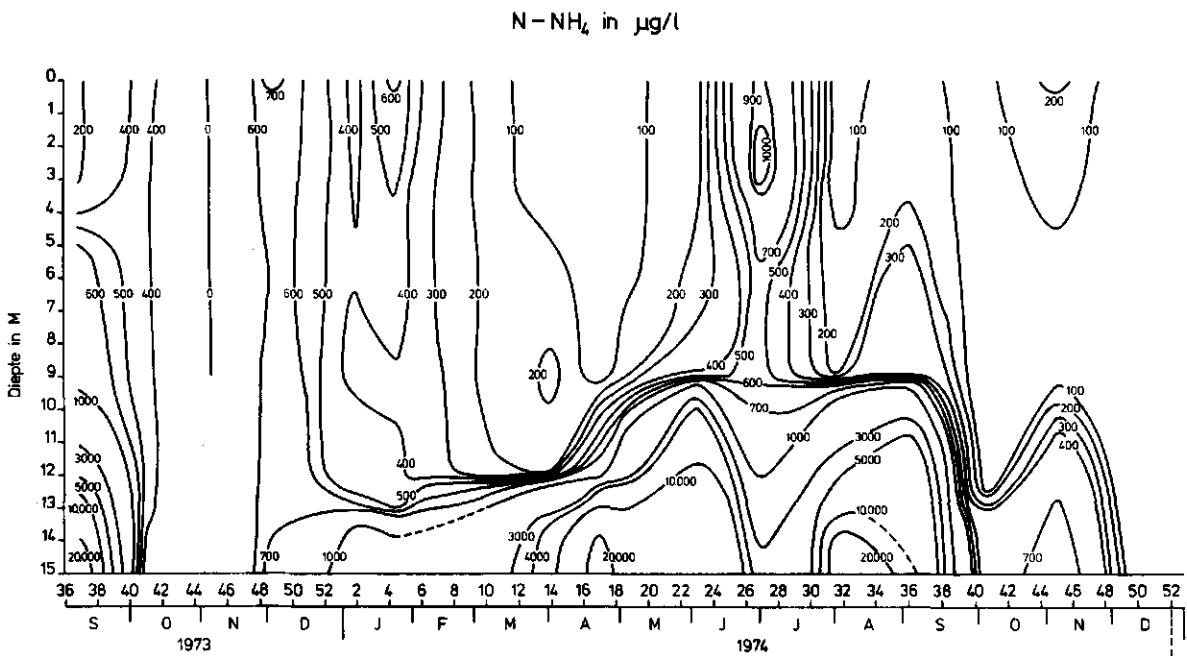


Fig. 16

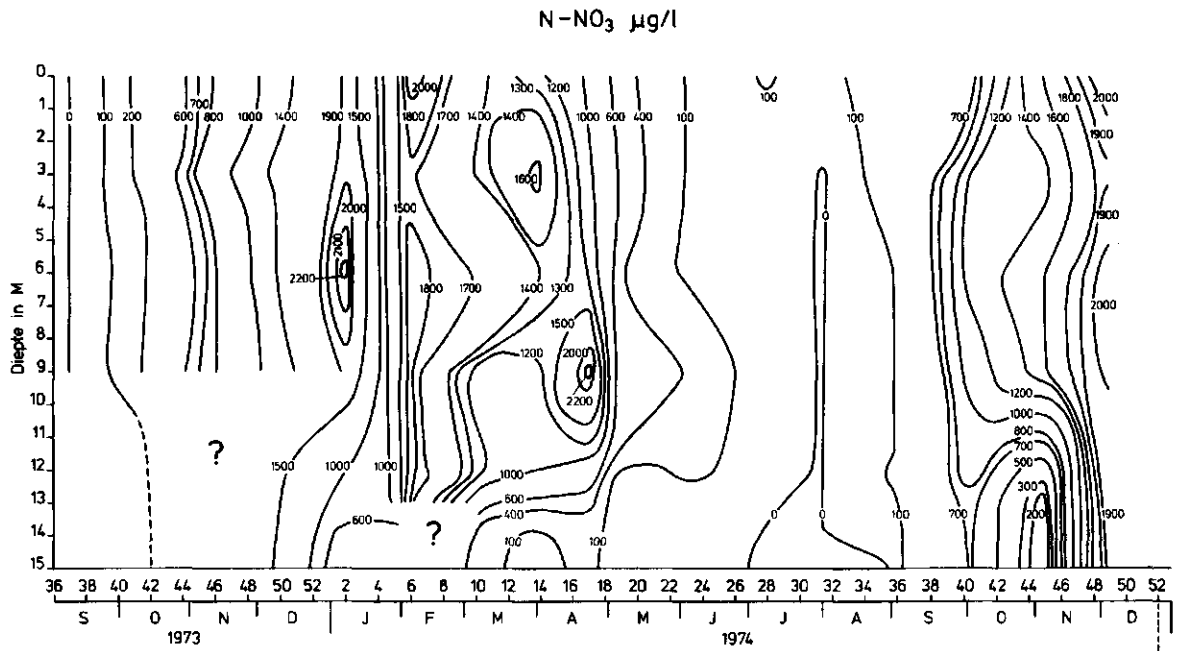


Fig. 17

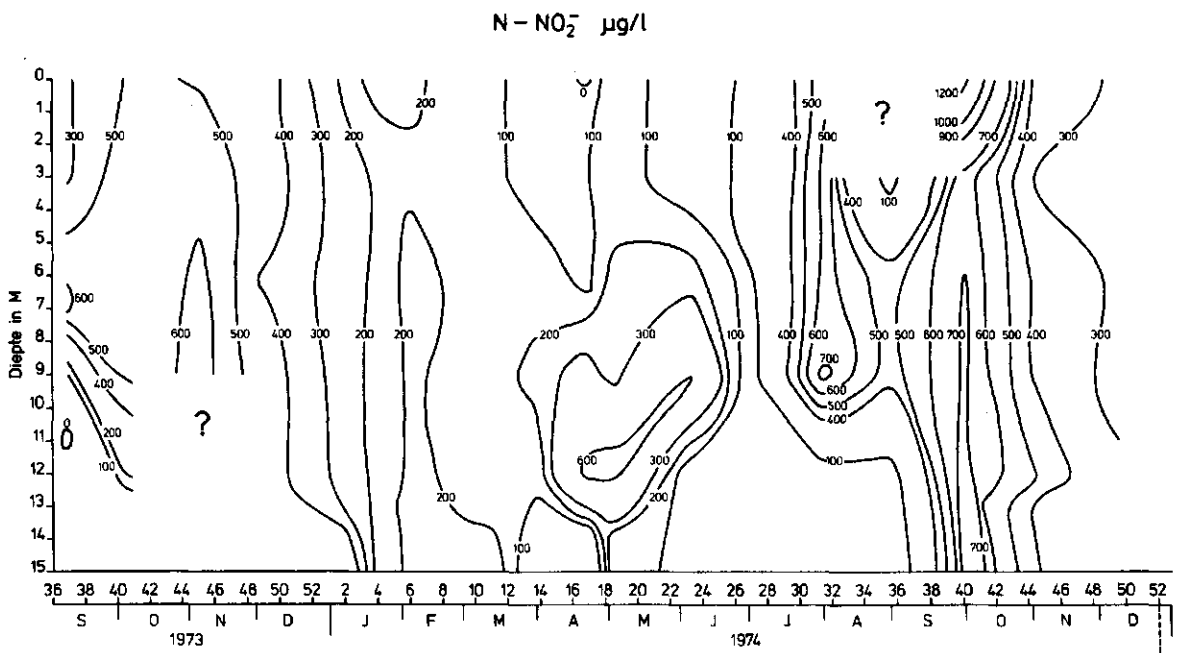


Fig. 18



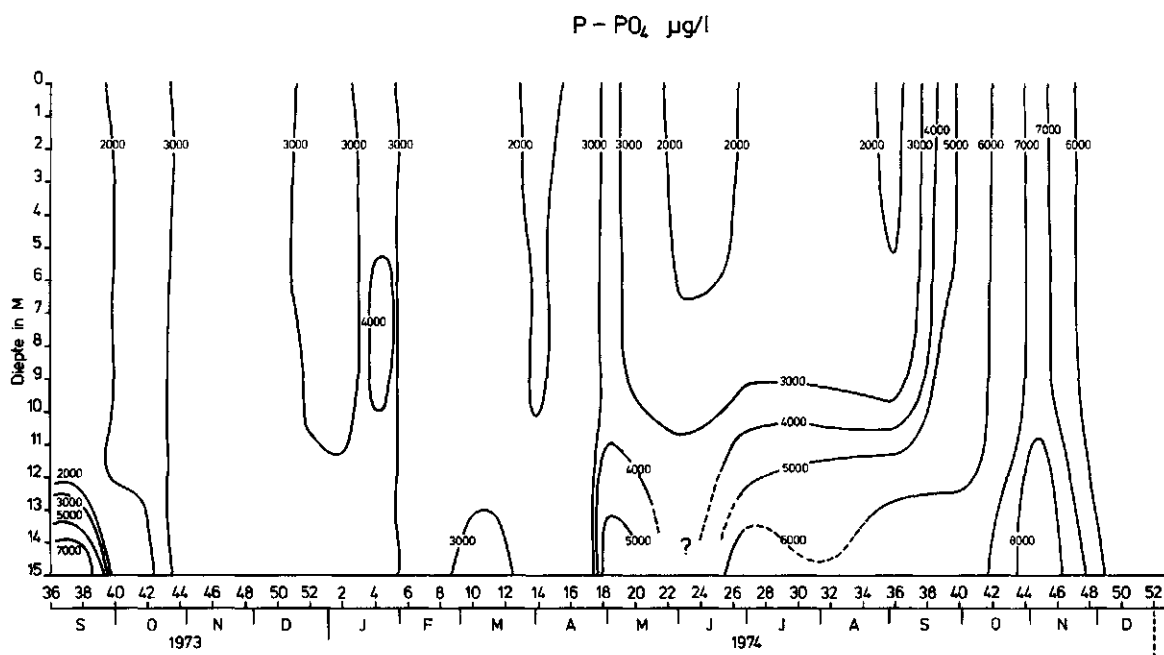


Fig. 19

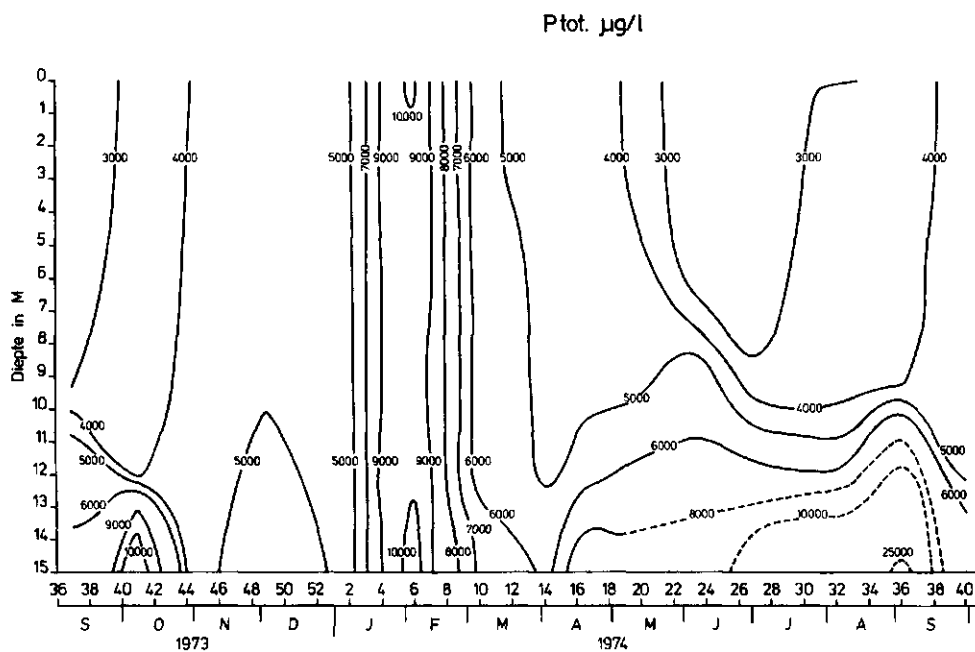


Fig. 20

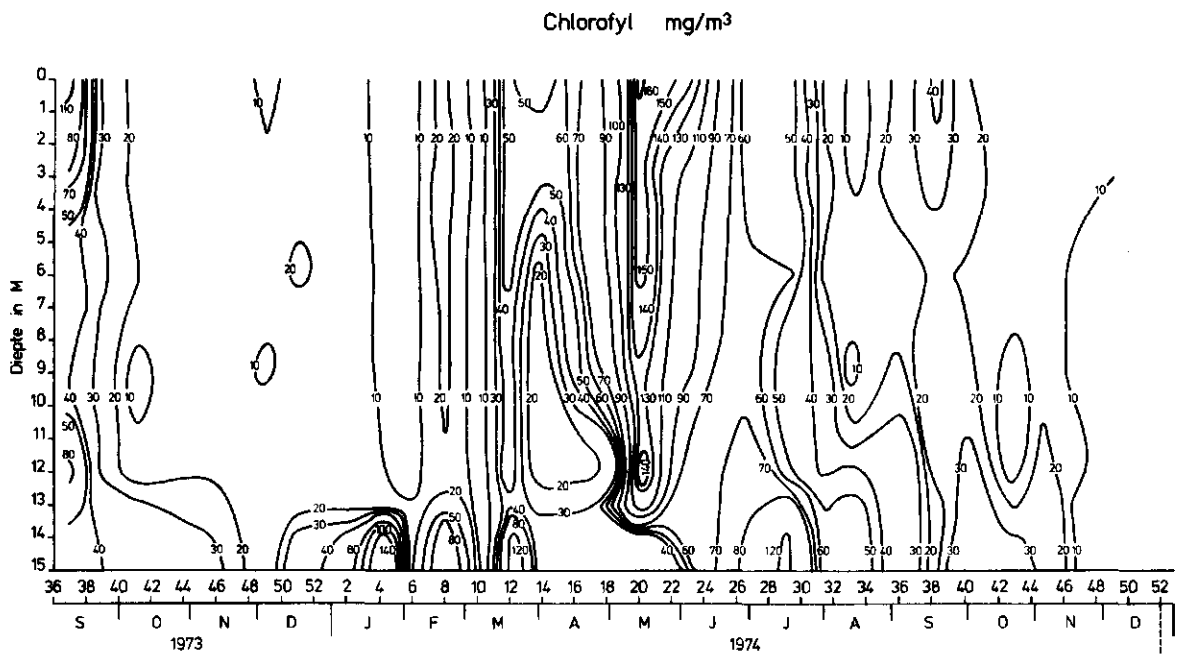


Fig. 21

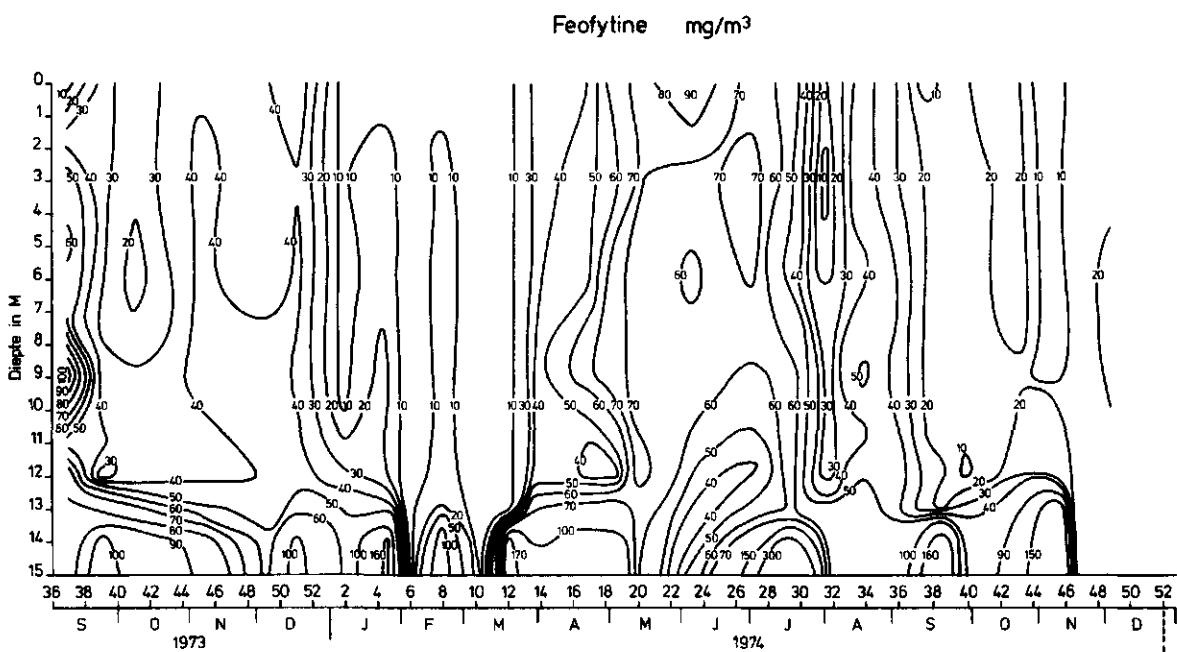


Fig. 22

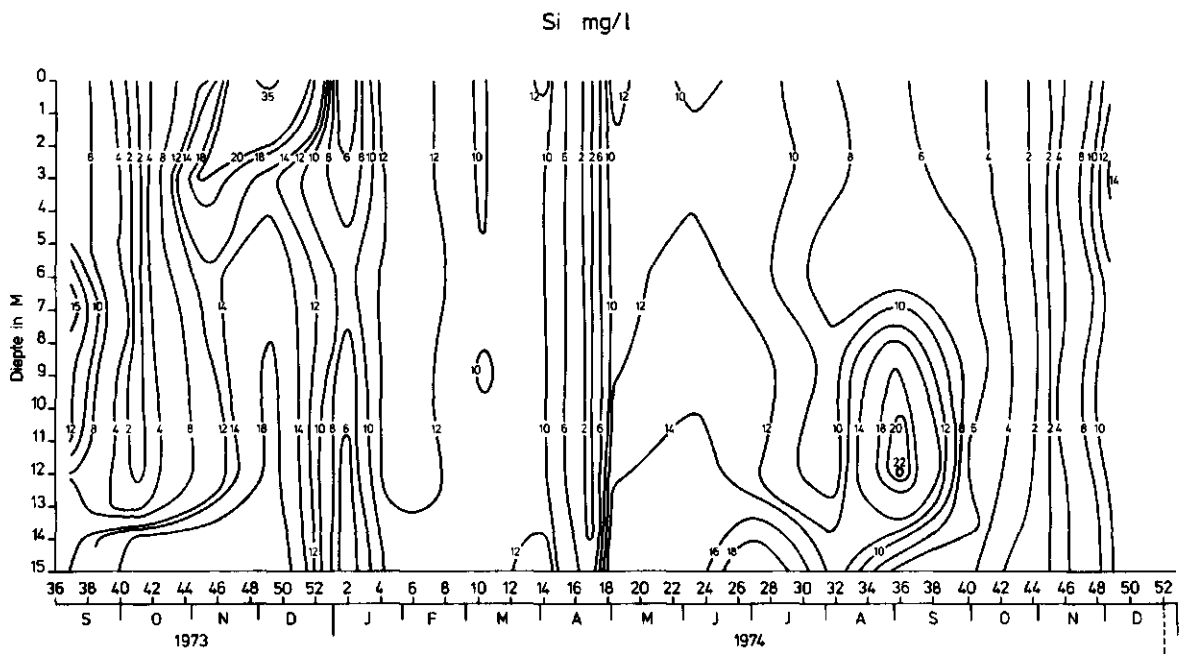


Fig. 23