

Bundesministerium für Forschung und Technologie

Forschungsbericht M 75-08

Meeresforschung

**Untersuchungen über den Einfluß von Abwasser auf das
Plankton in der Kieler Bucht**

von

U. Horstmann

S. Schiemann

P. Martens

E. Hansen

P. Weigel

**Institut für Meereskunde
an der Universität Kiel**

43 Seiten mit 23 Abbildungen 3 Tabellen 5 Literaturstellen

Dezember 1975



Dieses Heft enthält einen Arbeitsbericht über ein vom
Bundesministerium für Forschung und Technologie
gefördertes Vorhaben.

Verantwortlich für den Inhalt dieses Berichtes ist der Autor.

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie
übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit,
die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben
sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.

Academie der Wissenschaften der DDR
Institut für Libereskunde
- Bibliothek -
250 Wernitzstraße
Deutsche Demokratische Republik

1976. 10 48

Als Manuskript gedruckt.

Druck, Verbreitung und Verkauf nur durch:

Zentralstelle für Luft- und Raumfahrtokumentation und -information (ZLDI)
der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt E. V.

8 München 86, Postfach 860880, Telex: 05/22324

Preis: DM 9,05

DK 632.192
577.475
581.526.325
(26.01)
(261.3)

Untersuchungen über den Einfluß von Abwasser auf das
Plankton in der Kieler Bucht

Institut für Meereskunde
an der Universität Kiel

Januar 1975

Institutsleiter:
Prof.Dr.G.Hempel

Abteilungsleiter:
Prof.Dr.J.Krey

Bearbeiter:

Dr. Ulrich Horstmann

Dr. Sten Schiemann

Dipl. Biol. Peter Martens

cand. rer. nat. Eike Hansen

cand. rer. nat. Peter Weigel

Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben des BMFT
"Untersuchungen über den Einfluß von Abwasser auf
das Plankton in der Kieler Bucht" (MF 54/118)

ÜBERSICHT

Die Arbeiten der planktologischen Arbeitsgruppe der TG-63-Meeresverschmutzung gliederten sich in den Jahren 1972-1974 in drei Grundrichtungen:

- 1) Einfluß von Abwässern auf die Verteilung des Planktons und die Primärproduktion organischer Substanz. Unter diesen Punkt fallen die Arbeiten des Gemeinsamen Komitees Flensburger Förde zur Untersuchung der Eutrophierung dieses Meeresgebietes, Untersuchungen zur Ökologie und Verbreitung der Blaualgen in Abhängigkeit von verschiedenen Nährstoffen, sowie Primärproduktionsuntersuchungen in der inneren Kieler Förde und der offenen Ostsee.
- 2) In-situ Versuche zum Einfluß verschieden starker Abwasserkonzentrationen auf natürliche Planktonpopulationen in abgeschlossenen Wasserkörpern.
- 3) Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von Schwermetallen im Plankton sowie die Bestimmung des tatsächlichen Schwermetallgehaltes des Planktons in der Ostsee.

SUMMARY

During the years 1972-1974 the investigations of the plankton-working group of the TG 63 - marine pollution dealt with three basic problems:

- 1) The influence of sewage on the distribution of plankton and primary production of organic carbon. This comprises the work of the "Gemeinsames Komitee Flensburger Förde" on the eutrophication of Flensburg Fjord, investigations on the ecology of blue-green algae and their distribution in relation to different nutrients, and measurements of the primary production of planktonic algae in the inner Kiel Fjord and the Baltic.
- 2) In-situ experiments on the influence of different sewage-concentrations on natural plankton-populations in isolated water bodies.
- 3) Development of a method for the determination of heavy metals in plankton and determination of the actual content of heavy metals in the plankton of the Baltic.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 a) Untersuchungen der Flensburger Förde	6
1 b) Eutrophierung und Massenproduktion von Blaualgen in der Ostsee	12
1 c) Untersuchungen zur Primärproduktion in der Kieler Förde	14
2) In-situ Versuche zum Einfluß verschieden starker Abwasserkonzentrationen auf natürliche Plankton- populationen in abgeschlossenen Wasserkörpern	26
3) Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von Schwer- metallen im Plankton sowie die Bestimmung des tat- sächlichen Schwermetallgehaltes des Planktons in der Kieler Ostsee	35

1 a) Untersuchungen der Flensburger Förde (GEMEINSAMES KOMITEE
FLENSBURGER FÖRDE, 1974)

In den Jahren 1972 und 1973 wurden von deutschen und dänischen Instituten und Laboratorien in der Flensburger Förde Untersuchungen vorgenommen, die ein Bild der Verschmutzung dieses Meeresgebietes durch Abwässer liefern sollten. Die planktologische Arbeitsgruppe der TG 63-Wasserverschmutzung war an den Untersuchungen von Primärproduktion und Wasserchemie beteiligt. Ziel dieser Untersuchungen war es, teils zu messen, in welchem Ausmaß die eingeleiteten Nährsalze, besonders die Stickstoff- und Phosphatverbindungen, die Algenproduktion in den verschiedenen Teilgebieten der Flensburger Förde beeinflussen, teils zu ermitteln, wie die eingeleiteten und die in den Wassermassen der Förde produzierten organischen Stoffe sedimentieren und/oder abgebaut werden (GEMEINSAMES KOMITEE FLENSBURGER FÖRDE, 1974).

Im Untersuchungszeitraum wurde bei 11 Meßfahrten auf 18 Stationen die Primärproduktion organischen Kohlenstoffs durch das Phytoplankton bestimmt (Abb. 1).

Jahreszeitliche Schwankungen in der Primärproduktion:

Die Produktionsverhältnisse an den einzelnen Punkten schwanken in der Meßperiode Mai-November. Die Untersuchungen begannen im Mai. Die erste Meßfahrt wurde also zu spät durchgeführt, um zeigen zu können, ob die Algenmassen in der Förde im Frühjahr aufgeblüht sind. Ein solches Aufblühen im Frühjahr kann in Gebieten auftreten, wo sich produktionsbegrenzende Nährsalze nur in kleinen Konzentrationen befinden und daher während der Massenentwicklung der Phytoplankter restlos verbraucht werden und damit die Photosynthese-Aktivität begrenzen. Unter solchen Verhältnissen wird die Produktion erst wieder ansteigen, wenn die aufgebaute Algenbiomasse remineralisiert ist.

Im Laufe der Meßperiode steigt die Produktion und erreicht ihre höchsten Werte in den Sommermonaten. Danach fällt die Rate der Produktion wieder auf sehr niedrige Werte in den Monaten Oktober-November.

Abb. 1 zeigt die durchschnittliche Produktion organischer Materie in der Zeit vom Mai bis September 1972 an verschiedenen untersuchten Punkten. Zum Vergleich zeigt die Abb. 2 die Produktion organischer

Materie in anderen dänischen Fördesystemen sowie in offenen Gewässern.

Wie aus der Abbildung hervorgeht, läßt sich allgemein darauf schließen, daß die küstennahen und eingeschlossenen Wassermassen stärker eutrophiert sind als die offenen Gebiete. Die Primärproduktion in den küstenfernen Wassermassen ist daher geringer als in küstennahen Bereichen. Bei einer Betrachtung der Primärproduktionswerte fällt auf, daß die Produktion von Flensburg die Förde hinaus allmählich abnimmt.

Primärproduktion der Teilgebiete:

Um die Eutrophierungsverhältnisse im Bereich der Flensburger Förde als Ganzes bewerten zu können, wurde das Gebiet in 12 kleine Teilgebiete eingeteilt. In Tabelle 1 ist für jedes dieser Teilgebiete die Primärproduktion organischen Kohlenstoffs in der Periode Mai-September 1972 als gC/m^2 angegeben. Diese Besprechungen gründen sich, was mehrere dieser Teilgebiete betrifft, nur auf wenige Messungen und sind daher mit Vorbehalt zu betrachten.

Tabelle 1: Die Primärproduktion organischen Kohlenstoffs in 12 Teilgebieten der Flensburger Förde in der Periode Mai-September 1972 angegeben als g C/m²

<u>Teilgebiet</u>	<u>Ort</u>	<u>Primärproduktion</u>
I	Flensburg-Kollund	255 g C/m ²
II	Innenförde	181 "
III	Holnis	115 "
IV	Sildekule-Nybøl Noor	394 "
V	'Mittlere Förde'	78 "
VI	Außenförde	98 "
VII	Geltinger Bucht	101 "
VIII	Sønderborg (Alssund Süd)	130 "
IX	Alssund Nord	165 "
X	Vemmingbund	77 "
XI	Hørup Hav	85 "
XII	Fördemündung	87 "

Die Unterschiede zwischen den Teilgebieten der Flensburger Förde sind in bezug auf Eutrophierungsgrad und damit Primärproduktion organischer Substanz recht groß. Dies wird bedingt durch die verschiedenartige Topographie, Hydrographie und Abwasserbelastung der 12 Teilgebiete. Die am wenigsten eutrophierten Punkte liegen in offenen Wassergebieten. Stickstoff ist hier der produktionsbegrenzende Faktor (GEMEINSAMES KOMITEE FLENSBURGER FÖRDE, 1974).

In den abgeschlossenen Wassergebieten, wie Nybøl Noor, Hørup Hav und Alssund übernimmt Phosphor die Rolle des produktionsregulierenden Faktors.

Vergleich mit den Produktionsverhältnissen in anderen Wassersystemen: Die Abb. 2 zeigt - außer den Produktionsverhältnissen an gewissen Stellen in der Flensburger Förde - auch die Verhältnisse an 13 anderen Punkten in Dänemark.

Der innere Teil der Flensburger Förde sowie der Alssund sind genauso belastet wie die beiden stark eutrophierten ostjütischen Fjorde Kolding und Hornsens Fjord. Die Eutrophierung im Nybøl Noor ist so stark, daß sie den Verhältnissen in den am stärksten belasteten dänischen Seen entspricht.

Je weiter man in die Förde hinausgelangt, desto besser werden die Verhältnisse. In der Außenförde sind die Produktionsverhältnisse im großen und ganzen von derselben Größenordnung wie die der offenen dänischen Gewässer, dem Kattegatt und dem Großen Belt.

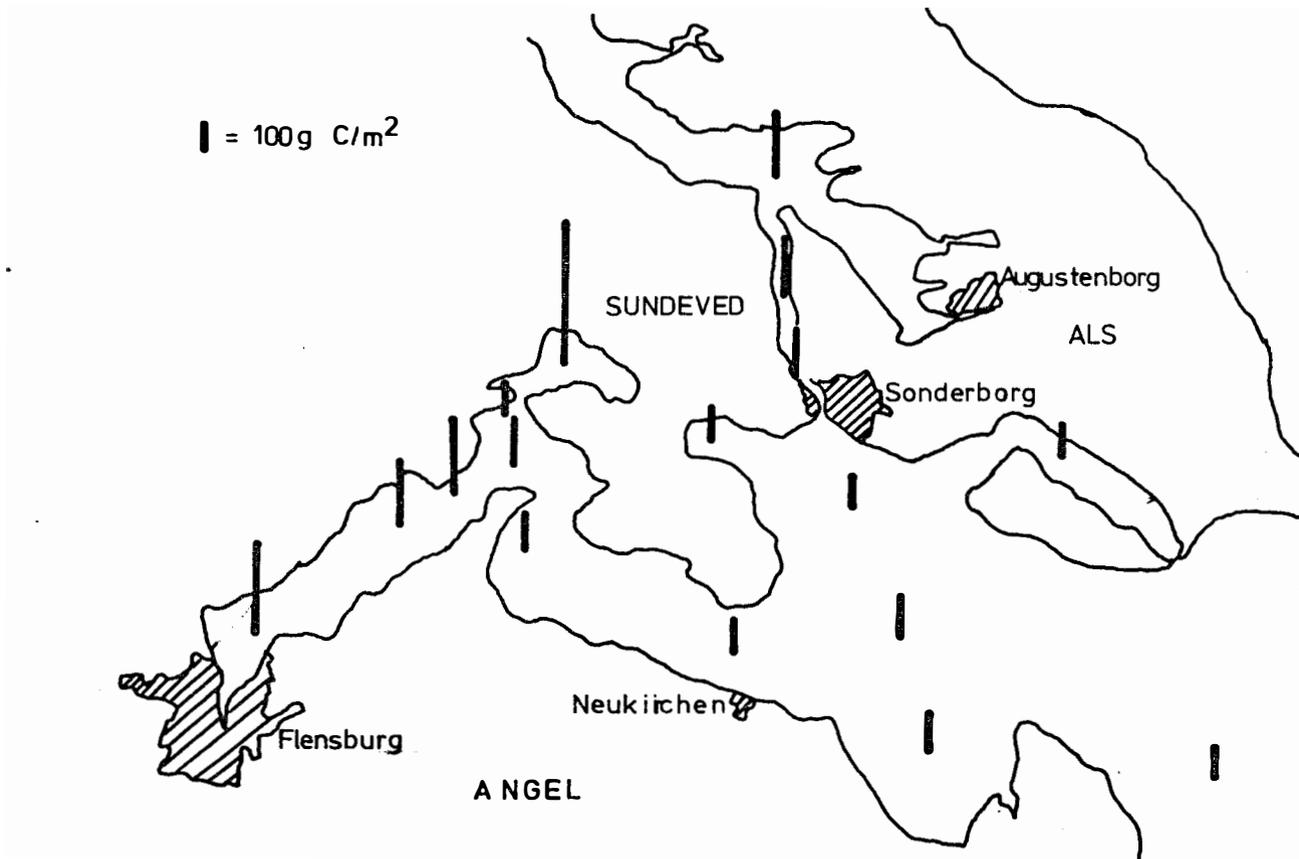


Abb. 1

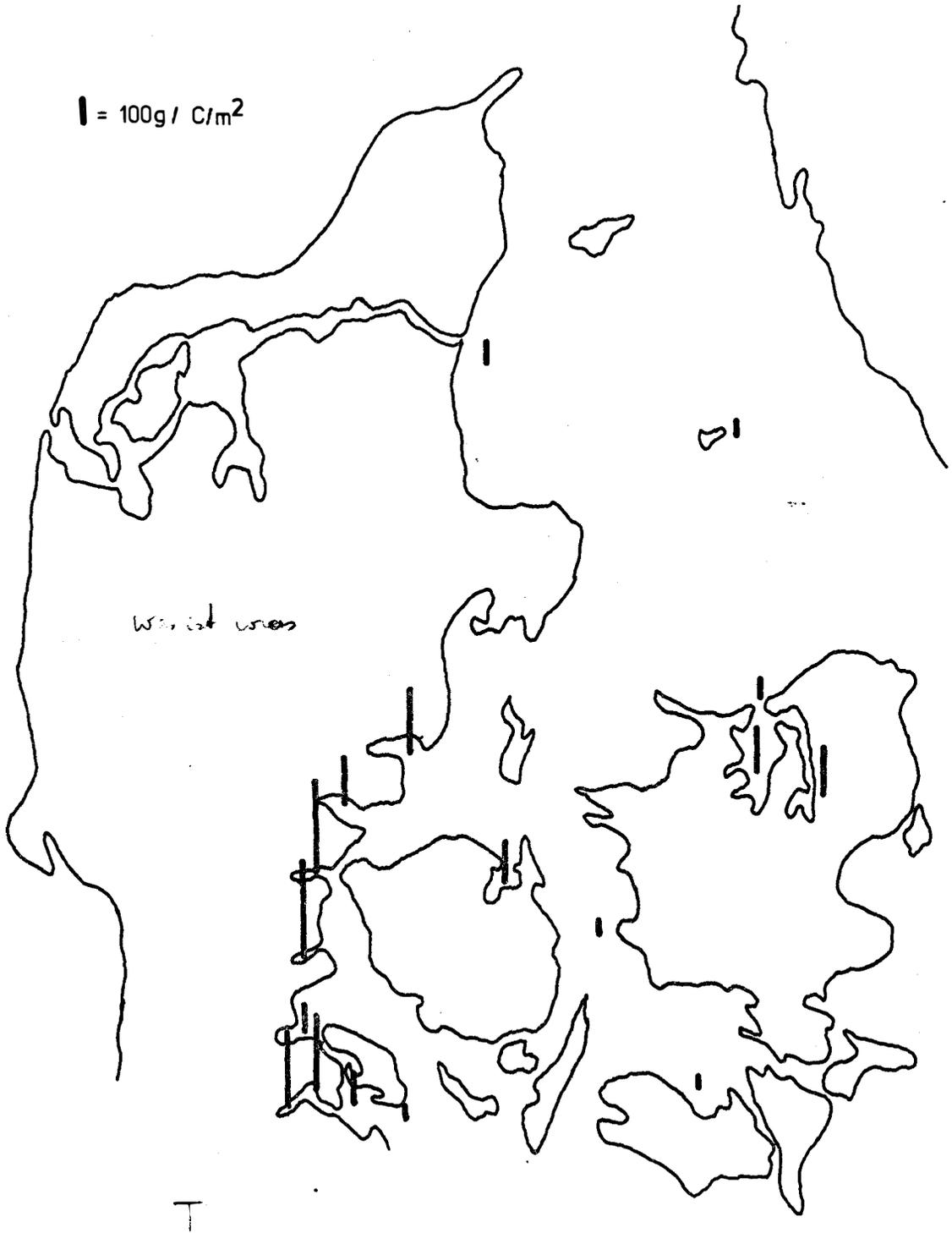


Abb. 2

1b) Eutrophierung und Massenproduktion von Blaualgen in der Ostsee (HORSTMANN, unveröff. Daten).

Die Untersuchungen behandelten das Massenvorkommen der Blaualgen Aphanizomenon flos-aquae und Nodularia spumigena, die in den letzten Jahren häufig in der zentralen Ostsee beobachtet wurden. Es wurde der Frage nachgegangen, wie ihr Wachstum durch Nährstofflimitierung gehemmt wird, ferner wurde ihre Fähigkeit untersucht, Stickstoff zu fixieren und somit ihre Rolle als Stickstoff-Anreicherer. Die mögliche Rolle dieser Algen im Nahrungsnetz wird diskutiert.

Blaualgenvorkommen können in zwei verschiedenen Formen beobachtet werden. In den inneren Archipelen der schwedischen und finnischen Küste sowie in den Haffen und Flußmündungen der südlichen Ostseeküste färben sie das Wasser olivgrün. In den äußeren Archipelen und in der offenen Ostsee kommen sie als gelblich-weiße Flocken vor.

Besonders bei ruhigem Wetter treiben die Blaualgen an die Wasseroberfläche. Sie können in solchen Mengen vorkommen, daß sie einen gelbweißen Brei an der Wasseroberfläche bilden. Sie formen lange Streifen auf der Wasseroberfläche, deren Länge mehrere Kilometer erreichen kann. Diese Streifen liegen im rechten Winkel zur Windrichtung und zeigen das Auftreten von "Slicks" an, ein Effekt, der durch interne Wellen in der Thermohalinen Schicht hervorgerufen wird.

In Küstennähe erstreckt sich die vertikale Verteilung der Blaualgen normalerweise durch die ganze euphotische Zone. In küstenfernen Gebieten scheint ihre Tiefenverteilung hauptsächlich durch windabhängige Turbulenzen beeinflusst zu sein. Bei ruhigem Wetter steigen sie bis dicht an die Oberfläche, mit zunehmendem Wind können sie gleichmäßig verteilt in der Wassersäule gefunden werden.

Aphanizomenon flos-aquae und Nodularia spumigena, die Blaualgenarten, die in den meisten Fällen die Blaualgenblüten in der Ostsee bilden, kommen sehr häufig gemeinsam vor.

Die Zellketten dieser Arten bilden häufig Zusammenballungen, die ein Biotop für zahlreiche sessile und planktische Organismen bilden. Diatomeen, wie Navicula sp., Vorticellen und Bryozoen sowie Peridineen sind oft in den Blaualgenflocken eingeschlossen. Die planktischen Bewohner dieses Kleinbiotops werden durch Flagellaten, Rotatorien sowie Larven und Adulte von Crustaceen gebildet.

Beobachtungen von unfixiertem Material unter dem Mikroskop zeigten, daß Rotatorien der Arten Ketella quadrata und K. cochlearis-recurvispina in der Lage waren, einzelne Zellen von den Blaualgen-Zellketten abzubeißen. Dies könnte ein Weg sein, auf dem Blaualgen direkt in das Nahrungsnetz einbezogen werden. Es waren häufig große Mengen Rotatorien in den Blaualgenflocken zu beobachten, und es liegt die Vermutung nahe, daß die Rolle der Rotatorien in der Ostsee allgemein unterschätzt wird. Ein Grund mag sein, daß sich die Tiere bei Fixierung zur Unkenntlichkeit verformen oder auflösen. Die vielen anderen Zooplankter, die in den Blaualgen-Ballungen gefunden wurden, wie Ciliaten, Polychaeten- oder Krebslarven, finden sicherlich in den Organismen, die die Blaualgen als Substrat benutzen, einen ausreichenden Nahrungsvorrat. Unsicher ist, ob ganze Blaualgenflocken von Fischen und deren Larven gefressen werden.

In-situ-Experimente:

Im August 1972 wurden am Askö-Laboratorium in Schweden in-situ Experimente mit Blaualgen durchgeführt. In diesem Gebiet liegt der Salzgehalt bei ca. 8‰, und es herrschen gute Bedingungen für das Wachstum von Blaualgen.

Besondere Beachtung wurde dem Einfluß des Stickstoffs und Phosphors gewidmet, da sie sowohl das Wachstum der Blaualgen als auch die Anzahl der Heterocysten beeinflussen.

Das Experiment begann kurz nach dem Maximum einer Blüte von Nodularia spumigena und Aphanizomenon sp.. Zwei Eisengestelle, die je 6 Plastikbeutel mit einem Volumen von 800 l enthielten, wurden mit dem umgebenden Wasser gefüllt. In 6 Beuteln wurde das Plankton 5-fach konzentriert. Das Experiment lief über einen Zeitraum von drei Wochen, in dem die Konzentration der Blaualgen und der Heterocysten untersucht wurden. Am Beginn und kurz nach Ende des Experiments wurde die Fähigkeit der Blaualgen zur Stickstofffixierung bestimmt.

Es zeigte sich, daß das Wachstum der Algen bei Phosphatzugabe stark anstieg. Dieses Wachstum wurde nur übertroffen, wenn Phosphat und Nitrat zugefügt wurden. Wurde nur Nitrat zugefügt, war im Vergleich zum Kontrollexperiment lediglich ein geringer Produktionszuwachs zu verzeichnen, der zudem noch durch die Entwicklung einer Diatomeen-Population bedingt sein dürfte.

Sowie Stickstoff zum limitierenden Nährstofffaktor wurde, nahm die Zahl der Heterocysten zu. In solchen Populationen war die Fähigkeit zur Stickstofffixierung deutlich höher als in anderen.

1c) Untersuchungen zur Primärproduktion in der Kieler Förde

Seit dem Jahre 1974 wurden in der inneren Kieler Förde in Zusammenarbeit mit der Abteilung Marine Mikrobiologie und der Abteilung Marine Planktologie des IfM Untersuchungen der Primärproduktion organischen Kohlenstoffs und relevanter Umweltfaktoren durchgeführt, wie Chlorophyllgehalt des Sestons, Temperatur, Salzgehalt (KREY, unveröff. Daten), Phosphat-, Stickstoff- und Sauerstoffgehalt des Wassers (RHEINHEIMER, unveröff. Daten). Im Vergleich mit Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen in nahezu abwasserfreien Gebieten der Kieler Bucht (v.BODUNGEN, 1975) lassen sich so Rückschlüsse auf den Einfluß abwasserbedingter erhöhter Nährstoffkonzentrationen auf das Plankton ziehen.

Bei der untersuchten Station (Reventlou-Brücke) handelt es sich um ein relativ flaches Meeresgebiet (8 m Wassertiefe), das bedingt durch Windeinfluß und ständigen Schiffsverkehr so gut wie keine Schichtung der Wassersäule aufweist (Abb. 3). Lediglich im August 1974 kommt es zu einem Einstrom salzarmen Oberflächenwassers, das zur Ausbildung einer Sprungschicht führt. Dieser Einstrom führt zu einer starken Verminderung des Phosphatgehalts des Oberflächenwassers um über 75% (Abb. 4). Gleichzeitig führt diese Schichtung auf Grund des fehlenden Austausches zwischen den beiden Wasserkörpern zu einer starken Sauerstoffzehrung in den Bodenschichten, die den Sauerstoffgehalt hier bis auf 2,67 mg O₂/l absinken läßt. Hervorgerufen wird dieser Effekt durch die Remineralisation organischer Substanz, deren Bestand in den Monaten Juli-August sein Jahresmaximum erreicht (Abb. 5). Auch die Primärproduktion organischen Kohlenstoffs erreicht zu dieser Zeit ihren Jahreshöchstwert mit ca. 600 mgC/m²h im Juli und ca. 220 mg C/m²h Ende August (Abb. 6). Diese hohe Produktion führt zu einer drastischen Verminderung des Gehalts des Wassers an Stickstoff-Nährsalzen (Abb. 7,8 und 9). So beträgt der Nitratgehalt des Wassers im Januar ca. 425 µg/l, im Juli/August jedoch lediglich ca. 10 µg/l. Ein entsprechendes Bild liefert der Nitritgehalt.

Die Hauptstickstoffquelle für das Phytoplankton in den Sommermonaten bildet Ammoniak. Nitrifizierung findet während der Sommermonate kaum statt.

Auch während der Sommermonate ist jedoch der Nährstoffgehalt des Wassers im Verhältnis zu relativ abwasserfreien Meeresgebieten recht hoch. So zeigt z.B. Abb. 2 den Phosphatgehalt des Wassers an der Station Reventlou-Brücke im Vergleich zu einer Station am Leuchtturm Kiel.

Auf der Station in der Innenförde liegen die vergleichbaren Phosphatgehalte um annähernd 400% höher als an der Station Leuchtturm.

Zu keiner Zeit des Jahres sinkt der Nährstoffgehalt des Wassers an der Reventlou-Station auf einen produktionsbegrenzenden Wert. Begrenzender Faktor für das Wachstum der Primärproduzenten ist lediglich die durch Sonneneinstrahlung zur Verfügung stehende Energie. Dies führt im Vergleich zu Gebieten, die kaum mit Abwässern verunreinigt sind, zu außerordentlich hohen Werten der Primärproduktion. Ein Vergleich mit Primärproduktionsraten der Station Boknis Eck am Ausgang der Eckernförder Bucht (v.BODUNGEN, 1975) für das Jahr 1973 zeigt, daß die Maximalproduktion zu Zeiten optimalen Lichtangebots im Juli-August an der Station Reventlou-Brücke um ca. 600% höher liegt, trotz der geringeren Wassertiefe (Abb. 10).

Im März 1974 sind die Produktionswerte beider Stationen annähernd gleich. Zu dieser Jahreszeit ist auch bei Boknis Eck der Nährstoffgehalt kein limitierender Faktor, lediglich das Energieangebot begrenzt die Produktion organischer Substanz. Da dieses Lichtangebot bei beiden Stationen gleich ist, bewegen sich auch die Werte der Primärproduktion in annähernd der gleichen Höhe (ca. $15 \text{ mg C/m}^2 \text{ h}$).

Trotz sehr hoher Raten der Produktion organischer Substanz kommt es zu keiner Zeit des Jahres zu abiotischen Verhältnissen im Wasser auf Grund von H_2S -Bildung. Anders als in stark verschmutzten Teilen der Flensburger Förde, wo zeitweise im Sommer völliger Sauerstoffschwund beobachtet werden kann (GEMEINSAMES KOMITEE FLENSBURGER FÖRDE, 1974), liegt der Sauerstoffgehalt der inneren Kieler Förde jederzeit in einem Bereich, der den Bedürfnissen des Planktons genügt (Abb. 11).

Der Grund hierfür dürfte in der starken turbulenten Vermischung des Wassers durch Wind und Schiffsverkehr zu suchen sein.

Legenden

- Abbildung 1) Die Primärproduktion organischen Kohlenstoffs in der Zeit von Mai bis September 1972 in der Flensburger
- Abbildung 2) Die Primärproduktion organischen Kohlenstoffs in der Periode Mai-September Anfang der 70-er Jahre in verschiedenen dänischen Seegebieten
- Abbildung 3) Der Salzgehalt des Wassers an der Station Reventlou-Brücke im Verlauf des Jahres 1974
○ = 2 m Wassertiefe
● = 8 m Wassertiefe
- Abbildung 4) Der Phosphatgehalt des Wassers im Verlauf des Jahres 1974 in $\mu\text{g PO}_4/\text{l}$
○ = 2 m Wassertiefe Station Reventlou-Brücke
□ = 8 m Wassertiefe Station Reventlou-Brücke
● = 2 m Wassertiefe Station Leuchtturm
- Abbildung 5) Der Chlorophyll-Gehalt des Sestons an der Station Reventlou-Brücke im Laufe des Jahres 1974 in $\mu\text{g/l}$
● = 2 m Wassertiefe
□ = 8 m Wassertiefe
- Abbildung 6) Die Primärproduktion organischen Kohlenstoffs an der Station Reventlou-Brücke im Laufe des Jahres 1974 in $\text{mg C/m}^2 \text{ h}$
- Abbildung 7) Durchschnittlicher NH_4 -Gehalt des Wassers an der Station Reventlou-Brücke im Laufe des Jahres 1974 in $\mu\text{g/l}$
- Abbildung 8) Durchschnittlicher NO_2 -Gehalt des Wassers an der Station Reventlou-Brücke im Laufe des Jahres 1974 in $\mu\text{g/l}$
- Abbildung 9) Durchschnittlicher NO_3 -Gehalt des Wassers an der Station Reventlou-Brücke im Laufe des Jahres 1974 in $\mu\text{g/l}$
- Abbildung 10) Durchschnittliche Bruttoprimärproduktion in $\text{mg C/m}^2 \text{ h}$ an der Station Boknis Eck im Laufe des Jahres 1973-1974
- Abbildung 11) Durchschnittlicher O_2 -Gehalt des Wassers an der Station Reventlou-Brücke in mg/l im Laufe des Jahres 1974

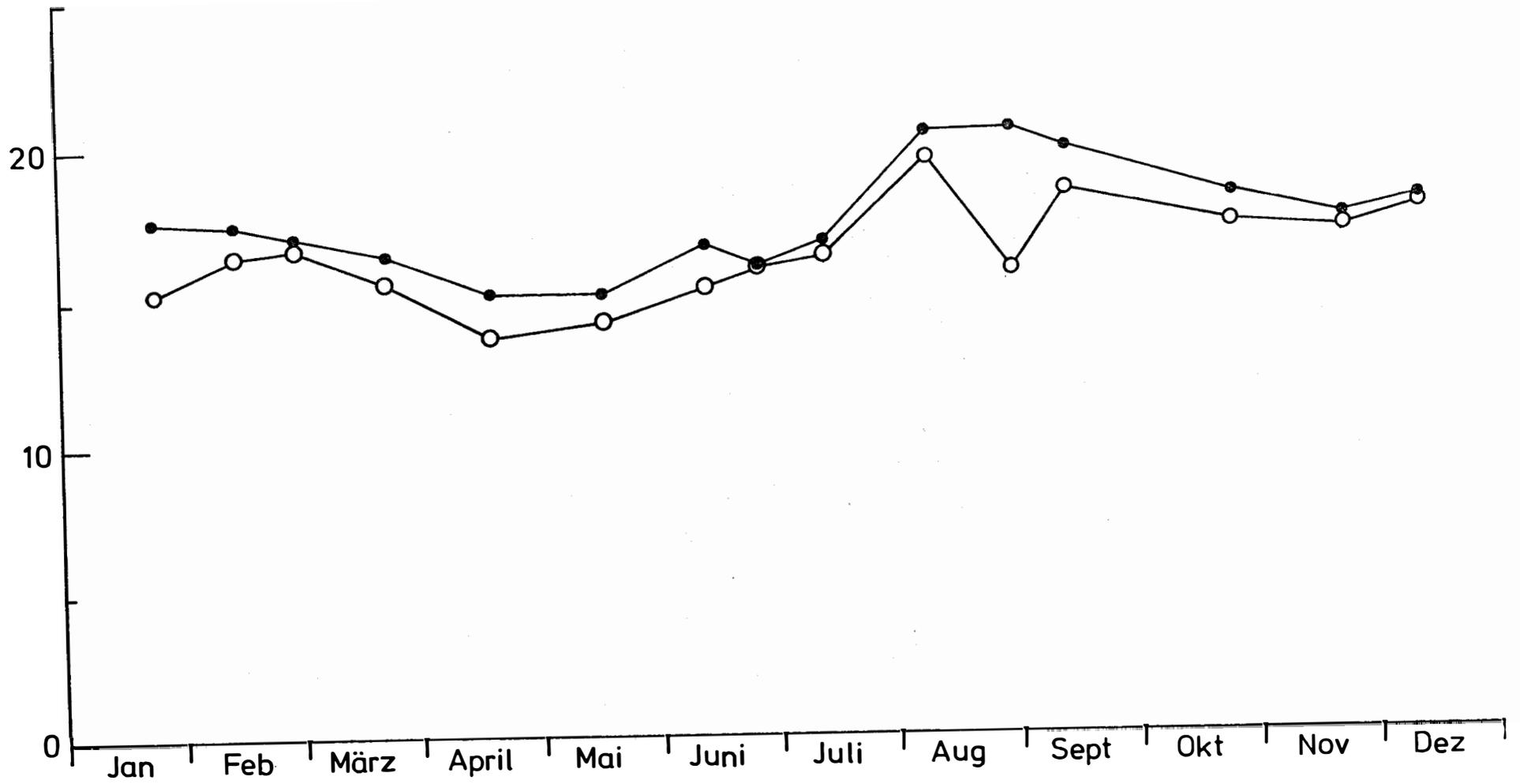
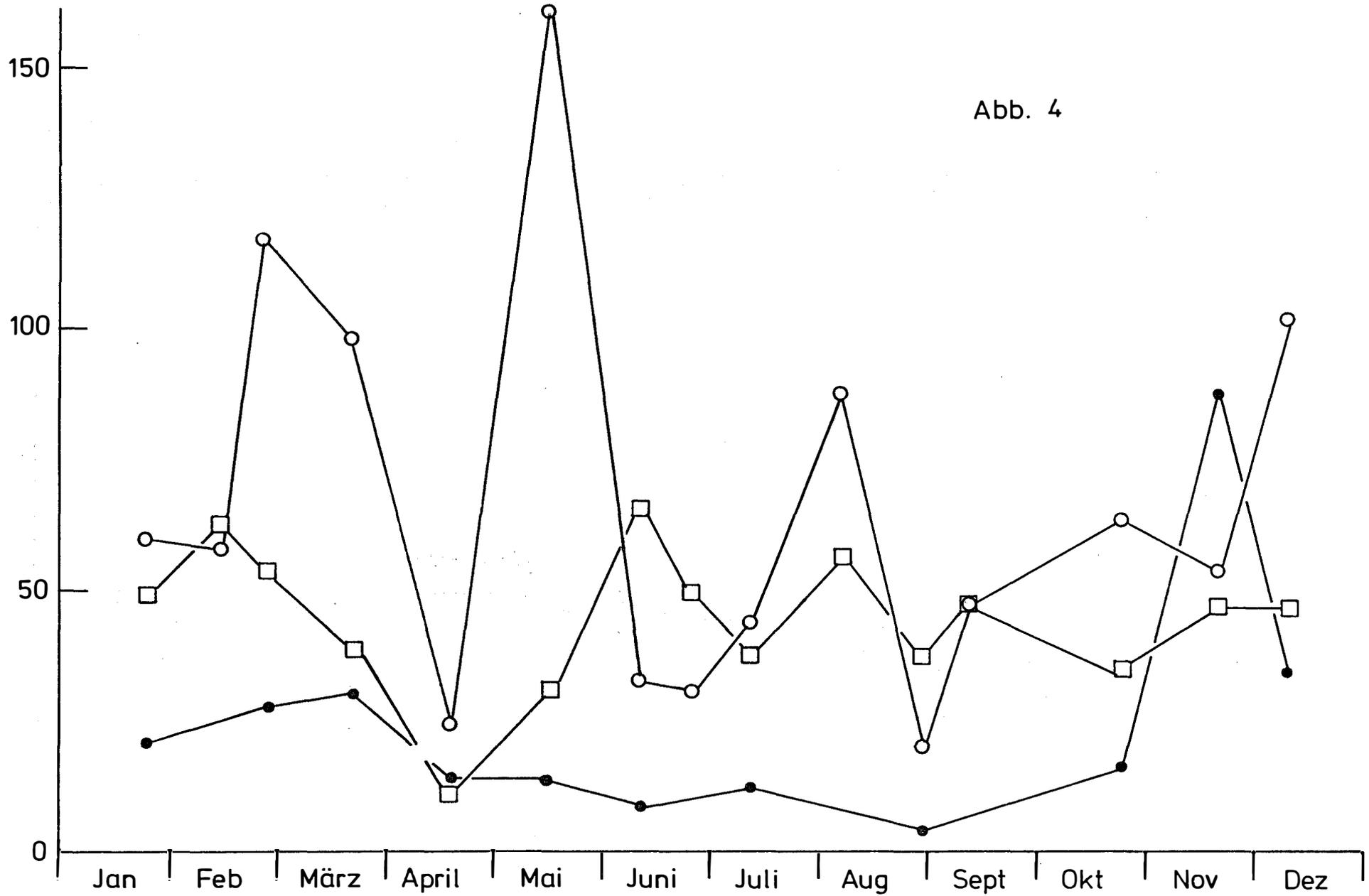


Abb. 3



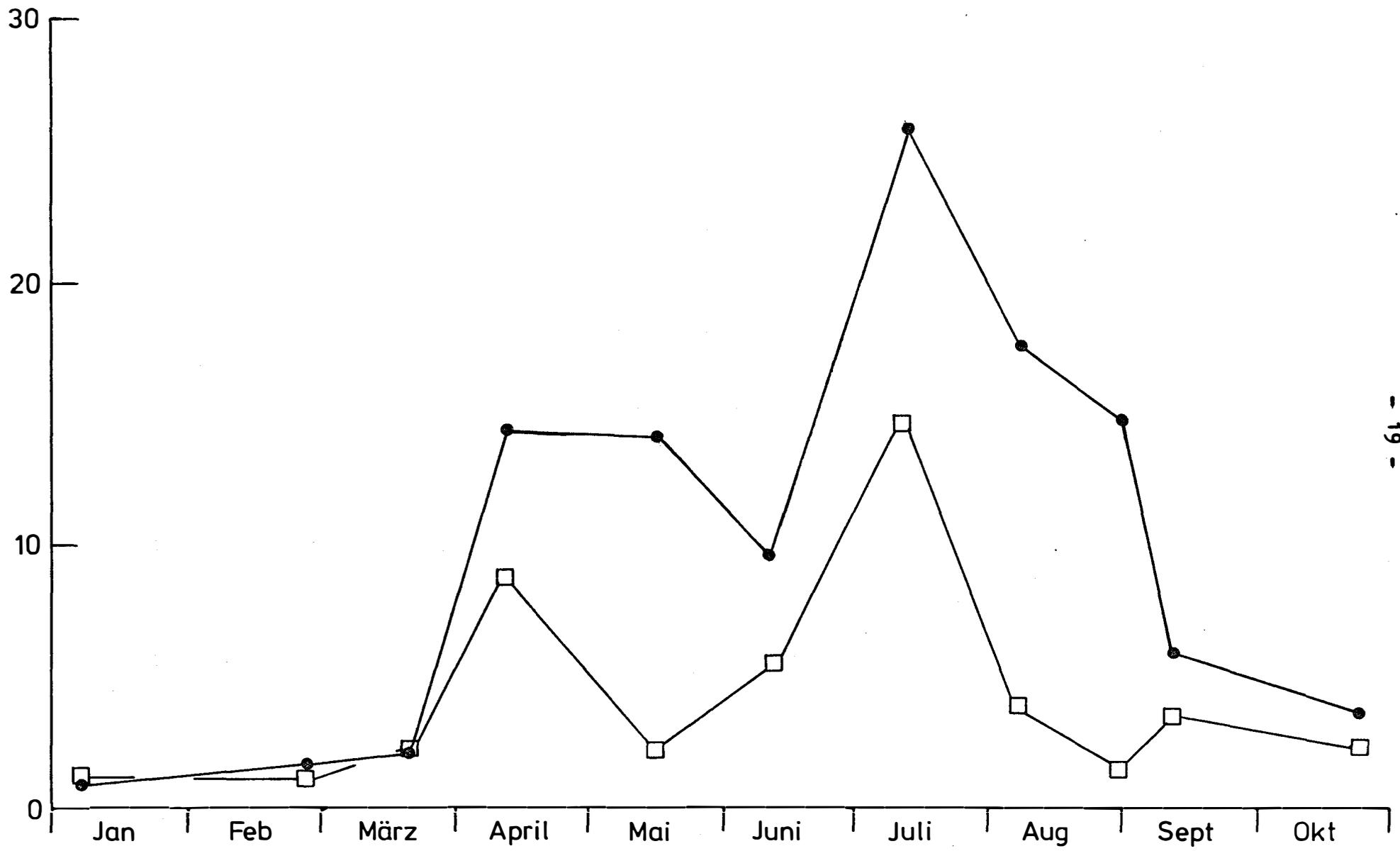


Abb. 5

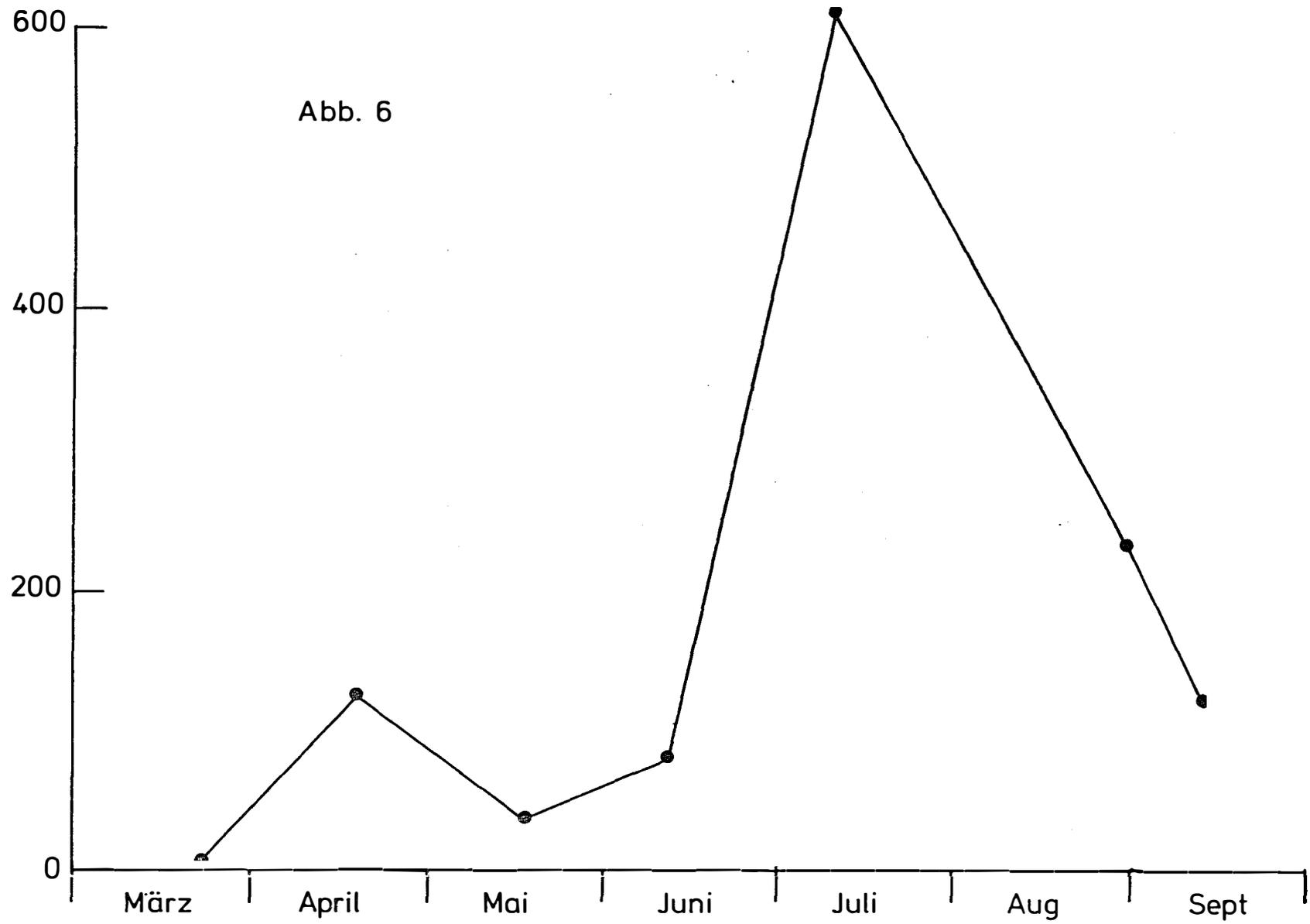
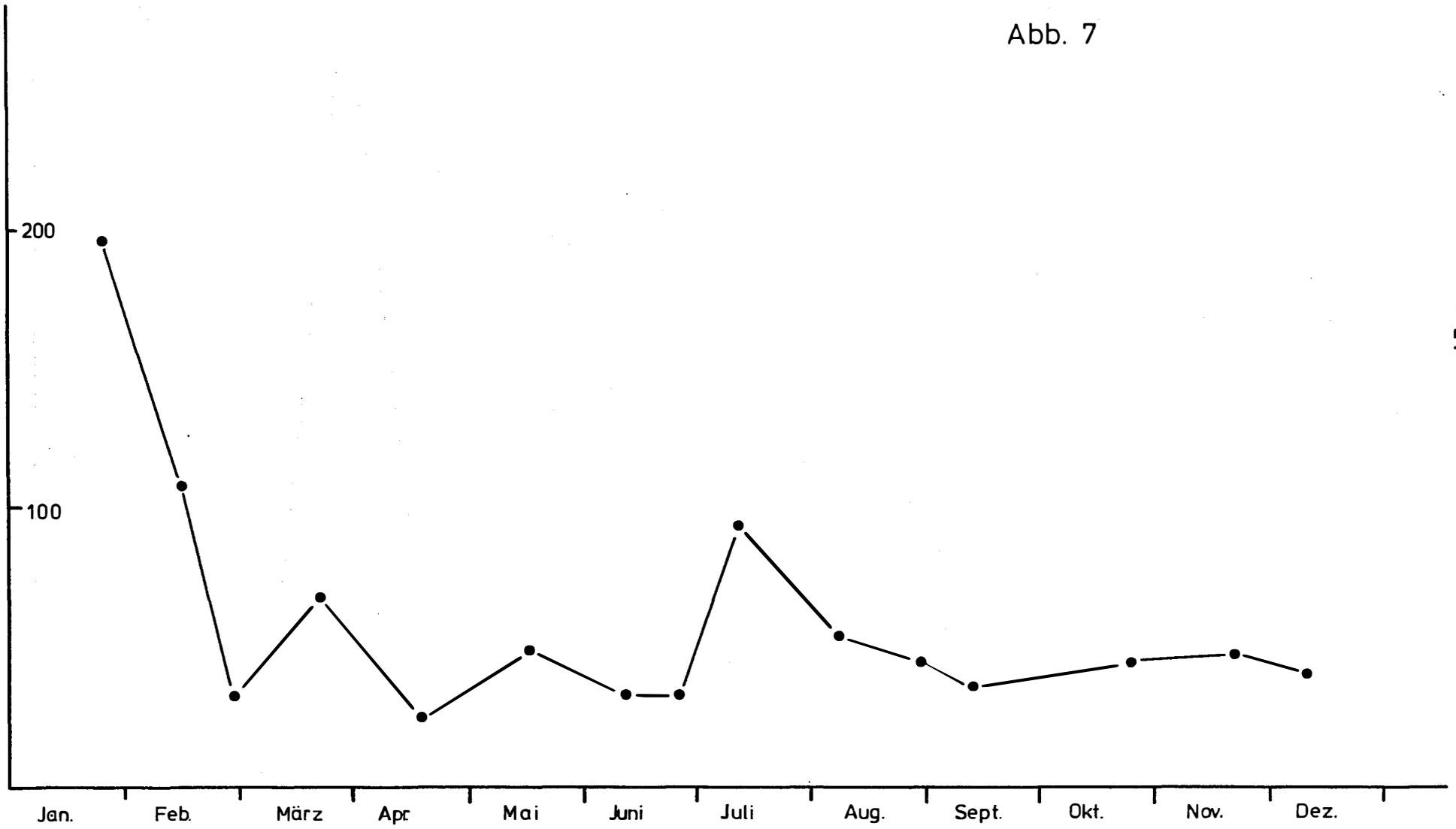
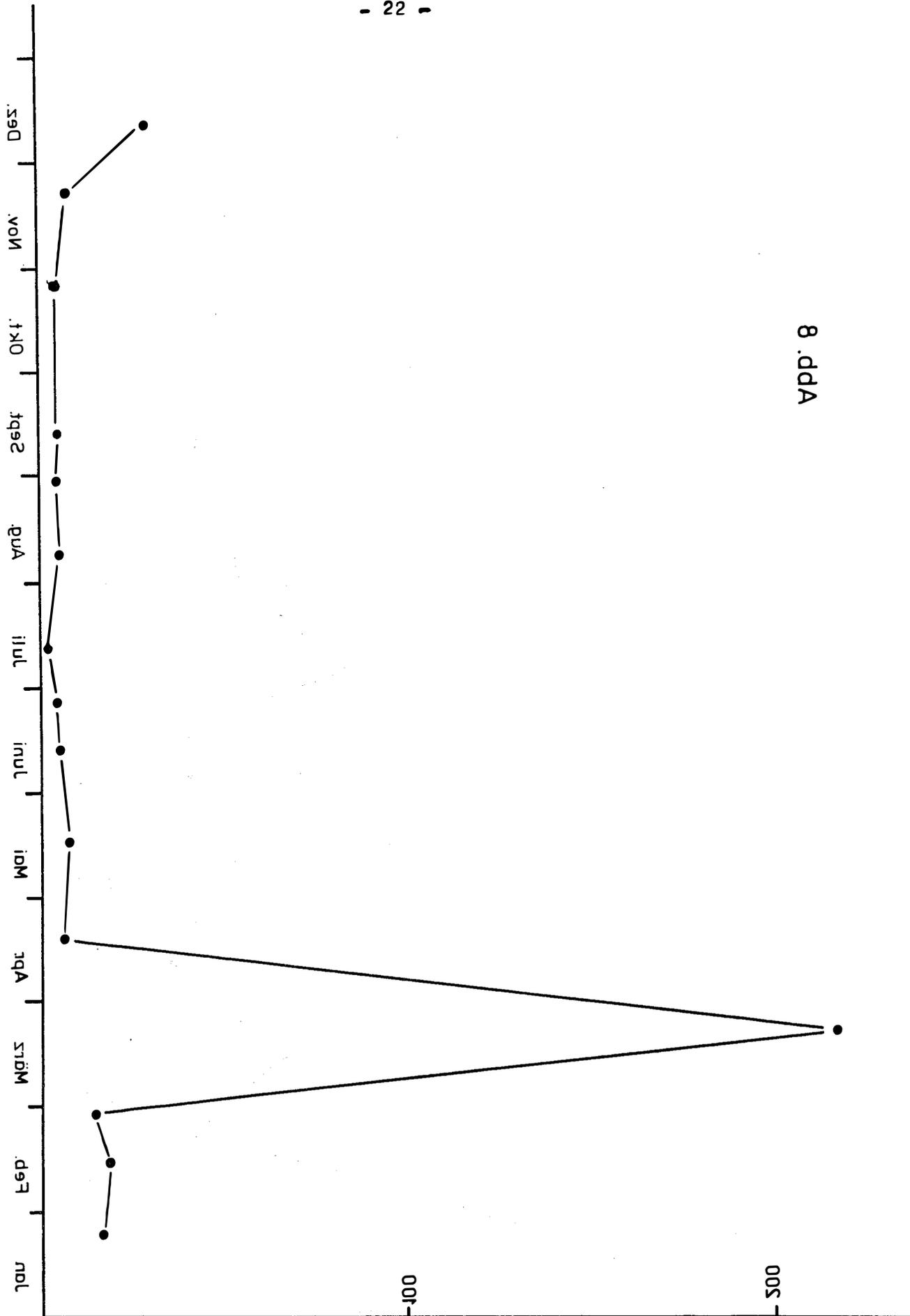


Abb. 6

Abb. 7





APP. 8

Abb. 9

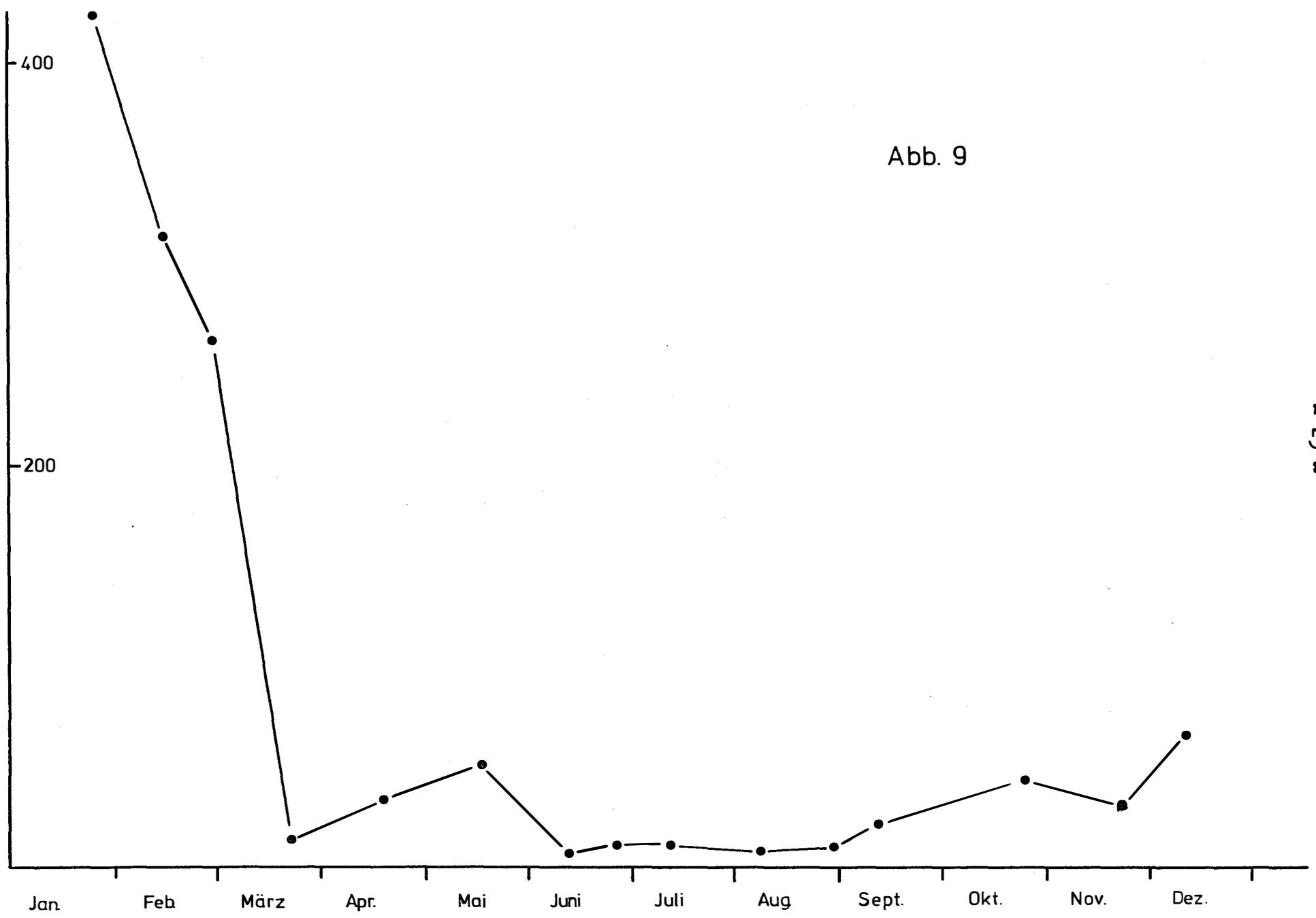


Abb. 10

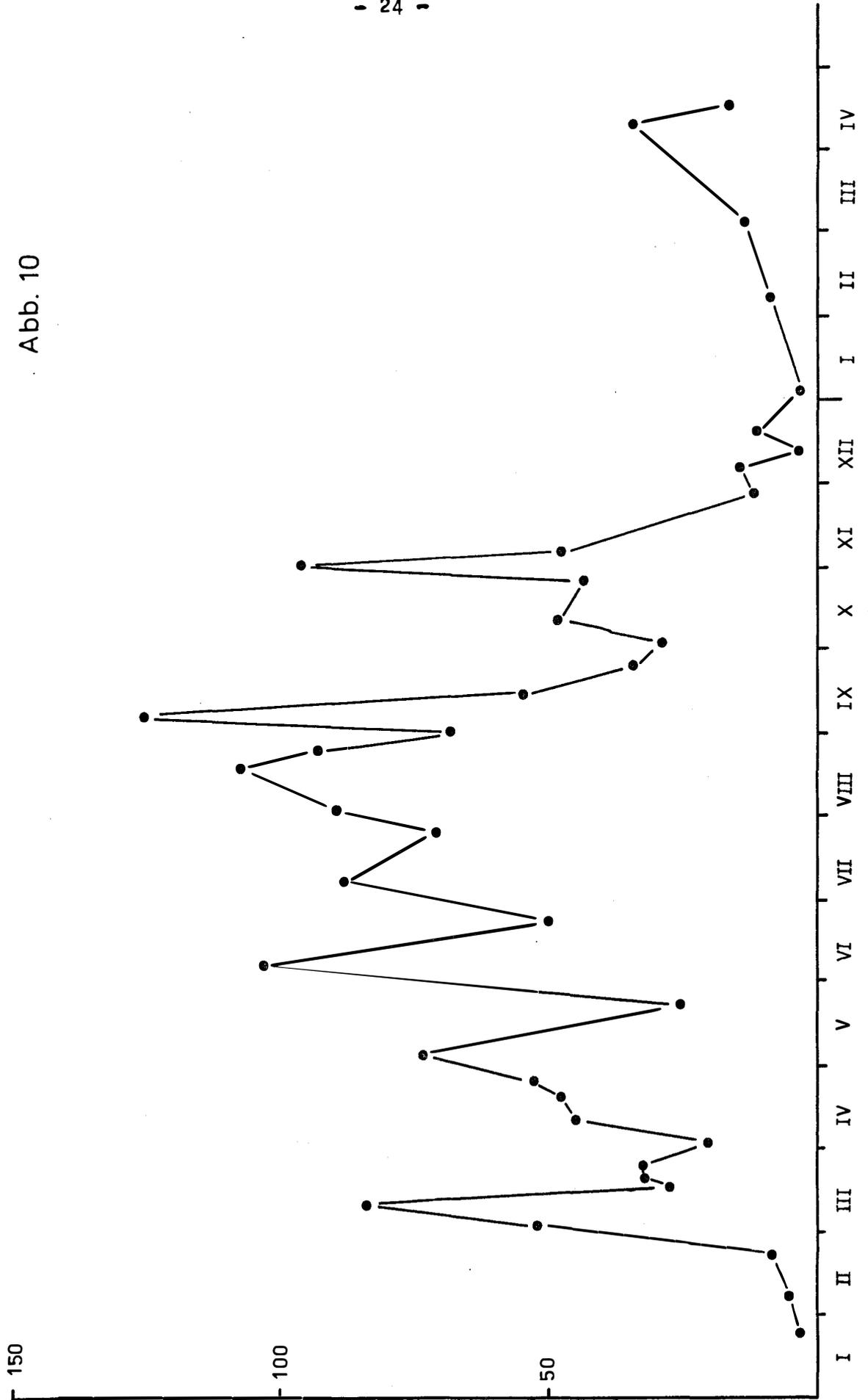
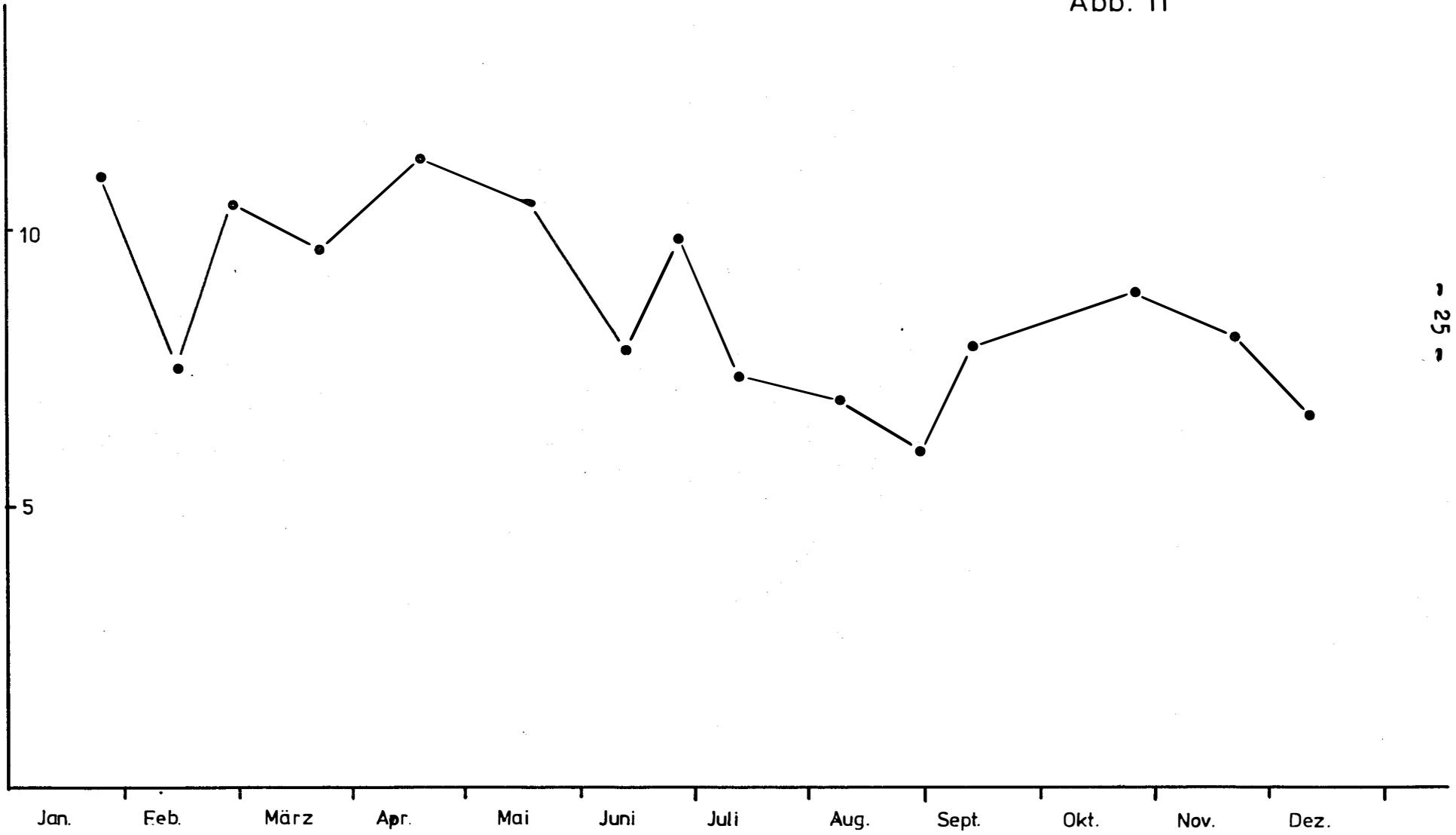


Abb. 11



2) In-situ Versuche zum Einfluß verschieden starker Abwasserkonzentrationen auf natürliche Planktonpopulationen in abgeschlossenen Wasserkörpern (HANSEN, unveröff. Daten).

Bis zum Sommer 1974 wurden drei Versuchsserien mit abgeschlossenen Wasserkörpern durchgeführt:

1. - 19.10.1973
3. - 15. 4.1974
- 26.8. - 1. 9.1974

Versuchsordnung:

In der Stickenhörner Bucht (Kieler Förde) waren an einem Eisengestell 6 Plastikbeutel mit je 400 l Fassungsvermögen verankert (Durchmesser 40 cm, Länge 300 cm). Alle Beutel wurden mit dem umgebenden Wasser gefüllt. Zwei der Beutel wurden mit 0,5 % Abwasser (je 2 l), zwei mit 2 % Abwässern (je 8 l) versetzt. Die restlichen zwei Beutel wurden als Kontrollexperiment nicht mit Abwässern versetzt.

Das Abwasser entstammte dem Klärwerk Bülk, es war mechanisch gereinigt. Nach sorgfältigem Vermischen mit einem Rührer wurden die Proben entnommen.

Folgende Parameter wurden gemessen:

Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff, Chlorophyll, Seston, Kohlenstoff, Stickstoff, Orthophosphat, Gelöste organische Phosphate, Gelöste Polyphosphate, Partikulärer Phosphor und Gesamtphosphat, Artenzusammensetzung des Phytoplanktons.

Versuch 1. - 19.10.1973:

Die Wassertemperatur betrug zunächst 13° C, sank dann auf 9° C gegen Ende des Versuchs ab. Die Probennahme erfolgte jeden zweiten Tag. Eine zunehmende Abwasserkonzentration führte zu einer zeitlichen Verschiebung des Beginns der Planktonmassenentwicklung, führte jedoch andererseits zu einer wesentlichen Steigerung der Maxima im Chlorophyll-, Seston-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt.

Für die Kontrollversuche lagen die Maxima des Chlorophylls am 7. Versuchstag, für die mit 0,5 % Abwasser am 9. Tag. In den mit 2 % Abwässern versetzten Beuteln erreichte das Chlorophyll sein Maximum am 11. Versuchstag.

Zwischen Abwasserkonzentration und Chlorophyllgehalt bestand eine lineare Abhängigkeit. Eine Verdoppelung der Abwasserkonzentration führte zu einer Verdoppelung des Gehalts an Chlorophyll (Abb. 12, 14, 16, 18 und 20). Den Hauptteil der relativ großen Menge gelöster Phosphate stellte das Orthophosphat. Im Laufe des Versuchs nahm sein Gehalt stark ab und erreichte 2 Tage nach dem Maximum des Chlorophylls seinen Minimalwert. Danach erfolgte erneuter Anstieg (Abb. 13, 15, 17, 19 und 21).

Die organischen gelösten Phosphate erreichten ihre Maxima in allen Beuteln zusammen mit den Chlorophyllwerten, sinken jedoch nicht wieder ab. Dieses deutet auf Abbauprozesse hin, bei denen gelöste organische Phosphate freigesetzt werden.

Bei den gelösten Polyphosphaten sind die Schwankungen verglichen mit den anderen Phosphatfraktionen gering, ihre Tendenz entspricht jedoch denen der gelösten organischen Phosphate (Abb. 13, 15, 17, 19 und 21).

Der partikuläre Phosphor zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Chlorophyll- bzw. Sestonwerten (Abb. 12, 14, 16, 18 und 20).

Hauptbestandbildner sind in allen Beuteln die Diatomeenarten Skeletonema sp. und Chaetoceros sp.

Versuch 3. - 15.4.1974:

Die Wassertemperatur lag bei 8 - 9° C. Die Probennahme erfolgte jeden Tag. Die Veränderungen des Chlorophyll-, Seston-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts sind in ihrer Tendenz ähnlich denen des Herbstversuchs. Es zeigen sich jedoch sehr viele kurzfristige Schwankungen, die im Herbstversuch auf Grund der 2-tägigen Probennahme nicht erfaßt wurden. Auch bei diesem Versuch ist die eutrophierende Wirkung der Abwässer dieselbe wie im Herbstversuch, die Maxima sind jedoch sehr viel früher erreicht, so lag das Chlorophyllmaximum im Kontrollversuch schon am 2. Tag, während es bei den Versuchen mit 0,5 % und 2 % Abwasserbelastung am 4. Tag erreicht wurde.

Die Gesamtheit der gelösten Phosphate betrug 33 % der Menge, die während des Versuchs im Oktober 1973 festgestellt wurde. Der Hauptteil der gelösten Phosphate wurde durch die organische Fraktion gebildet.

Auch in diesem Versuch konnte eine Korrelation mit dem Chlorophyllgehalt des Sestons festgestellt werden.

Versuch 26.8. - 1.9.1974:

Die Wassertemperatur betrug 18° C. Es erfolgte tägliche Probennahme. Aus ersten Ergebnissen dieses Versuches lassen sich folgende Tendenzen feststellen. Im Kontrollversuch sowie in den mit Abwässern versetzten Beuteln erfolgte eine Bestandszunahme bis zum 4. Tag des Versuchs. Der Bestand des Planktons in den mit 0,5 % und 2 % Abwasser versetzten Beuteln liegt deutlich höher als im Kontrollexperiment. Detaillierte Ergebnisse folgen im Rahmen einer Dissertationsarbeit.

Legenden

Sackversuch in der Stickenhörner Bucht (Kieler Bucht) im Herbst 1973
(1.-19. Oktober)

- Abbildung 12) Beutel 1 $\hat{=} 0$ ‰ Abwasser (= Kontrolle)
Vergleich zwischen Chl.a, Seston und part.P
- Abbildung 13) Beutel 1, Vergleich zwischen 3 Phosphatfraktionen
(anorg. gel. PO_4 , org. gel. PO_4 und gel. Poly- PO_4)
und dem gel. Gesamt- PO_4
- Abbildung 14) Beutel 2 $\hat{=} 0$ ‰ Abwasser (Parallelkontrolle)
Vergleich zwischen Chl.a, Seston und part.P
- Abbildung 15) Beutel 2, wie Abb. 13 Phosphatfraktionen
- Abbildung 16
und 17) Beutel 3 $\hat{=} 0.5$ ‰ Abwasser
Abb. 16: Chl.a, Seston und part.P
Abb. 17: gel. Gesamt- PO_4 , anorg. gel. PO_4 , org. gel. PO_4 ,
gel. Poly- PO_4
- Abbildung 18
und 19) Beutel 5 $\hat{=} 2$ ‰ Abwasser
Abb. 18: Chl.a, Seston und part.P
Abb. 19: gel. Gesamt- PO_4 , anorg. gel. PO_4 , org. gel. PO_4 ,
gel. Poly- PO_4
- Abbildung 20
und 21) Beutel 6 $\hat{=} 2$ ‰ Abwasser (Parallelele)
Abb. 20: Chl.a, Seston und part. P
Abb. 21: gel. Gesamt- PO_4 , anorg. gel. PO_4 , org. gel. PO_4 ,
gel. Poly- PO_4

Beutel 1

Herbstversuch 1973

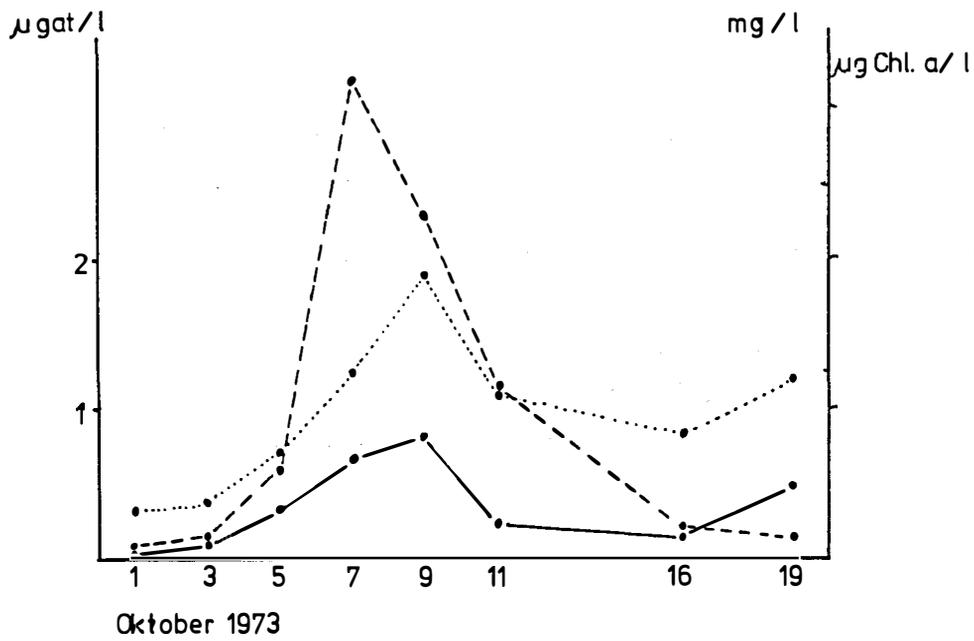


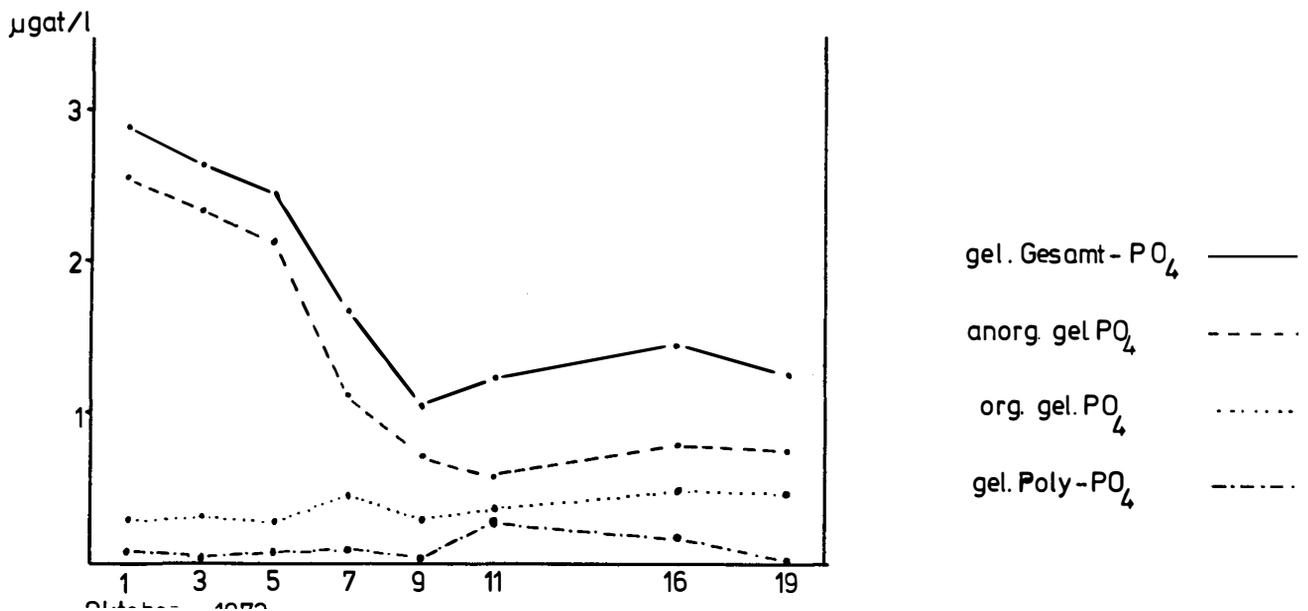
Abb. 12

Chlorophyll a

Seston

part. Phosphor

Abb. 13



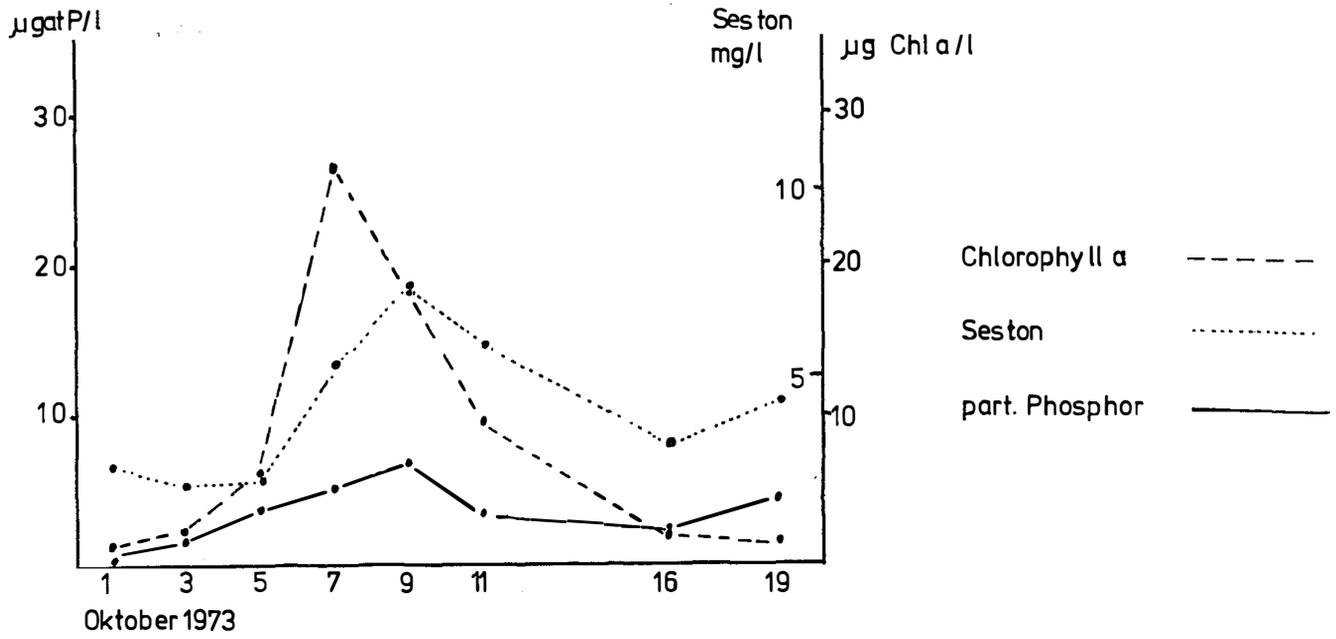
gel. Gesamt- PO_4

anorg. gel PO_4

org. gel. PO_4

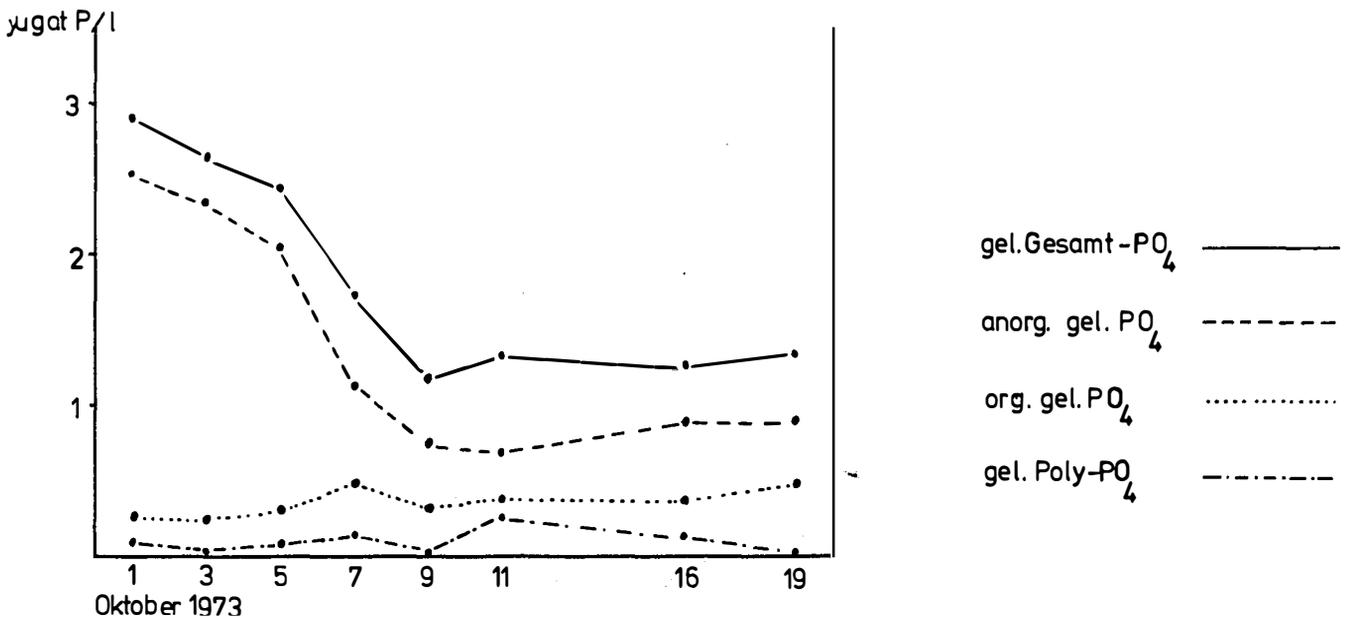
gel. Poly- PO_4

Abb. 14

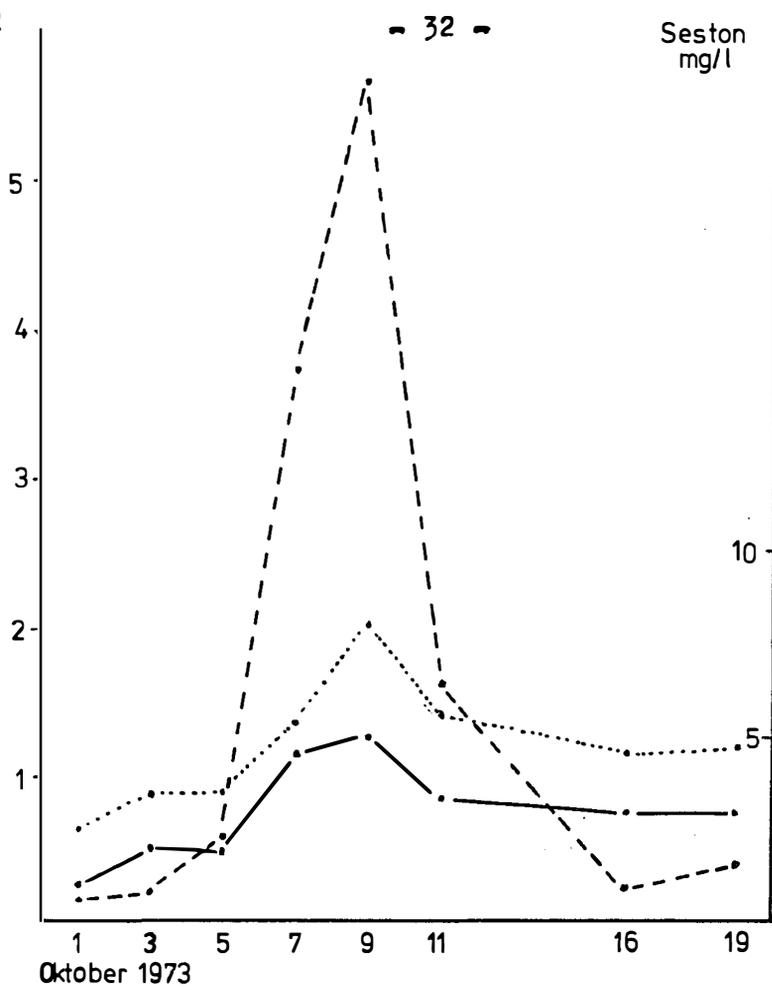


Beutel 2 Herbstversuch 1973

Abb. 15



$\mu\text{gat P/l}$



Seston
mg/l

$\mu\text{g Chl. a/l}$

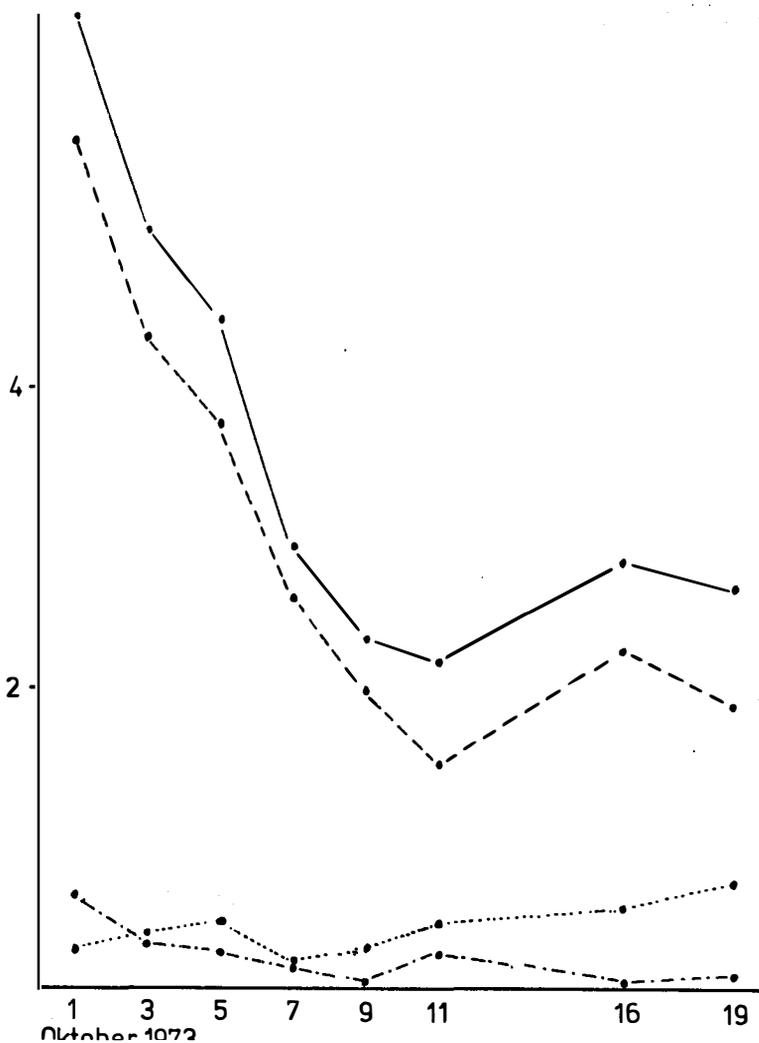
Abb. 16

Chlorophyll a

Seston

part. Phosphor

$\mu\text{gat P/l}$



Beutel 3

Herbstversuch 1972

Abb. 17

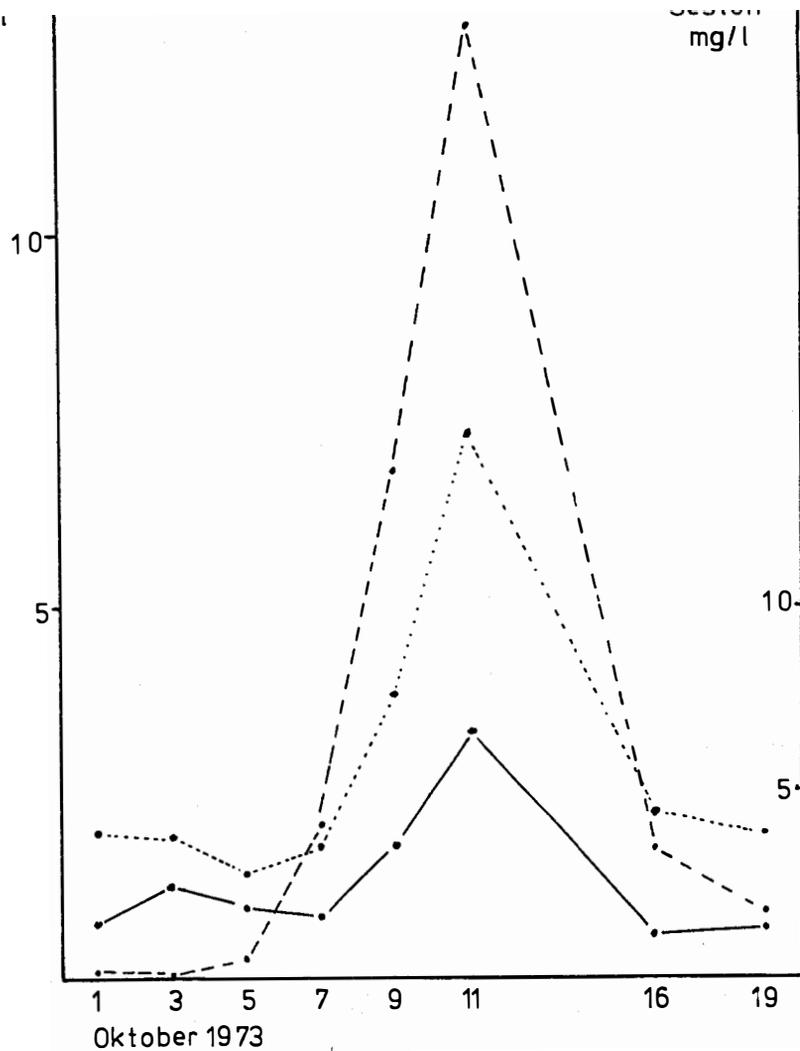
gel.Gesamt- PO_4

anorg.gel. PO_4

org.gel. PO_4

gel. Poly- PO_4

$\mu\text{g/l}$



Seston
mg/l

$\mu\text{g/l}$

= 33 =

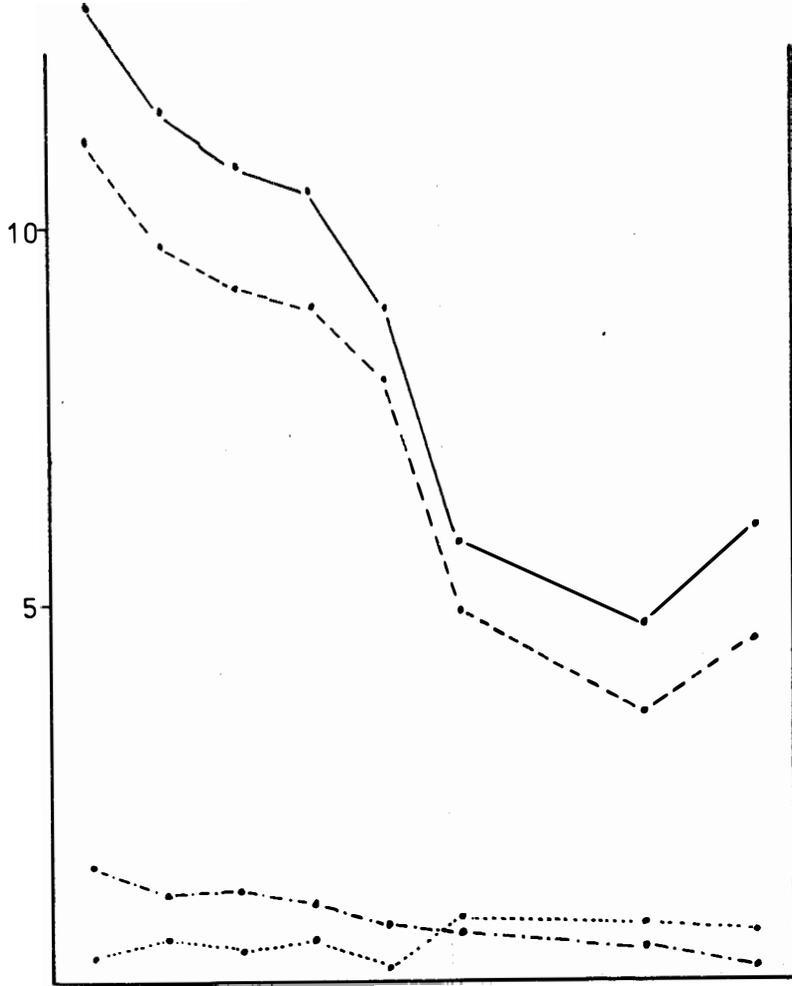
Abb. 18

Chlorophyll a 

Seston 

part. Phosphor 

$\mu\text{g/l}$



Beutel 5

Herbstversuch 197

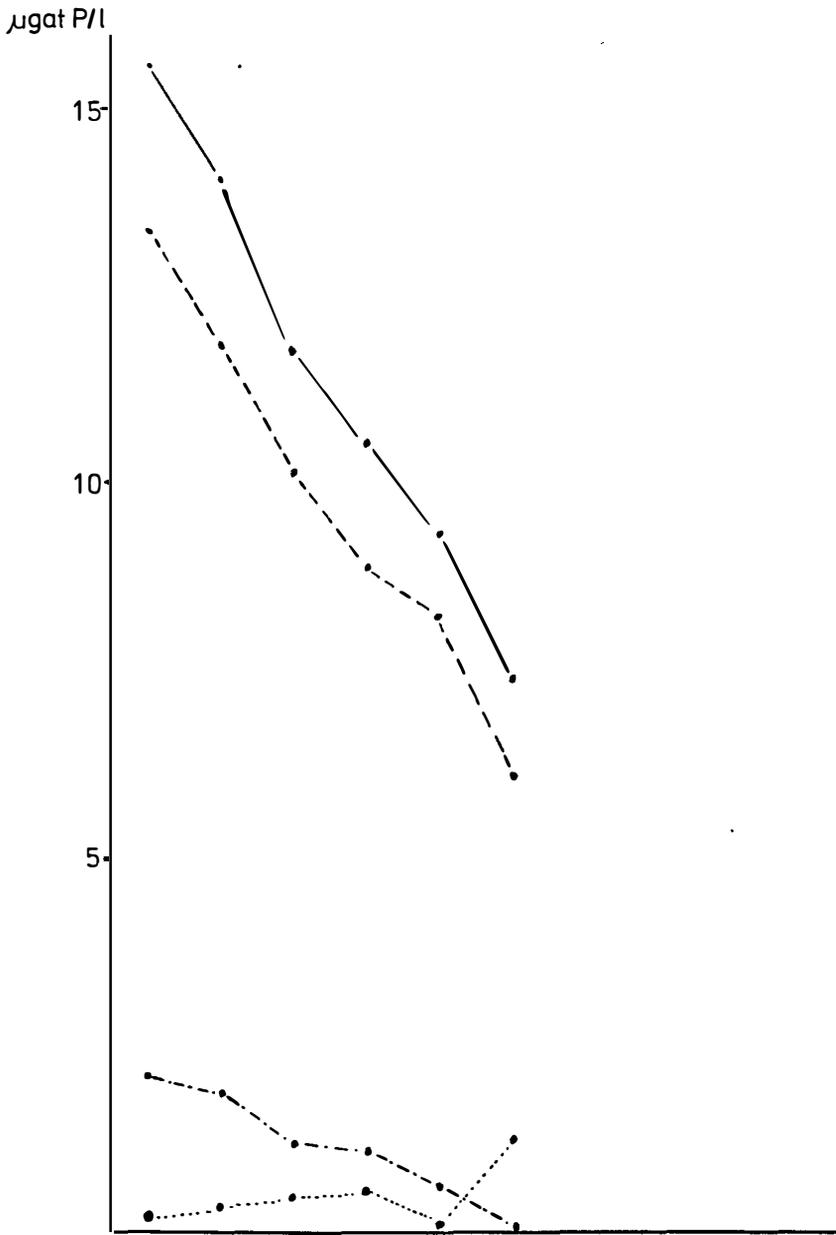
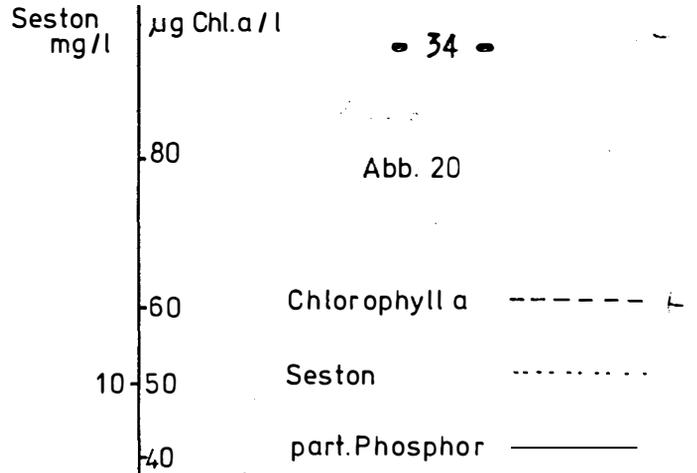
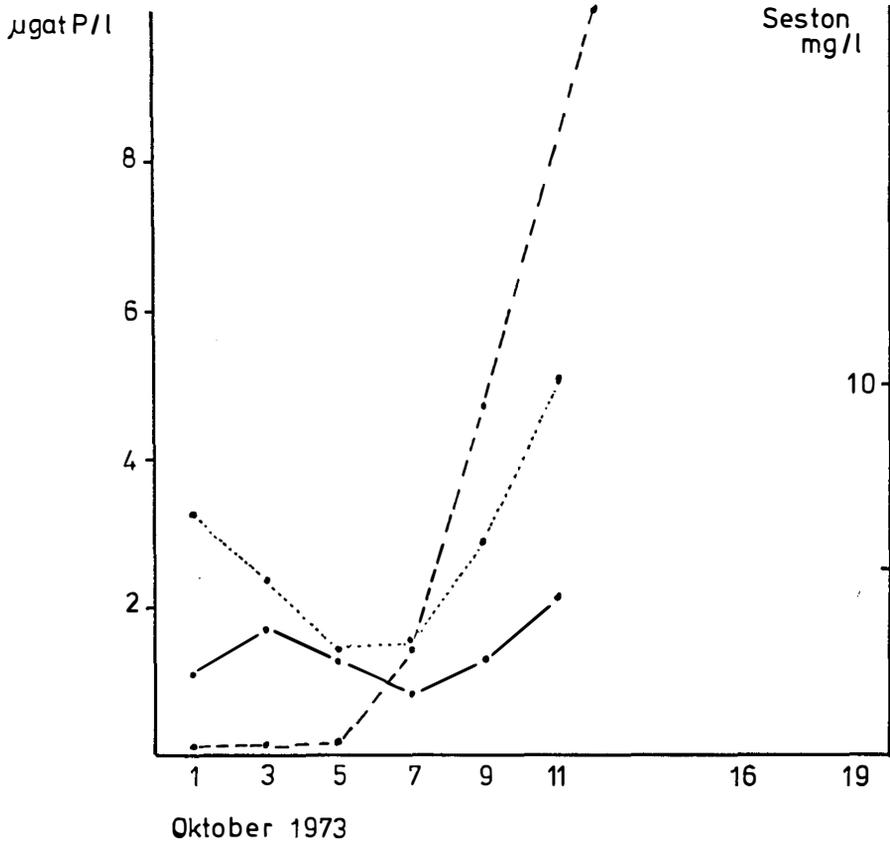
Abb. 19

gel. Gesamt PO_4 

anorg. gel. PO_4 

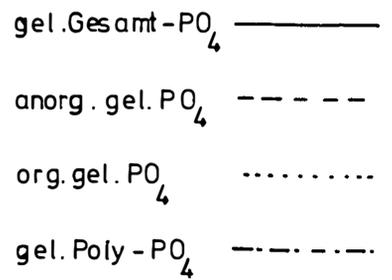
org. gel. PO_4 

gel. Poly- PO_4 



Beutel 6 Herbstversuch 1973

Abb. 21



3) Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von Schwermetallen im Plankton sowie die Bestimmung des tatsächlichen Schwermetallgehalts des Planktons in der Ostsee (WEIGEL, unveröff. Daten)

Die elementare Zusammensetzung der marinen Organismen beschäftigte Biologen und Chemiker seit Anfang dieses Jahrhunderts. Diese Untersuchungen beschäftigten sich vorwiegend mit den Hauptbestandteilen des Seewassers. In den letzten Jahren traten jedoch auf Grund der seitdem immer mehr in Erscheinung tretenden Umweltverschmutzung mehr und mehr Arbeiten über die Akkumulation von Spurenelementen in den Vordergrund der Untersuchungen.

Für den Ostseeraum ist festzustellen, daß entsprechende analytische Anstrengungen bisher kaum unternommen wurden. Daten über die Schwermetallkonzentrationen im Wasser publizierten bisher nur wenige Autoren, und über die Metallanreicherungen in der partikulären Substanz liegen noch keine Ergebnisse vor, obwohl feststeht, daß die Ostsee als ein stark gefährdetes marines Ökosystem angesehen werden muß. Es wurde daher eine neue Methode zur Bestimmung von Spurenmetallen im Seston mittels flammenloser Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) entwickelt.

Um Spurenmetalle in der partikulären Substanz zu analysieren, wird normalerweise das auf Filtern angereicherte Seston durch eine Naßveraschung mit HCl , HNO_3 oder H_2O_2 zerstört.

In Anbetracht der Tatsache, daß die bisher benutzten Filter verhältnismäßig hohe Metallkonzentrationen aufweisen, mußten verhältnismäßig große Mengen Probenwasser filtriert werden. Dies verursacht einen hohen Zeitaufwand. Weiterhin wurden in die Proben durch die zur Veraschung notwendigen Chemikalien Spuren der zu analysierenden Metalle eingeschleppt, außerdem nahm der gesamte Veraschungsprozeß viel Zeit in Anspruch. Eine hier dargestellte neuentwickelte Methode umgeht diese Nachteile.

Ihr Prinzip besteht in einem trockenen Aufschluß des Probenmaterials in der Küvette des Atomabsorptionsspektrometers.

Hierzu wurde das Seston durch Filtration von 500 ml Probenwasser auf Nucleoporfiltern angereichert, anschließend wurden die Filter bei 70°C 12 Stunden getrocknet. Diese Filter werden in Quarzkolben überführt und mit 10 ml destilliertem Chloroform versetzt. Im Chloroform können nach einfacher Destillation keine Spurenelemente mehr nachgewiesen werden.

Die Filter lösen sich schnell in dem Chloroform, die partikuläre Substanz liegt nach einer kurzen Ultraschallbestrahlung homogen verteilt vor.

Vor jeder Probeninjektion, die mittels Eppendorf-Mikroliterpipetten durchgeführt wurde, muß die Probe sorgfältig geschüttelt werden. Es wurde für die Metalle Kupfer, Eisen, Cadmium, Blei und Zink ein Temperatur-Zeitprogramm erarbeitet, das in Tabelle 1 wiedergegeben ist. Abb. 22 zeigt einen typischen Registrierkurvensatz für die einzelnen Schwermetalle, Abb. 23 als Vergleich den Schwermetallgehalt in destilliertem CHCl_3 (a), in 5 verschiedenen Nucleoporfiltren (b) und in einer Sestonprobe, die 7-mal nacheinander analysiert wurde (c). Zur Bestimmung der Schwermetallkonzentration in der partikulären Substanz wurde die Additionsmethode benutzt.

Die Genauigkeit der Methode ist in Tab. 2 wiedergegeben. Die Standardabweichung, die zwischen 7 % und 15 % liegt, entspricht der der Naßveraschung.

Mit dieser neu entwickelten Analysenmethode wurden 100 Sestonproben, die auf einer Fahrt durch die Ostsee, von der Beltsee bis in den Finnischen Meerbusen, gesammelt wurden, auf den Gehalt an Blei, Kupfer, Cadmium, Eisen und Zink analysiert. Weiterhin wurden gleichzeitig verschiedene andere biotische und abiotische Parameter gemessen. Die Auswertung dieser Ergebnisse ist noch nicht ganz abgeschlossen, aber schon jetzt kann folgendes festgestellt werden: Vertikale und horizontale Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Konzentration der analysierten Schwermetalle lassen sich nicht erkennen. Es läßt sich kein signifikanter Unterschied in der Verteilung der Schwermetallkonzentration in den beiden vorhandenen Wasserkörpern nachweisen. Auf Grund der verhältnismäßig kleinräumigen Heterogenität lassen sich für Blei und Kupfer keine großräumigen Gliederungen unterscheiden, während für Eisen der Konzentrationsbereich von 1000 bis 5000 ppm, für Zink von 100 bis 500 ppm und für Cadmium der Konzentrationsbereich von 1-5 ppm einen großen Teil des Untersuchungsgebiets einnimmt.

Der Mittlere Konzentrationsbereich für Blei wurde mit 123 ppm bestimmt. Dieser Wert liegt bedeutend höher als die bisher publizierten Werte.

Das gleiche trifft für Cadmium mit einem Mittelwert von 5,2 ppm zu. Diese beiden Aussagen stimmen mit denen über bisher analysierte Wasserproben überein (KREMLING, BRÜGMANN, SEGNUPTA, 1974).

Für die drei restlichen Metalle Kupfer, Eisen und Zink betragen die Mittelwerte der Konzentrationen 61 ppm, 3430 ppm bzw. 733 ppm. Vergleicht man diese Werte eingehend mit den bisher publizierten Werten, lassen sich keine wesentlichen Unterschiede zu früheren Untersuchungen feststellen.

Tab. 1: Temperatur-Zeit-Programm für die Metalle Blei, Cadmium und Eisen

Pb (283,3 nm)

Schritt	(1) ^a	(1) ^b	(2) ^c	(3) ^d	(4) ^e
Temp (°C)	65	100	520	2045	---
Zeit (sec)	60	60	60	10	60

Cadmium (228,8 nm)

Schritt	(1) ^a	(1) ^b	(2) ^c	(3) ^d	(4) ^e
Temp (°C)	65	100	275	1830	---
Zeit (sec)	60	60	120	10	60

Eisen (248,3 nm)

Schritt	(1) ^a	(1) ^b	(2) ^c	(3) ^d	(4) ^e
Temp (°C)	65	100	1135	2540	---
Zeit (sec)	60	60	60	10	60

a: Verdampfung des Chloroforms

b: Verdampfung des zugefügten Standards

c: Thermische Zerstörung des organischen Materials

d: Atomisierung

e: Kühlperiode

Tab. 2: Präzision der Methode

Metall	Rel.Stand. abweich.(%)	Anzahl d. Analysen	mittlere Me- konzentration (ppm)
Cu	11	7	18.0
Cd	7	8	6.8
Pb	9	8	43.0
Fe	12	7	1390.0
Zn	15	8	210.0

Legenden

Abbildung 22) Registrierkurvensatz für die Metalle Cu und Fe (S:Probe

Abbildung 23) Vergleich der Schwermetallgehalte in Chloroform (a)
in fünf verschiedenen Nucleoporefiltern (b) und in
einer Sestonprobe (c)

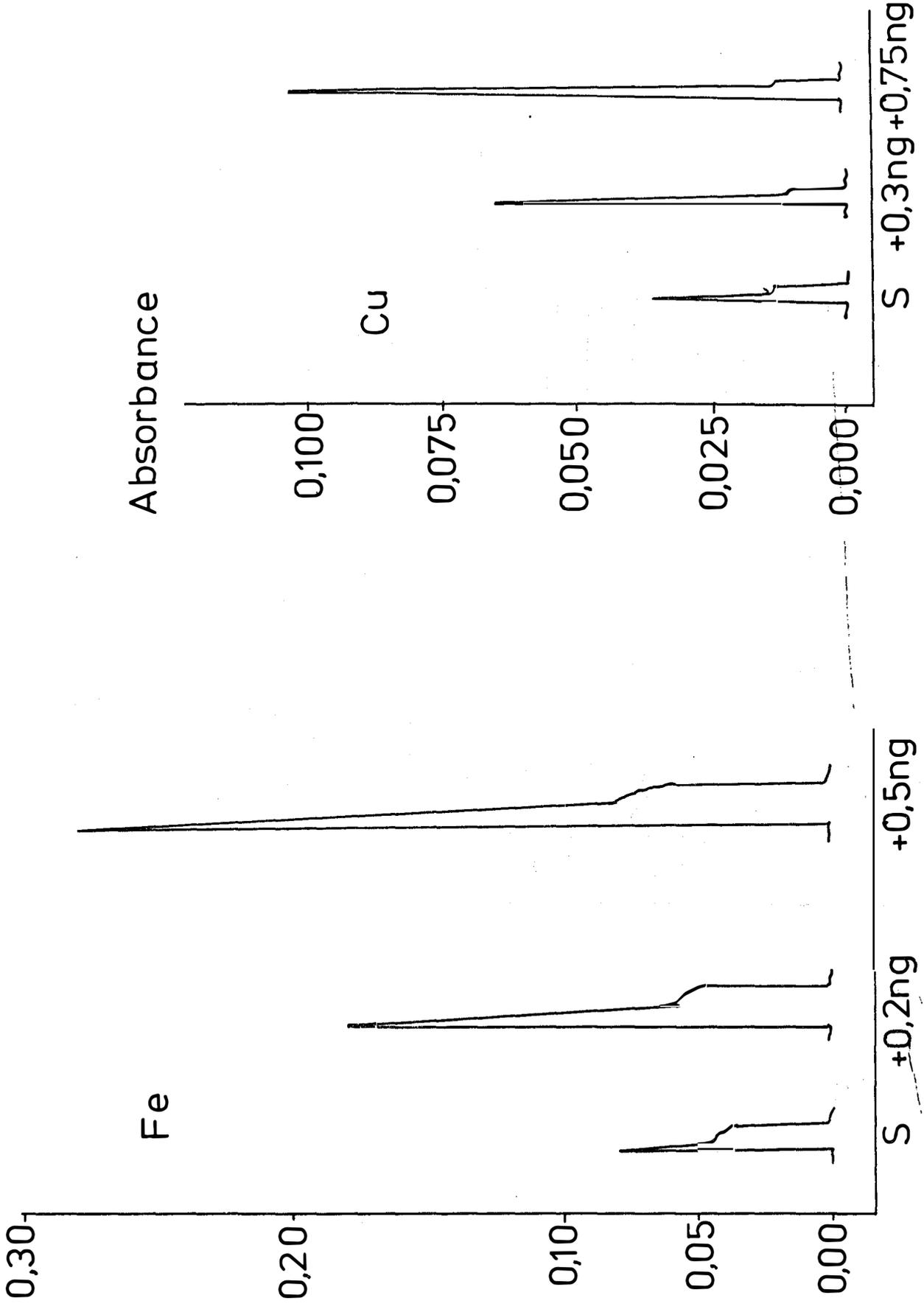
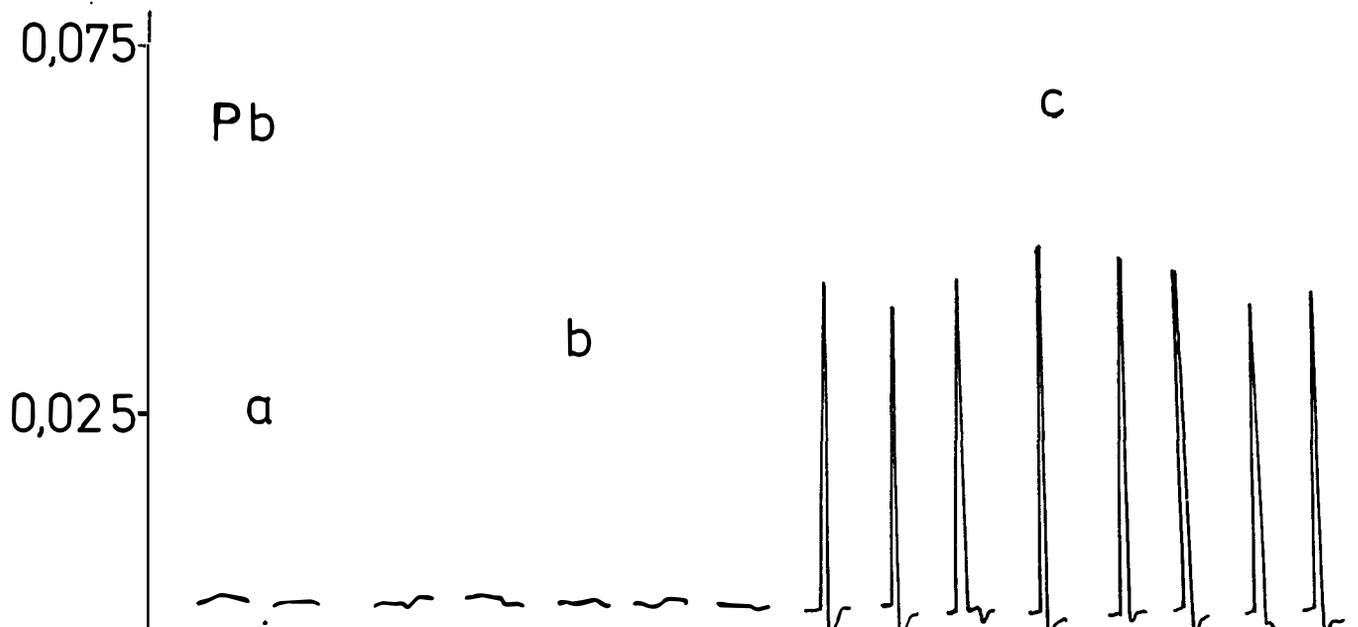
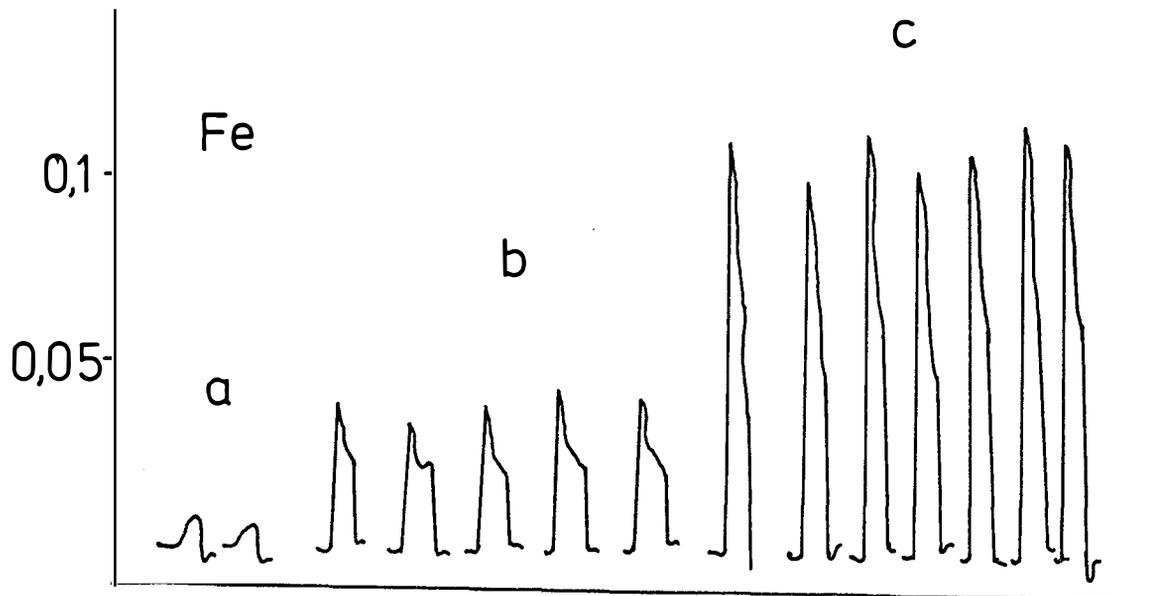
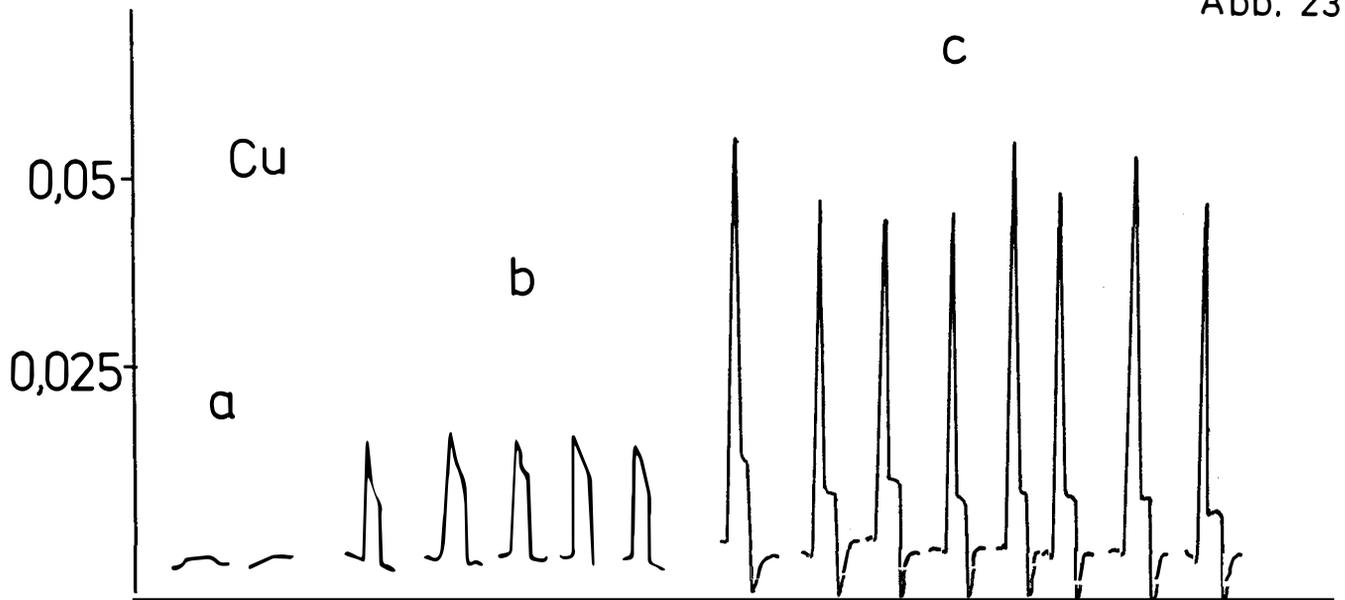


Abb. 22

Absorbance



Literaturangaben

- 1.) BODUNGEN, v.B. (1975): Der Jahresgang der Nährsalze und der Primärproduktion des Planktons in der Kieler Bucht unter Berücksichtigung der Hydrographie.
Diss. Inst. f. Meereskunde, Kiel, 1975
- 2.) GEMEINSAMES KOMITEE FLENSBURGER FÖRDE (1974): Untersuchungen der Flensburger Förde.
Gemeinsames Komitee Flensburger Förde, Selbstverlag, Amtshuset, Aabenraa, 1974
- 3.) BRÜGMANN, L. (1974): Die Bestimmung von Spurenelementen in Meerwasser unter Verwendung einer stationären Quecksilberelektrode.
Acta hydrochim. hydrobiol. 2, 1974: 123 - 138
- 4.) KREMLING, K. (1973): Voltammetrische Messungen über die Verteilung von Zink, Cadmium, Blei und Kupfer in der Ostsee.
Kieler Meeresforsch., 29 (2) 1973: 77 - 84
- 5.) SEN GUPTA, R. (1972): On some Trace Metals in the Baltic
Ambio, 1, (6) 1972: 226 - 230

DK 632.192
577.475
581.526.325
(26.01)
(261.3)

BMFT-FB M 75-08

Horstmann, U., Schiemann, S., Martens, P.
Hansen, E., Weigel, P.:

"Untersuchungen über den Einfluß von Abwasser
auf das Plankton in der Kieler Bucht"

Bundesministerium für Forschung und Technologie,
Forschungsbericht M 75-08, 1975,

43 S., 23 Abb., 3 Tab., 5 Lit., DM 9.05

Verbreitung und Verkauf nur durch ZLDI,
8 München 86, Postfach 860880

DK 632.192
577.475
581.526.325
(26.01)
(261.3)

BMFT-FB M 75-08

Horstmann, U., Schiemann, S., Martens, P.
Hansen, E., Weigel, P.:

"Untersuchungen über den Einfluß von Abwasser
auf das Plankton in der Kieler Bucht"

Bundesministerium für Forschung und Technologie,
Forschungsbericht M 75-08, 1975,

43 S., 23 Abb., 3 Tab., 5 Lit., DM 9.05

Verbreitung und Verkauf nur durch ZLDI,
8 München 86, Postfach 860880

2. Ed-148

Wa-1

Die Arbeiten der planktologischen Arbeitsgruppe der TG-63-Meeresverschmutzung gliederten sich in den Jahren 1972-1974 in drei Grundrichtungen:

- 1) Einfluß von Abwässern auf die Verteilung des Planktons und die Primärproduktion organischer Substanz. Unter diesen Punkt fallen die Arbeiten des Gemeinsamen Komitees Flensburger Förde zur Untersuchung der Eutrophierung dieses Meeresgebietes, Untersuchungen zur Ökologie und Verbreitung der Blaualgen in Abhängigkeit von verschiedenen Nährstoffen, sowie Primärproduktionsuntersuchungen in der inneren Kieler Förde und der offenen Ostsee.
- 2) In-situ Versuche zum Einfluß verschieden starker Abwasserkonzentrationen auf natürliche Planktonpopulationen in abgeschlossenen Wasserkörpern.
- 3) Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von Schwermetallen im Plankton sowie die Bestimmung des tatsächlichen Schwermetallgehaltes des Planktons in der Ostsee.

Die Arbeiten der planktologischen Arbeitsgruppe der TG-63-Meeresverschmutzung gliederten sich in den Jahren 1972-1974 in drei Grundrichtungen:

- 1) Einfluß von Abwässern auf die Verteilung des Planktons und die Primärproduktion organischer Substanz. Unter diesen Punkt fallen die Arbeiten des Gemeinsamen Komitees Flensburger Förde zur Untersuchung der Eutrophierung dieses Meeresgebietes, Untersuchungen zur Ökologie und Verbreitung der Blaualgen in Abhängigkeit von verschiedenen Nährstoffen, sowie Primärproduktionsuntersuchungen in der inneren Kieler Förde und der offenen Ostsee.
- 2) In-situ Versuche zum Einfluß verschieden starker Abwasserkonzentrationen auf natürliche Planktonpopulationen in abgeschlossenen Wasserkörpern.
- 3) Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von Schwermetallen im Plankton sowie die Bestimmung des tatsächlichen Schwermetallgehaltes des Planktons in der Ostsee.

DK 632.192
577.475
581.526.325
(26.01)
(261.3)

BMFT-FB M 75-08

Horstmann, U., Schiemann, S., Martens, P.,
Hansen, E., Weigel, P.:

"Studies on the influence of sewage on the
plankton in Kiel Bight"

Bundesministerium für Forschung und Technologie,
Forschungsbericht M 75-08, 1975,

43 S., 23 Abb., 3 Tab., 5 Lit., DM 9.05

Distribution and sale by ZLDI,
8 München 86, Postfach 860880 only

During the years 1972-1974 the investigations of

DK 632.192
577.475
581.526.325
(26.01)
(261.3)

BMFT-FB M 75-08

Horstmann, U., Schiemann, S., Martens, P.,
Hansen, E., Weigel, P.:

"Studies on the influence of sewage on the
plankton in Kiel Bight"

Bundesministerium für Forschung und Technologie,
Forschungsbericht M 75-08, 1975,

43 S., 23 Abb., 3 Tab., 5 Lit., DM 9.05

Distribution and sale by ZLDI,
8 München 86, Postfach 860880 only

During the years 1972-1974 the investigations of

the plankton-working group of the TG 63 - marine pollution dealt with three basic problems:

- 1) The influence of sewage on the distribution of plankton and primary production of organic carbon. This comprises the work of the "Gemeinsames Komitee Flensburger Förde" on the eutrophication of Flensburger Fjord, investigations on the ecology of blue-green algae and their distribution in relation to different nutrients, and measurements of the primary production of planktonic algae in the inner Kiel Fjord and the Baltic.
- 2) In-situ experiments on the influence of different sewage-concentrations on natural plankton-populations in isolated water bodies.
- 3) Development of a method for the determination of heavy metals in plankton and determination of the actual content of heavy metals in the plankton of the Baltic.

the plankton-working group of the TG 63 - marine pollution dealt with three basic problems:

- 1) The influence of sewage on the distribution of plankton and primary production of organic carbon. This comprises the work of the "Gemeinsames Komitee Flensburger Förde" on the eutrophication of Flensburger Fjord, investigations on the ecology of blue-green algae and their distribution in relation to different nutrients, and measurements of the primary production of planktonic algae in the inner Kiel Fjord and the Baltic.
- 2) In-situ experiments on the influence of different sewage-concentrations on natural plankton-populations in isolated water bodies.
- 3) Development of a method for the determination of heavy metals in plankton and determination of the actual content of heavy metals in the plankton of the Baltic.