

Berichte
aus dem
Institut für Meereskunde
an der
Christian-Albrechts-Universität Kiel

Nr. 152
1 9 8 6

Die Phytoplanktonentwicklung in Abhängigkeit
von der Nährsalzkonzentration

Ein Vergleich zwischen Kieler Förde und Kieler Bucht

von
Christian Stienen

DOI 10.3289/IFM_BER_152

Kopien dieser Arbeit können bezogen werden von:

Christian Stienen

Inst. für Meereskunde

Abtlg. Marine Planktologie

Düsternbrooker Weg 20

2300 KIEL 1

ISSN 0314-8561

So, wie ein Netz aus
einer Reihe von Knoten
besteht,
so ist auch alles in der Welt
verknüpft.
Wenn jemand meint, die Maschen
eines Netzes seien ein Ding
für sich,
so irrt er.

Gautama Siddhartha

560 - 480 v. Chr.

Zusammenfassung

1. Zwischen Mai 1983 und Dezember 1984 wurden 42 Ausfahrten zu 5-8 Stationen in der Innenförde und der Kieler Bucht unternommen. Mit Hilfe von chemischen und biochemischen Parametern und der mikroskopischen Auswertung fixierter Proben wurden die Quantität und die Qualität der anorganischen Makronährsalze erfaßt und die Artenzusammensetzung, die Sukzession und der physiologische Zustand des Phytoplanktons bestimmt.

2. Im Bereich der Kieler Innenförde traten während des gesamten Untersuchungszeitraumes hohe, zeitweise sehr hohe, Nährsalzkonzentrationen auf. Die Hauptquelle dieser Nährsalze ist die Schwentine, die im Winter und im Frühjahr hauptsächlich Nitrat einträgt, während im Sommer der Ammoniakanteil an der Stickstofffracht auf knapp über 50 % steigt. Das Eintragsmaximum für Phosphat-Phosphor liegt im Sommer. In beiden Sommern auftretende Phasen anoxischer Verhältnisse in Bodennähe sorgen zusätzlich für eine Ammoniak- und Phosphatzufuhr in die Wassersäule.

3. Die Artenzusammensetzung in der Innenförde gleicht zu Beginn der Vegetationsperiode (Frühjahrsblüte) und im Frühsommer der der Kieler Bucht. Danach entwickelt sich in beiden Jahren in der Innenförde eine spezielle Phytoplanktonpopulation, die in Artenzusammensetzung und Biomasse nicht mehr der in der Kieler Bucht entspricht. Die biologische Grenze zwischen der Innenförde und der Kieler Bucht fällt in dieser Zeit in etwa mit der geographischen zusammen, d.h. seewärts der Friedrichsorter Enge nehmen die Phytoplanktonbiomassen ebenso wie die Nährsalzkonzentrationen ab und die Phytoplanktonartenzusammensetzung gleicht in zunehmendem Maße der der offenen Kieler Bucht.

4. Neben den hohen Nährsalzkonzentrationen in der Innenförde unterstützt das Strömungssystem in der Innenförde mit oberflächennahem Strom seewärts und Einstrom aus der Kieler Bucht in Bodennähe die Trennung zwischen beiden Teilgebieten.

5. In beiden Sommern tritt bei ruhigen, sonnigen Wetterbedingungen der Dinoflagellat Prorocentrum minimum in hohen Zellzahlen in der Förde auf und verursacht eine Braunfärbung der Wasseroberfläche (red tide). Er wurde im Sommer 1983 erstmalig in der Kieler Förde nachgewiesen und kann wegen seiner jährlichen Wiederkehr als neuer Bestandteil des Phytoplanktons in der westlichen Ostsee gelten. Er

scheint in den letzten Jahren aus dem Skagerrak-Kattegat Gebiet in die Kieler Bucht eingewandert zu sein. Sein möglicher Verbreitungsmechanismus wird diskutiert.

6. Für die Frage nach der Eutrophierung der Kieler Förde muß bezüglich der Nährsalzfrachten, die in sie gelangen, unterschieden werden zwischen konservativen Nährsalzen, die also keiner Veränderung zwischen Eintragsort und Kieler Bucht unterliegen, und nicht konservativen, die schon kurz hinter ihrer 'Quelle' vom Phytoplankton aufgenommen werden. Der Anteil an konservativen Nährsalzen an der Gesamtfracht ist naturgemäß im Winter und im frühen Frühjahr höher als während der Vegetationsperiode. Es scheint aber auch im Sommer ein gewisser Teil der Nährsalzfrachten konservativ in die Kieler Bucht transportiert zu werden.

7. Abschätzungen der Primärproduktion an einer Station in der Innenförde legen den Schluß nahe, daß zwar die Produktivität in Oberflächennähe deutlich höher ist als in der Kieler Bucht, die im Jahresverlauf produzierte Menge an Phytoplanktonkohlenstoff pro Fläche aber nicht so deutlich über der der Kieler Bucht liegt. Der Grund dafür wird in der nur ca. 6-7 m starken euphotischen Schicht in der Förde gesehen.

8. Die Kieler Innenförde läßt sich aufgrund der in ihr auf quantitativ hohem Niveau ablaufenden biologischen Vorgänge und vor dem Hintergrund deutlich geringerer Konzentrationen im anorganisch Gelösten wie im organisch Partikulären in der Außenförde und der offenen Kieler Bucht als 'Filter' bezüglich der in sie eingebrachten Nährsalzmengen beschreiben. Dies gilt in besonderem Maße in austauscharmen Perioden, wenn sich ein Ökosystem im Pelagial ausbildet, dessen definitorische Grenzen mit den geographischen der Innenförde übereinstimmen. Zukünftige Untersuchungen sollten sich neben der Quantifizierung der für die Eutrophierung der Kieler Bucht entscheidenden konservativen Nährsalzfracht der Schwentine auch mit der Bedeutung der Selbstanreicherung der Innenförde mit biogenem Material, d.h. der Bilanzierung von Im- und Export einschließlich der Bedeutung des Materiekreislaufes im Pelagial, befassen.

Abstract

1. Between May 1983 and December 1984 42 cruises were carried out to 5-8 stations between the innermost Kiel Fjord and the Kiel Bight proper. Chemical and biochemical methods as well as microscopical analyses were used to assess the phytoplankton species composition, its succession and physiological state.
2. Throughout the whole period of investigation the Inner Kiel Fjord was characterized by high to very high nutrient concentrations, which were mainly supplied by the river Schwentine. During winter and spring the main nitrogen source was nitrate, while in summer ammonium made up some 50 % of the whole nitrogen load. Phosphate-phosphorus was introduced mainly during summer. Besides this, nutrients were introduced to the watercolumn of the Kiel Fjord from sedimental release due to anoxic conditions occurring in both summers.
3. During spring bloom and early summer, phytoplankton species composition in the Kiel Fjord was very similar to that of the open Kiel Bight. Subsequently in both years of investigation, a specific species composition developed in the estuary, which was considerably different to that of the open Bight. During that time the biological and the geographical boundaries between the Inner Kiel Fjord and the Kiel Bight coincided, i.e. north of Friedrichsort nutrient concentrations as well as phytoplankton biomass decreased and species composition became increasingly similar to open Kiel Bight populations.
4. Besides the high nutrient concentrations of the Inner Kiel Fjord the prevailing current system, characterized by a seaward component at the surface and an inflow at the bottom, supported the separation between the two regions.
5. During calm and sunny weather conditions in both summers the dinoflagellate Prorocentrum minimum was found in high cell numbers in the Fjord causing a brown discoloration of the water surface. This organism was first recorded in the investigated area in 1983 and since it recurred annually it seems to be a new member of the phytoplankton of the Western Baltic. P. minimum presumably entered the Kiel Bight

from the Skagerrak-Kattegatt area during the past few years. Its mechanism of distribution is discussed.

6. Regarding the problem of eutrophication of the Kiel Fjord it is necessary to discern the influence of conservativ and non conservativ nutrients. While the former are not subjected to transformation into plant material and are passively transported into the Kiel Bight, the latter are the basis for phytoplankton biomass formation and are taken up directly after reaching the estuary. The proportion of conservativ nutrients is higher during winter and early spring than throughout the vegetation period. Nevertheless, a certain proportion of conservativ nutrients seem to be transported into Kiel Bight also in summer.

7. An assessment of the primary production at one station in the inner Fjord leads to the conclusion that the annual production is only slightly higher than in the Kiel Bight, although the productivity at the surface seems to be considerably higher in the Fjord than in Kiel Bight. The reason for this seems to be that the euphotic layer is very shallow (only 6-7 m) in the inner Fjord area.

8. While in the inner Fjord all biological processes act on a high quantitativ level, the concentrations of dissolved anorganic as well as of particulate organic matter are considerably lower in the open Kiel Bight. Thus, the inner Fjord seems to act as a filter for the nutrients introduced into it from freshwater sources. This is valid in particular during periods of low exchange of water between the two subsystems, i.e. when the pelagic ecosystem coincides with the geographical limit of the Inner Kiel Fjord. Further studies should be concerned with the estimation of the conservativ proportion of the nutrient load of the Schwentine river in order to quantify its contribution to the eutrophication of the Kiel Bight, and also with the importance of the selfenrichment with organic material within the fjord, i.e. the budgeting of im- and export as well as circulation of matter within the pelagic system of the Kiel Fjord.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	2
2.	Material und Methoden	4
2.1.	Das Untersuchungsgebiet	4
2.2.	Stationswahl	8
2.3.	Meßmethoden und Parameter	8
2.4.	Biomasseberechnung	10
3.	Ergebnisse	13
3.1.	Wetterbedingungen und Hydrographie	13
3.1.1.	Einstrahlung	13
3.1.2.	Windrichtung und -geschwindigkeit	15
3.1.3.	Niederschlag	19
3.1.4.	Süßwassereintrag und Nährsalzzufuhr	21
3.1.5.	Hydrographische Daten	33
3.2.	Nährsalze und Sauerstoff	45
3.2.1.	Nitrat	45
3.2.2.	Nitrit	49
3.2.3.	Ammoniak	52
3.2.4.	Phosphat	55
3.2.5.	Das Verhältnis N:P (atomar)	56
3.2.6.	Gesamtphosphor	58
3.2.7.	Sauerstoff	61
3.3.	Das Phytoplankton	62
3.3.1.	Chlorophyll <u>a</u>	62
3.3.2.	Phytoplanktonbiomasse und Artenzusammensetzung	64
3.3.3.	Das Verhältnis PPC:Chl. <u>a</u>	73
3.3.4.	Partikuläres Material	74
3.3.5.	Die Primärproduktion	77
4.	Diskussion	79
4.1.	Die Trennung zwischen Innenförde und Kieler Bucht aus hydrographischer Sicht	79
4.2.	Herkunft und Verbleib der Nährsalzfrachten	85
4.3.	Die Reaktionen des Phytoplanktons	94
5.	Literaturverzeichnis	112
6.	Datenanhang	125

1. Einleitung

"Ästulare sind halbeingeschlossene, küstennahe Wasserkörper, die eine freie Verbindung zum offenen Meer haben und in denen das Seewasser meßbar durch das von Land abfließende Süßwasser verdünnt ist." Diese von Cameron & Pritchard (1963) entworfene und von Pritchard (1967) präzierte Definition faßt die schon früher vorgenommene Beschreibung von vier durch Schichtung und Salzgehaltsverteilung unterscheidbaren Ästuartypen zusammen (Pritchard, 1955) und hat heute noch Gültigkeit (vgl. Kennedy, 1984 und die darin zitierte Literatur). Überraschend ist, daß alle bisherigen Definitionen eines Ästuars von Physikern und Ozeanographen vorgenommen wurden. Die Beschreibung der biologischen Vorgänge in einem Ästuar folgt in der Regel den durch die Ozeanographen festgelegten Klassifizierungen (u.a. Lauff, 1967; Lenz, 1977a; Moigis, 1983 und Kennedy, 1984).

Vor dem Hintergrund, daß die abiotischen Lebensbedingungen in einem Ästuar z.B. an die Salzgehalts- und oft auch an die Temperaturtoleranz der in ihm lebenden Organismen hohe Ansprüche stellen und Planktonorganismen wie keine andere Lebensgemeinschaft von ihrer physikalischen Umwelt abhängen, soll in dieser Arbeit der Versuch unternommen werden, ein Ästuar in Bezug auf seine biologisch planktologischen Besonderheiten im Vergleich zum vorgelagerten offenen Meeresgebiet zu beschreiben. Daß dabei der Nährsalzzufuhr besondere Beachtung zukommen muß, ist dann selbstverständlich, wenn ein in das Ästuar mündender Fluß als relativ stark eutrophiertes Gewässer der Güteklasse II/III (mäßig bis stark verschmutzt) beschrieben wird. Dies trifft für die Kieler Förde und die in sie mündende Schwentine zu (Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten, 1981, 1984).

Die Kieler Förde stellt für planktologische Fragestellungen nicht nur wegen ihrer Hydrographie und der Nährsalzbelastung ein interessantes Untersuchungsgebiet dar; sie dürfte, was Lage und Wasseraustauschvorgänge angeht, im deutschen Ostseeküstenbereich nur noch mit der Flensburger Förde vergleichbar sein. Sie ist auch in den letzten Jahrzehnten nicht umfassend, d.h. mit hoher räumlicher und zeitlicher Probenahmefrequenz untersucht worden. Neben den umfangreichen Arbeiten von Fischer (1896), Kuhlitz (1898), Karsten (1896, 1898), Lohmann (1908) und Busch (1917), die bis auf Fischer (1896) und Kuhlitz (1898) in der Außenförde durchgeführt wurden, waren es Krey (1942), Kändler (1952, 1959), Ohl (1959), Viswanathan (1960), Gieskes (1968)

und Bansemir & Rheinheimer (1974), die planktologisch und ozeanographisch in der Förde arbeiteten. Seit Beginn der 70er Jahre wurden eine Reihe von Arbeiten in der Förde durchgeführt und von Rheinheimer (1977) zusammengefaßt und veröffentlicht, die aber eine geringe räumliche und/oder eine geringe zeitliche Auflösung hatten. In neuerer Zeit sind u.a. die mikrobiologischen Arbeiten von Meyer-Reil et al. (1979), Palmgren (1981), Wolter (1982), Mow-Robinson & Rheinheimer (1985) zu erwähnen, die sich sowohl mit den Bakterien der Wassersäule als auch denen des Sediments befaßten. Eine genaue Bathymetrie und die Verteilung der verschiedenen Sedimenttypen legten Kögler & Ulrich (1985) für die Kieler Förde vor.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Entwicklung der Phytoplankton-Artenzusammensetzung und seiner Biomasse im Verlauf von 20 Monaten zusammen mit der Nährsalzzufuhr von Land zu beschreiben und vor dem Hintergrund der hohen, physikalisch bedingten Variabilität des Lebensraumes Pelagial der Kieler Förde zu einer biologisch, meereskundlichen Beschreibung eines eutrophen Ästuars zu kommen. Schwierigkeiten traten in erster Linie bei der Berechnung der Mengen des Nährsalzeintrages in die Förde auf. Eindeutig war dagegen die Reaktion der Phytoplanktongemeinschaft auf ein erhöhtes Nährsalzangebot. Sie bestand nicht nur in einer deutlich höheren Biomasse, sondern auch in einer gegenüber der offenen Kieler Bucht veränderten Artenzusammensetzung. Außerdem zeigte die hohe zeitliche Auflösung der Probennahme, daß in Ästuaren mit einem schnellen Wechsel der Lebensbedingungen im Pelagial gerechnet werden muß, was langfristige Aussagen über den Gütezustand eines Ästuars unmöglich macht und eine Folge der "freien Verbindung zum offenen Meer" ist.

2. Material und Methoden

In der Zeit zwischen dem 24. Mai 1983 und dem 18. Dezember 1984 wurden 41 Ausfahrten zu 5 - 8 Stationen entlang eines Schnittes von der innersten Kieler Förde (Hörn, Station 1) bis in die Kieler Bucht (Station 8) durchgeführt (Abb. 1 + 2).

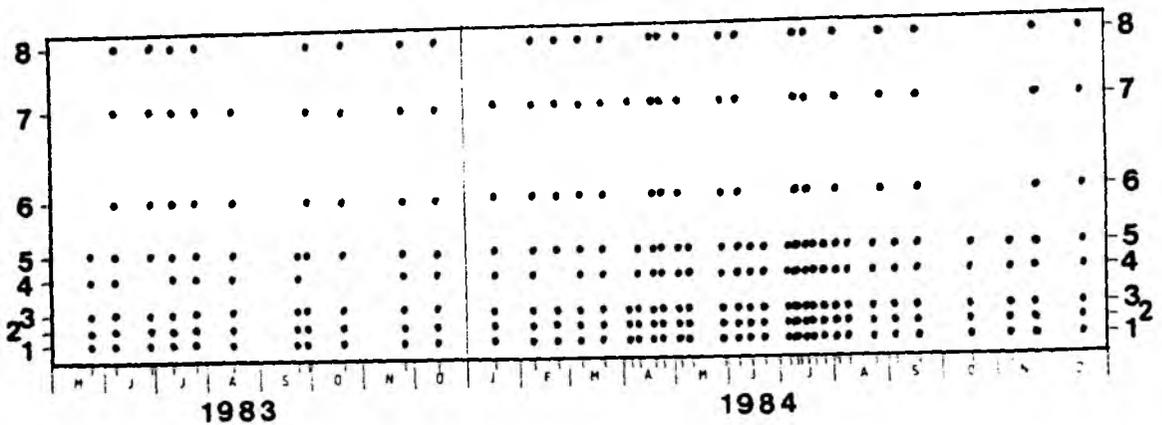


Abbildung 1 Stationsplan

2.1. Das Untersuchungsgebiet

Die Kieler Innenförde (Abb. 2) ist der südlichste Teil der Kieler Bucht und verläuft annähernd in Nord-Süd-Richtung. Ihre Länge beträgt rund 10 km, ihre größte Breite 3 km. Ihre Fläche und ihr Volumen sind in Tab.1 wiedergegeben.

Das Fahrwasser ist zwischen 12 und 14 m tief, zur Hörn hin nimmt die Wassertiefe auf 7-9 m ab. Außerdem gibt es noch einige tiefere Stellen, die bis auf zwei nicht natürlichen Ursprungs sind: das Baggerloch bei den Schwimmdocks der Howaldtwerft mit ca. 22 m, eine ca. 17 m tiefe Rinne entlang der Arsenalmole am Ostufer sowie die kleine Vertiefung (ca. 16 m) zwischen Bellevue und Mönkeberg, die wahrscheinlich von den Hebeversuchen eines gegen Ende des letzten Weltkrieges dort versenkten Schiffes stammt. Natürlichen Ursprungs sind eine ebenfalls ca. 16 m tiefe Senke direkt südlich der Schwelle, die am Ausgang der Innenförde bei der Friedrichsorter Enge liegt (Station 5) sowie eine der tiefsten Stellen der Innenförde, die "Wittlingskuhle" mit ca. 22 m und einer Ausdehnung von ca. 300 m².

Ihre Tiefe betrug gegen Ende des vorigen Jahrhunderts noch rund 32 m (Fischer, 1896). Die Abnahme der Wassertiefe ist eine Folge der Abbröckelungen des damals noch größtenteils unbefestigten Fördeufers sowie der Verklappung von Baggergut aus dem Hafenausbau bei Ellerbek in der Wiker Bucht und dessen Transport mit dem Bodenstrom in die innere Förde (Karsten, 1896 und Krümmel, zitiert bei Fischer 1896). Hier in der Wittlingkuhle wurden um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die Versuche mit dem "Brandtaucher", dem ersten Tauchboot durchgeführt (Kögler & Ulrich, 1985).

Wasserzufluß erhält die Innenförde lateral durch die Schwentine (Station 3), zeitweise durch den Nord-Ostsee-Kanal (NOK, Station 4) und durch die direkten Einleitungen der Regenwasserkanalisation der Stadt Kiel sowie den Einleitungen der am nördlichen Ostufer gelegenen Gemeinden (s. Abb. 6). Die größte Bedeutung kommt der Schwentine zu, die bei einem Einzugsgebiet von rd. 714 km² zwischen Mai 1983 und Dezember 1984 ca. 213 · 10⁶ m³ Süßwasser in die Kieler Förde eintrug. Durch ein Wehr an ihrer Mündung sowie das Staubecken in Raisdorf ist eine gewisse Abflußregulierung möglich; sie dient als Vorfluter für die Klärwerke "Hohlbeck", Plön, Preetz, Raisdorf und Anschütz. Ihr Unterlauf weist nur ein geringes Gefälle von 2.9 m auf 5.6 km Länge auf. Die in dieser Untersuchung berechneten Abflußmengen stammen aus den Daten des Pegels in Preetz.

Tab. 1 Kieler Innenförde. Fläche und Volumen;
Volumen in 10⁶ m³.

Tiefe	Fläche	%	Volumen	%
0 m	15.0 km ²		129.78	84
10 m	11.1 km ²	74	23.16	15
15 m	.945 km ²	6.3	2.01	1
			<u>154.95</u>	

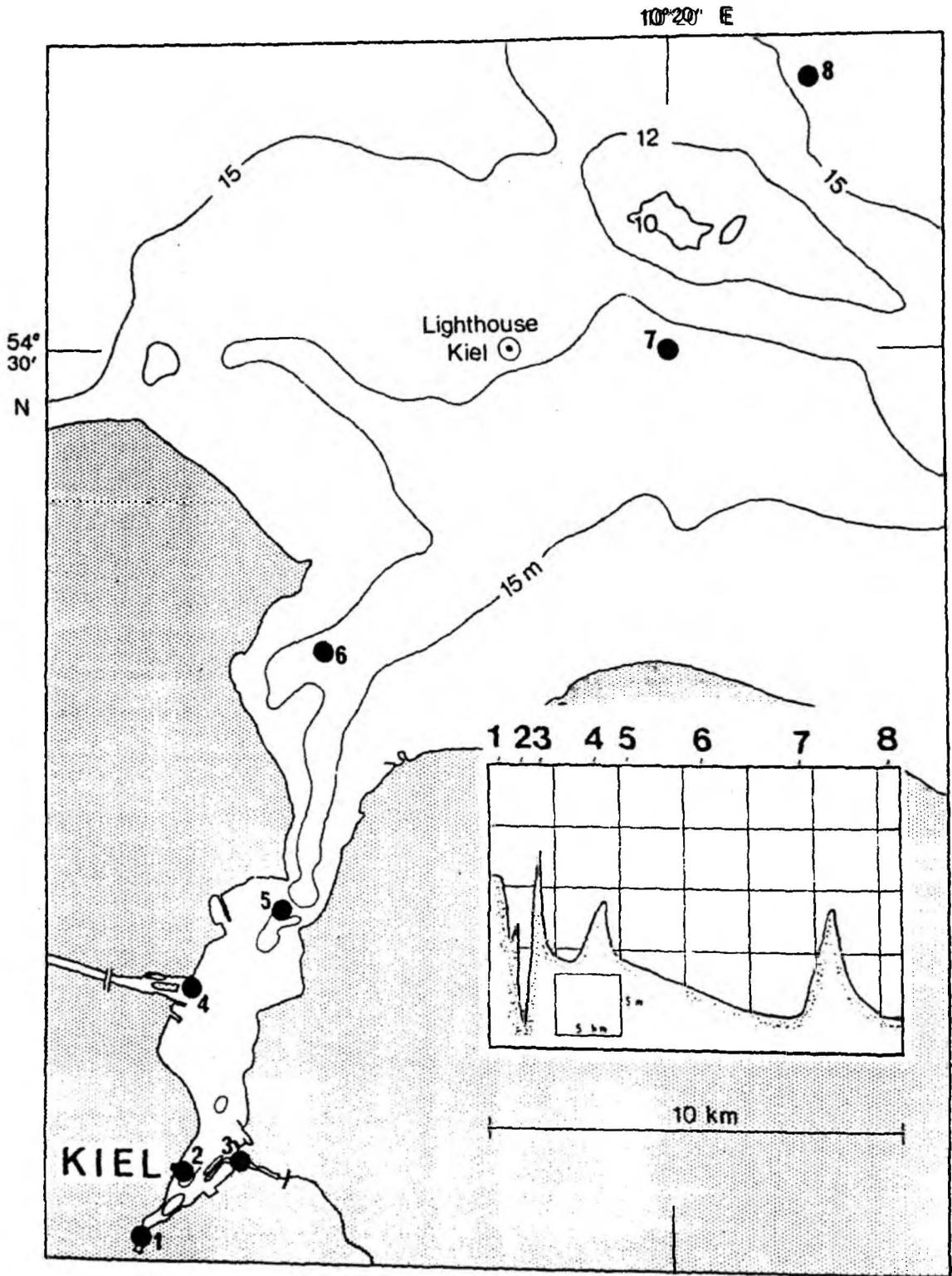


Abbildung 2 Untersuchungsgebiet, Lage der Stationen und Bodenprofil auf einem Schnitt entlang der Stationen 1 - 8.

Der NOK kann bei einem Einzugsgebiet von rd. 1600 km² und einer Länge von rund 98 km als der größte Vorfluter Schleswig-Holsteins angesehen werden. Er ist mit rd. 50 000 Schiffseinheiten pro Jahr die meistbefahrene Wasserstraße der Welt. Der Hauptwassertransport verläuft in Richtung Nordsee, die Wassersscheide liegt ungefähr auf Höhe der Fähre Landwehr bei km 85; ihre aktuelle Lage variiert aber stark. Das Kanalwasser hat bei Holtenau seinen höchsten Salzgehalt. Dieser nimmt bis Rendsburg auf ca. 4 ‰, weiter südwestlich sogar auf 2-3 ‰ ab und steigt erst kurz vor den Schleusen in Brunsbüttelkoog wieder an. Durch die Zunahme der Größe und Anzahl der Schiffe kam es in den letzten Jahren zu vermehrter Durchmischung des lateral einfließenden Süßwassers mit dem bei Holtenau eindringenden salzreichen Fördewassers; der Dichtekonvektionsstrom am Boden ist dadurch weniger ausgeprägt als in früheren Jahren (Kothé & Sindern, 1972). Nur wenn die Wasserstandsdifferenz zwischen Kanal und Innenförde groß genug ist, wird in diese entwässert. Das ist an ca. 150 Tagen im Jahr der Fall. Die dabei in die Förde abgegebene Wassermenge ist sehr variabel. Für den Untersuchungszeitraum liegen keine Daten vor. Eine Abschätzung der Größenordnung ist jedoch anhand von Daten aus dem Jahr 1981 möglich. Danach wurden zwischen dem 29. Jan. und dem 5. Juni rund $112 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ aus dem Kanal in die Förde eingetragen (Landesamt f. Wasserhaushalt u. Küsten, unveröffentl. Daten). Um einen Eindruck von den Konzentrationen sowie der räumlichen Verteilung der Nährsalze zu bekommen wurden im Februar und im Oktober 1984 zwei Ausfahrten in den NOK bis Sehestedt bzw. bis Rendsburg unternommen.

Die Stadtentwässerung geschieht über insgesamt 73 Einleitungen von einer Fläche von 2600 ha (26 km²), die sich zwischen Schilksee an der Strander Bucht und dem Gemeinschaftskraftwerk Kiel am Ostufer befinden. In Tabelle 9 und Abbildung 6 sind die 13 wichtigsten in der Reihenfolge ihrer jährlichen Abflußmenge angegeben.

Außerdem entwässert die Gemeinde Heikendorf über insgesamt 12 Einleiter mit einem Gesamteinzugsgebiet von rund 353 ha in die Förde. Die eingeleitete Regenwassermenge liegt bei ca. $0,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pro Jahr.

2.2. Stationswahl

Der Wahl der Stationen lagen folgende Überlegungen zugrunde:

Station 1, Hörn (Tiefe 8-9 m) - liegt im innersten Teil der Kieler Innenförde; hier findet bei entsprechenden Windrichtungen ein gut nachweisbarer Auftrieb von Bodenwasser statt.

Station 2, Wittlingskuhle (20-21 m) - Hier befindet sich mit ca. 22 m eine der tiefsten Stellen in der Innenförde (s. Kap. 2.1.).

Stationen 3 und 4, Schwentine Ästuar (9-10 m) und Nord-Ostsee-Kanal (NOK, 9-10 m) - An diesen Stationen kann der Einfluß dieser beiden Vorfluter auf die Innenförde erfaßt werden.

Station 5, Friedrichsort (15-16 m) - Am Übergang von Innen- und Außenförde läßt sich die Qualität des in der Regel oberflächlich ausströmenden Fördewassers vor seiner Vermischung mit dem Wasser der Kieler Bucht erfassen. In Bodennähe ist besonders der Sauerstoffsättigungsgrad des Wassers interessant, das aus der Kieler Bucht in die Förde transportiert wird.

Station 6, Strander Bucht (15-16 m) - Hier wurde in der Außenförde eine Station gewählt, die bei vergleichsweise großer Wassertiefe (16 - 18 m) als repräsentativ für die Außenförde gelten kann. Auf eine Erfassung des Einflusses der Kläranlage in Bülk wurde dabei bewußt verzichtet, um den Vergleich der Verhältnisse in der Innenförde mit denen der Kieler Bucht nicht zu erschweren.

Stationen 7 und 8, Östlich Leuchtturm (16-17 m) und Kieler Bucht (19-20 m) - Beide Stationen dienen der Erfassung des Jahresganges der gemessenen Parameter unter typischen Kieler Bucht Verhältnissen, wobei die Station 8 durch das Gabelsfloch von dem Rinnensystem getrennt ist, das sich an der Station 7 vorbei in die Kieler Förde erstreckt.

2.3. Meßmethoden und Parameter

Temperatur und Salzgehaltsprofile wurden in 2 m Tiefenstufen mit einer T-S-Sonde vom Typ Electronic Switchgear, London bestimmt, deren Meßgenauigkeit mit $\pm 0,1 \cdot 10^{-3}$ für den Salzgehalt und $\pm 0,1^\circ\text{C}$ für die Temperatur angegeben wird. Für alle übrigen Parameter wurden zwei Proben genommen. Eine Probe wurde in einem mittleren Abstand von 0,7 bis 1,0 m vom Boden genommen, die andere Probe bestand meist aus einer

Tabelle 2. Liste der gemessenen Parameter und der angewandten Methoden.

O ₂ ¹	Grasshoff, 1976
NO ₃ -N	"
NO ₂ -N	"
NH ₄ -N ²	"
PO ₄ -P	"
Gesamt PO ₄ -P	"
partikulärer Phosphor ³	
Chlorophyll <u>a</u>	UNESCO, 1966; Derenbach, 1969; Jeffrey & Humphrey, 1975
Phytoplankton:	
Zellzahl und Artenzusammensetzung ⁴	Utermöhl, 1959
Biomasse	nach Smetacek, 1975
(s. auch 2.4.)	und Edler, 1979

1, 2 noch an Deck mit Reagenzien versetzt, um Verzögerungen bzw. Kontamination mit der Laborluft zu vermeiden.

3 modifiziert nach Grasshoff, 1976.

4 folgende Bestimmungsliteratur wurde verwendet:

Campbell, 1973. Studies of brackish water phytoplankton. - University of North Carolina, mimeograf, 18 plates.

Drebes, G., 1974. Marines Phytoplankton. - G. Thieme Verlag, Stuttgart, 182 pp.

Hasle, G. R., K. Tangen, J. Throndsen, 1979. Planteplankton, Kurs ved avdeling for marin Botanikk, mimeograf, 42 pp.

Hendey, I., 1964. An introductory account of the smaller algae of the British coastal waters, part V.: Bacillariophyceae. Her Majesty's stationary office, 317 pp + XLV plates.

- Huber-Pestalozzi, G., 1938. Das Phytoplankton des Süßwassers. In A. Thienemann (Hrsg.), Die Binnengewässer, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, Band XVI, Teile 1-4.
- Hustedt, F., 1930. Die Kieselalgen.- Akad. Verlagsges., Leipzig 1. Teil, 920 pp.
- , 1959. Die Kieselalgen.- Akad. Verlagsges., Stuttgart, 2. Teil, 845 pp.
- Massati, M. & R. Margalef, 1950. Introduccion al estudio del plankton marino.- Barcelona, 182 pp.
- Pankow, H., 1976. Algenflora der Ostsee.- Fischer Verlag Stuttgart, 493 pp.
- Schiller, J., 1933. Dinoflagellaten. In R. Kolkwitz (Hrsg.), Rabenhorst's Kryptogamenflora, Band X, Teil 1, 617 pp.
- , 1937. Dinoflagellaten. In R. Kolkwitz (Hrsg.), Rabenhorst's Kryptogamenflora, Band X, Teil 2, 845 pp.
Beide Teile: First Reprinting 1971 durch Johnsons Reprinting Corporation, New York, London.

Mischung von Proben aus 2-3 verschiedenen Tiefen innerhalb der durchmischten Schicht. Die Lage der Sprungschicht wurde nach den T-S-Messungen ermittelt. Lag die Sprungschicht flacher als 3 m, wie z.B. oftmals bei Station 3, dann wurde nur eine Oberflächenprobe genommen. Die Werte der oberflächennahen Wasserschicht stellen also einen Mischwert dar. Auf diese Weise wurde die Zahl der Probentiefen auf zwei pro Station reduziert zugunsten kürzerer Ausfahrtintervalle.

In der Tabelle 2 sind die gemessenen Parameter und die Literaturangaben der zu ihrer Bestimmung angewandten Methoden wiedergegeben. Die bei Graßhoff (1976) angegebenen Meßgenauigkeiten betragen: bei Phosphat-P ± 2 % bei hohen und ± 15 % bei sehr niedrigen Konzentrationen, bei Ammoniak-N ca. $\pm 4,8$ % und bei Nitrat-N ± 3 %, für Nitrit-N werden keine Angaben gemacht.

Partikulärer organischer Kohlenstoff und Stickstoff wurden an Filtraten auf vorgeglühten Glasfaserfiltern Typ GF/C der Firma Whatman mittels eines CHN-Analyzers Typ 240 C der Firma Perkin-Elmer bestimmt.

Die meteorologischen Daten wurden freundlicherweise von der Abteilung Maritime Meteorologie des Instituts für Meereskunde (IfM) und dem Wetteramt in Schleswig zur Verfügung gestellt. Die Grunddaten über die Schwentine und ihr Einzugsgebiet, den Nord-Ostsee-Kanal (NOK), die Entwässerung der Stadt Kiel und der Gemeinde Heikendorf sowie die Daten des Pegels in Strande stellten mir die zuständigen Behörden der Stadt Kiel und des Landes Schleswig-Holstein zur Verfügung. Ihnen allen sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich gedankt.

2.4. Biomasseberechnung

Neben den bei Edler (1979) angegebenen Berechnungsgrundlagen für das Volumen von Phytoplanktonzellen (CV), die im wesentlichen eine Rückführung auch komplizierter Formen (z.B. Ceratien) auf einfache geometrischen Grundformen darstellen, wurden in Ergänzung und Abwandlung dieser Empfehlungen eigene Berechnungen nötig.

Zum einen bei Arten, die nicht bei Edler (1979) aufgeführt werden (z.B. Diplopeltopsis spec.; Gymnodinium amplinucleum, spec. nov., Campbell, 1973; Apedinella radians). Ihre Form wurde nach den Empfehlungen von Edler (1979) auf einfache geometrische Grundformen zurückgeführt und anschließend berechnet.

Zum anderen wurden besonders für den Dinoflagellaten Ceratium tripos und die morphologisch nah verwandten Arten (hirundinella, longipes und horridum sowie für C. lineatum andere Wege der Berechnung gesucht, als sich herausstellte, daß die Biomasse in der von Edler empfohlenen Weise nur sehr fehlerhaft zu bestimmen war. Die genaue Begründung für die Abweichung von den Empfehlungen bei Edler (1979) ist im Anhang gegeben (s. Text 1). Für die Berechnung des Volumens des Hauptkörpers dieser Arten (s. Anhang) wurde folgende Formel verwendet:

$$CV_H = \frac{\pi * L_H * B_H^2}{12}$$

wobei L_H und B_H die Länge bzw. die Breite des Hauptkörpers und CV_H sein Volumen bedeuten.

Die anderen Zellkomponenten (das Apikalhorn u. die Antapikalhörner) wurden nach den Empfehlungen von Edler (1979) berechnet und zum Volumen des Hauptkörpers addiert.

Die Berechnung der Biomassen der anderen Arten richtete sich nach den von Edler (1979) gegebenen Empfehlungen, um eine möglichst hohe Kompatibilität mit anderen Daten zu erhalten.

Liste der Abkürzungen

- ALW-Kiel Amt für Land- und Wasserwirtschaft in Kiel
- Chl. a Chlorophyll a
- C. org organischer Kohlenstoffgehalt des Sedi-
ments in Prozent
- DOC gelöster organischer Kohlenstoff
- DOM gelöste organische Materie
- DON gelöster organischer Stickstoff
- DSP diarrhetische Muschelvergiftung
- LA-WK Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten
in Kiel.
- NOK Nord-Ostsee-Kanal
- PGP partikulärer Gesamtphosphor
- POC partikulärer organischer Kohlenstoff
- PON partikulärer organischer Stickstoff
- PFC Phytoplanktonkohlenstoff
- UG Untersuchungsgebiet
- UZ Untersuchungszeitraum

3. Ergebnisse

Zur Diskussion der biologischen Ergebnisse dieser Untersuchung vor einem möglichst breiten Informationshintergrund der abiotischen (meteorologischen, physikalisch-hydrographischen und chemischen) Verhältnisse im Untersuchungsgebiet werden Meßreihen angesprochen, die nicht von mir durchgeführt wurden. Wie z.B. die Primärproduktionsdaten (Kap. 3.3.5.), die aus einer Meßreihe der Abtlg. Marine Planktologie des IfM stammen, die an der Institutspier in wöchentlichen Abständen durchgeführt wird. Ich habe die Rohdaten einer weiterführenden Auswertung und einer zusammenfassenden Wichtung unterworfen. Im folgenden sollen, besonders im Teil 3.1. "Wetterbedingungen und Hydrographie" die großskaligen (Wochen und Monate bzw. die gesamte Innenförde einerseits und die Außenstationen andererseits umfassende) Ereignisse beschrieben werden. In besonders interessanten Einzelfällen werden allerdings auch kurzfristige und kleinräumige Veränderungen berücksichtigt werden. Im Text weisen arabische Zahlen auf Abbildungen und Tabellen im Hauptteil der Arbeit hin, römische Zahlen und Buchstaben dagegen auf Tabellen bzw. Abbildungen im Datenanhang (Kap. 6).

3.1. Wetterbedingungen und Hydrographie

3.1.1. Einstrahlung

Die Menge der kurzwelligigen Einstrahlung (auf dem Dach des Instituts für Meereskunde, zeitweise auch auf einem Meßmast in der Kieler Bucht registriert), ist in Abbildung 3 für den UZ und in Tabelle 3 als Monatsmittel für die Monate Juni - Oktober 1983 bzw. 1984 angegeben. Der Sommer 1983, der ab Anfang Juni besonders hohe Tageseinstrahlungen mit Werten bis über $320 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (7. Juni) brachte, weist deutlich höhere Einstrahlungen aus, als der Sommer 1984. Auch die Tagesmittel blieben 1984 deutlich unter denen des Sommers 1983 (Tab. IX). Eine Periode besonders starken Einstrahlungsrückgangs von $275 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ auf im Mittel $45 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ wurde zwischen dem 4. und 6. Juni 1984 registriert. Diese Mengen entsprechen durchschnittlichen Werten zu Beginn des Novembers 1984, bei einer zu dieser Zeit um ein Drittel kürzeren Tageslänge. Dieser Einstrah-

lungsrückgang hat einen gravierenden Einfluß auf die Phytoplanktonpopulation in der Kieler Innenförde (s. Kap. 3.3.1.).

Tabelle 3 : Einstrahlung. Monatsmittel der kurzweiligen Einstrahlung der Monate Juni - Oktober der beiden Untersuchungsjahre in $W m^{-2}$.

	1983	1984	% '84 von '83
Juni	220	160	73
Juli	235	170	72
Aug.	200	170	85
Sept.	105	90	86
Okt.	60	48	80
	—	—	—
\bar{x}	164	128	78

Im Vergleich der Hochsommermonate Juni - August der Jahr 1983 und 1984 fällt auf, daß das Jahr 1983 etwa ab Mitte Juni deutlich längere Perioden hoher Einstrahlung (über $200 W m^{-2} d^{-1}$) aufweist, als der Sommer 1984, in dem es erst nach dem 7. August für nur wenige Tage zu Tagesmittelwerten über $200 W m^{-2} d^{-1}$ kam. Eine dem Sommer 1983 vergleichbare Periode hoher Einstrahlung ist aber im Spätsommer schon aufgrund der gegen Ende August schnell kürzer werdenden Tage nicht möglich. Die Gesamteinstrahlung im August 1984 liegt ca. 15 % unter der des Vorjahres.

Der Vergleich der Einstrahlungswerte auf dem Institutsdach und vom Meßmast in der Kieler Bucht zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Meßsorten. Für das Untersuchungsgebiet kann daher davon ausgegangen werden, daß die Wasseroberfläche im Untersuchungsgebiet annähernd die gleiche Einstrahlung erreichte. Für den Zeitraum Januar - Mai 1984 liegen keine Daten vor.

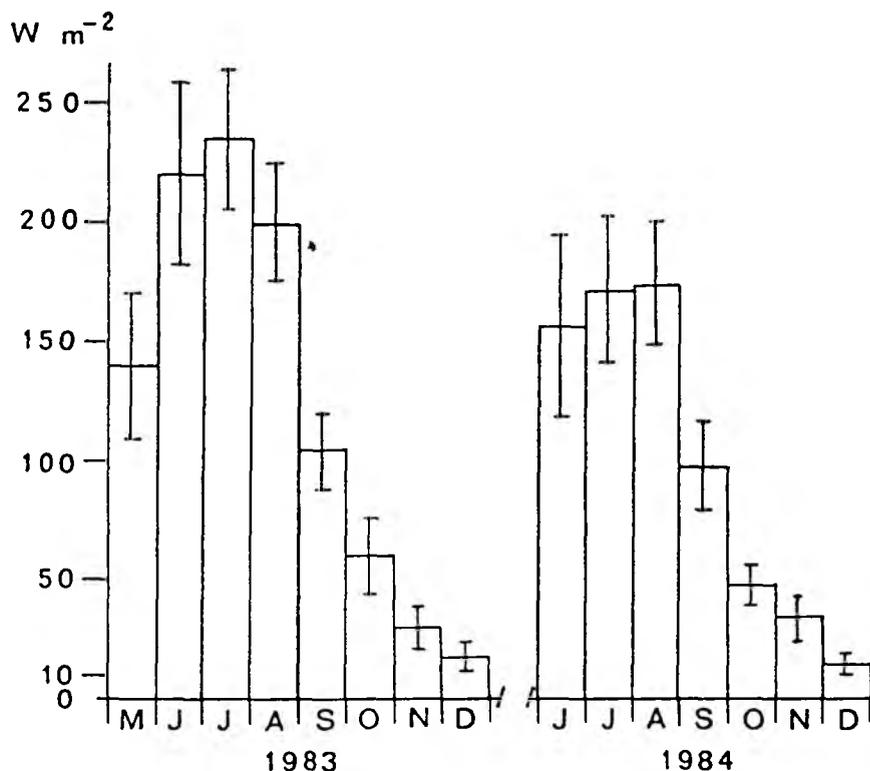


Abbildung 3 Einstrahlung. Monatsmittel mit Standardabweichung. Keine Daten zwischen Januar und Mai.

3.1.2. Windrichtung und Windgeschwindigkeit

Die in Abbildung 4 gezeigten Windprofile des Untersuchungszeitraumes zeigen eine hohe Variabilität. Es lassen sich aber allgemeine Aussagen für die Lebensbedingungen des Phytoplanktons während verschiedener Perioden des Untersuchungszeitraumes machen. Folgende Zeitabschnitte lassen sich dabei zu einzelnen Phasen zusammenfassen:

Phase 1: Ende Mai - Ende August 1983

Abgesehen davon, daß die Windstärke in diesem Zeitraum meist unter $6,0 \text{ m s}^{-1}$ und nur selten über $8,0 \text{ m s}^{-1}$ liegt, fällt die Häufigkeit der Windrichtungen mit nördlichen Komponenten auf ($270^\circ - 090^\circ$). Es kamen nur vereinzelt Phasen mit südlichen Winden vor. Die häufig auftretenden östlichen Komponenten ($000^\circ - 090^\circ$) deuten auf Hochdruckwetterlagen mit hoher Einstrahlung hin. Die Lichtdaten bestätigen dies (Abb. 3).

Phase 2: September und Oktober 1983

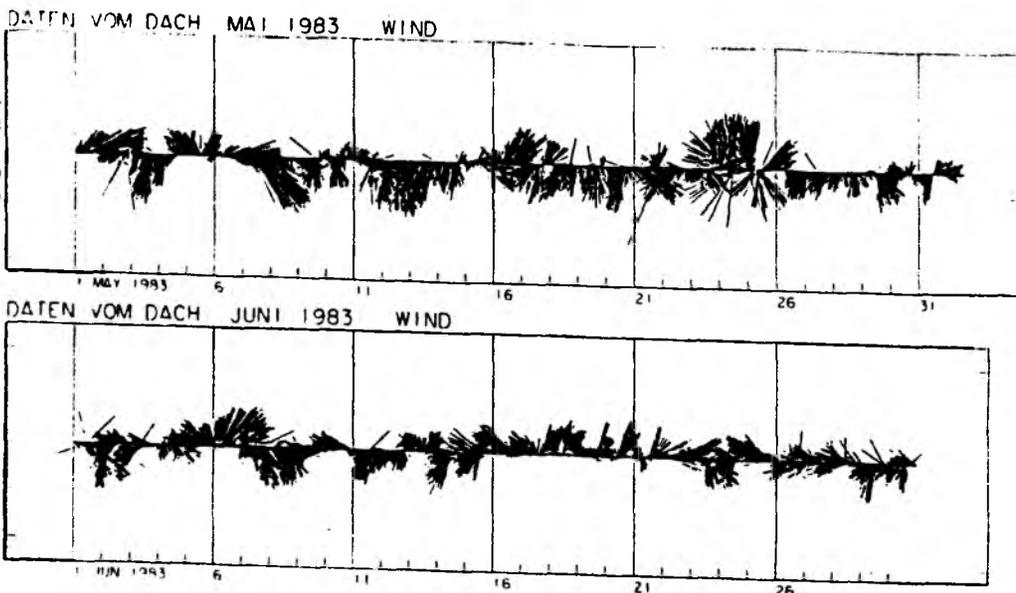
Ab September ist sehr schnell die Dominanz der nördlichen Winde gebrochen. Über Wochen kommt der Wind fast konstant aus südlichen Richtungen ($160^\circ - 200^\circ$). Die Windstärke erreicht leicht $8,0 \text{ m s}^{-1}$ und einige Male auch $12,0 \text{ m s}^{-1}$. Nur am 30. Sept. kommt der Wind aus Nordost. An einigen anderen Tagen auch kurzfristig aus Nordwest.

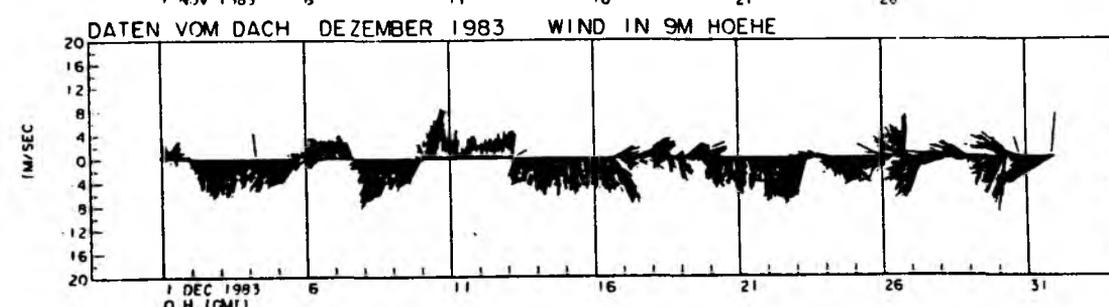
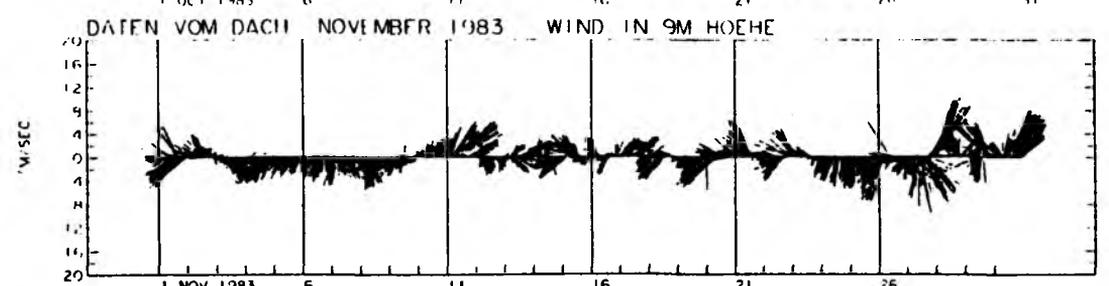
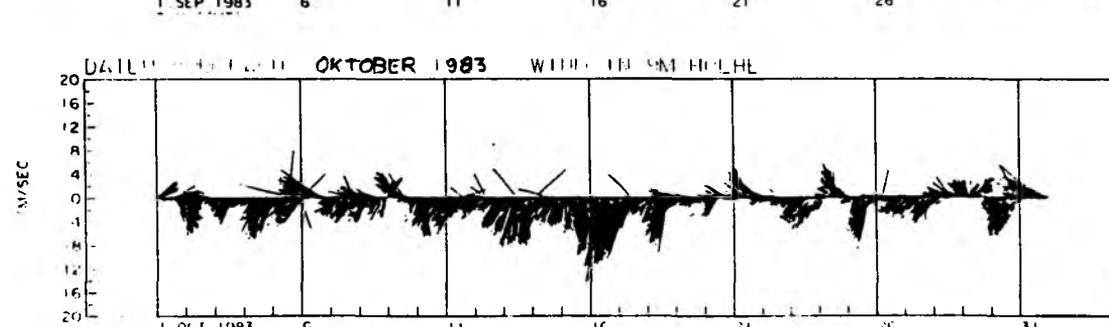
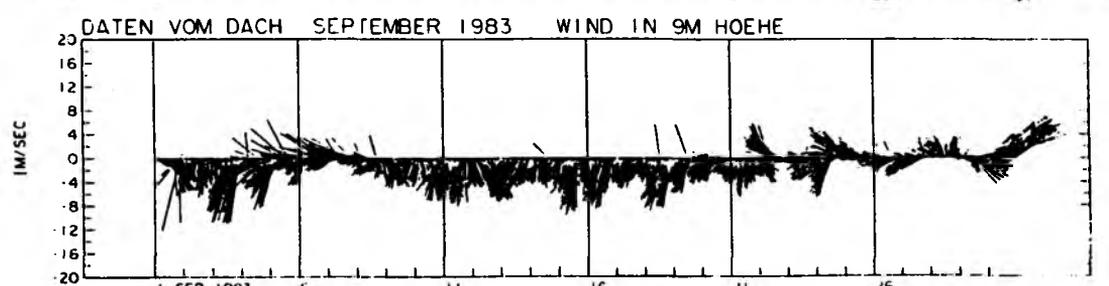
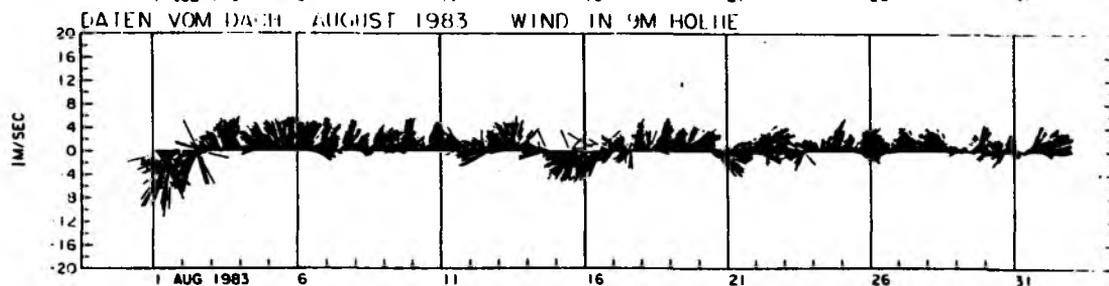
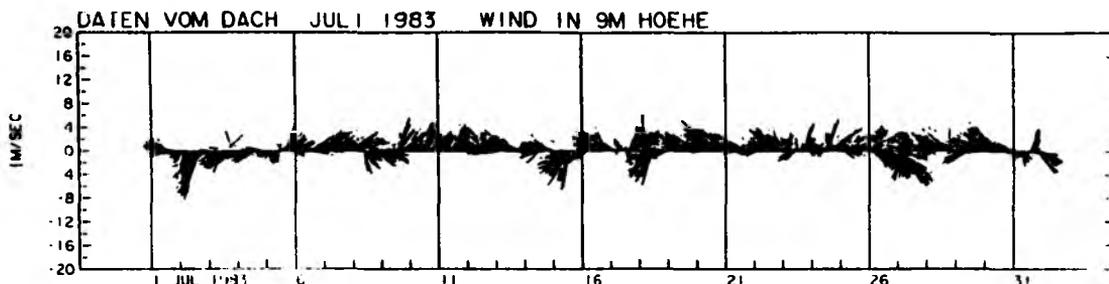
Diese vergleichsweise lange Periode südlicher Winde sorgt nicht nur für eine gute Durchmischung der Wassersäule im Untersuchungsgebiet, sie fördert auch in der Kieler Innenförde salzreiches Wasser an die Oberfläche (s. Abb. 8 a).

Phase 3: November und Dezember 1983

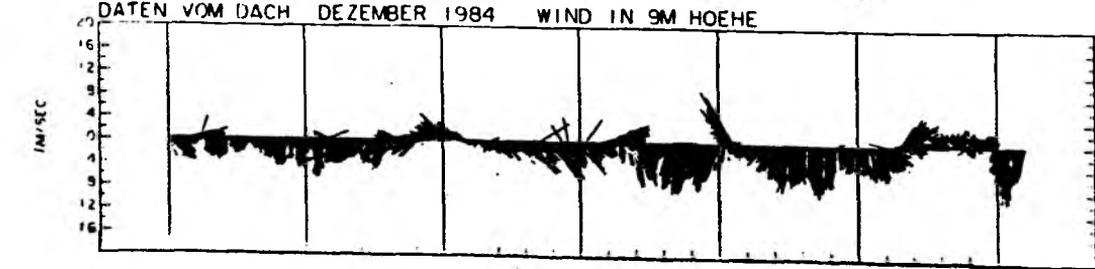
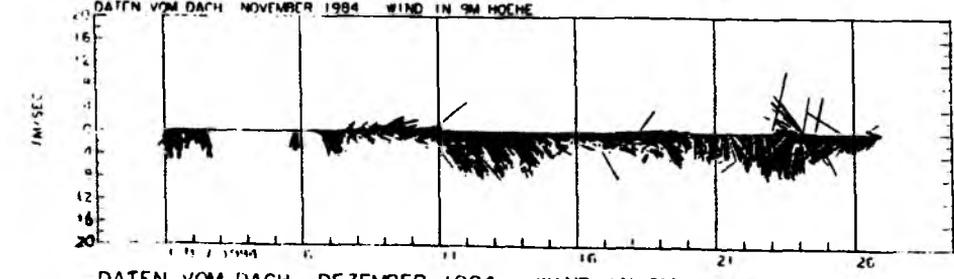
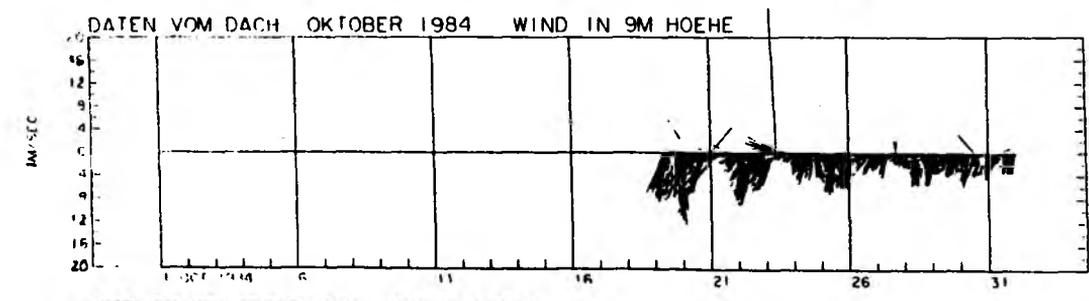
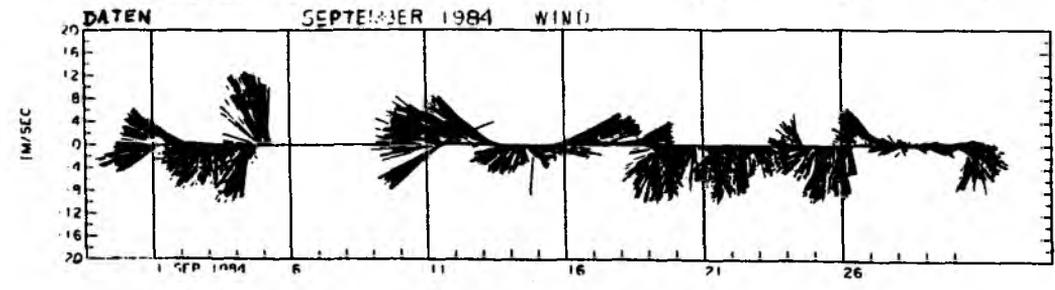
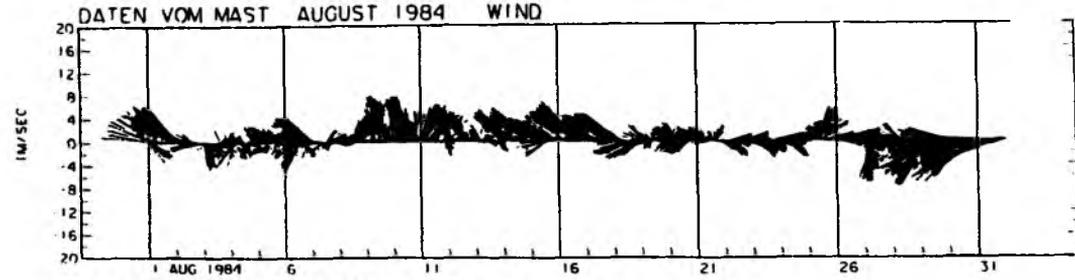
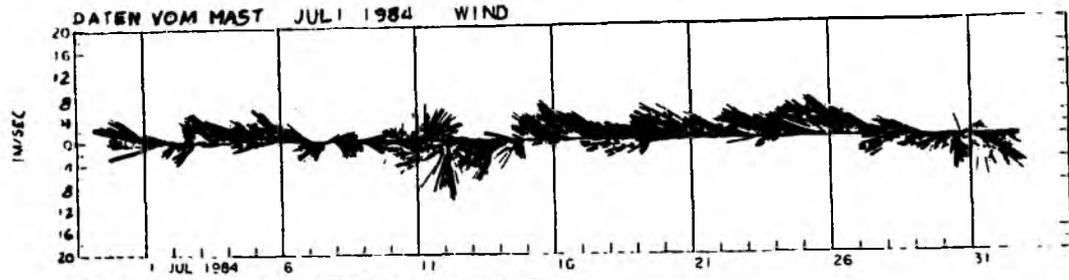
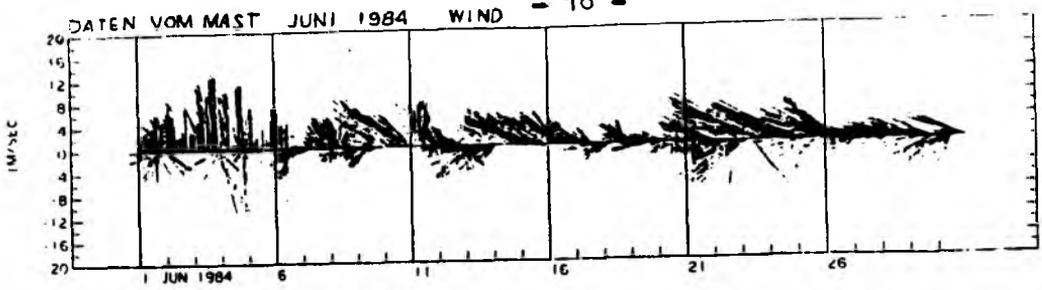
In den beiden letzten Monaten d.J. 1983 lösen sich unterschiedlich lange Phasen (< 1 Tag bis ca. 4 Tage) schwacher nördlicher und südlicher Winde ab.

Abbildung 4 Windrichtung und -geschwindigkeit. Originalplots der Abteilung Maritime Meteorologie des Instituts für Meereskunde. Zwischen Januar und Mai 1984 keine Daten. "Daten vom Dach" = Ergebnisse der Registrierungen auf dem Dach des Inst. f. Meereskunde, "Daten vom Mast" = Ergebnisse der Registrierungen vom Meßmast in der Kieler Bucht.





0 H (GMT)



Phase 4: Juni und Juli 1984

Für die Jahreszeit sehr starke Nordwestwinde, verbunden mit deutlich verringerter Einstrahlung (weniger als 75 %) im Vergleich zum Juni/Juli 1983 sind das Kennzeichen des Sommers 1984. Auch ist eine so strenge Beschränkung auf nördliche Winde, wie im Vorsommer nicht festzustellen. Der Einfluß einer dieser Wetterlagen mit vergleichsweise starken Südwinden ist am 10. und 12. Juli in den Salzgehaltsdaten für die Stationen 1 - 8 gut zu sehen: es kommt in der Hörn zum Auftrieb von salzreichem Bodenwasser (s.Kap. 3.1.5.)

Phase 5: August 1984

Wie schon im Vorsommer besteht auch im August 1984 bei Winden aus nördlichen Richtungen und hier besonders bei denen mit östlichen Komponenten ein guter Zusammenhang mit hohen Einstrahlungen. Es zeigt sich wieder, daß Winde aus südlichen Richtungen (090° - 270°), die in diesem Sommer deutlich häufiger waren, mit einer geringeren Einstrahlung zusammenfallen, da in der Regel auch wolkenreiche Luftmassen herantransportiert werden.

Phase 6: September - Dezember 1984

Anfang und Mitte September traten sehr kurze Perioden mit nördlichen Widen auf, in der Zeit nach dem 20. September aber herrschten, ausgeprägter noch als im Herbst 1983, relativ starke südliche Winde vor. Der Ausstrom aus der Innenförde wird dadurch erleichtert und die Temperatur- und Salzgehaltsverteilungen gleichen sich denen der Kieler Bucht an.

3.1.3. Niederschlag

Neben den meteorologischen Faktoren wie Einstrahlung und Wind ist der Niederschlag im Einzugsgebiet der Kieler Innenförde ebenfalls für den Wasserhaushalt der Förde und die Lebensbedingungen des Phytoplanktons wichtig, da er die hydrographische Schichtung beeinflußt und den Nährsalzeintrag mitbestimmt.

Für die Berechnung der Eintragsmengen durch die Regenwassereinleitungen (3.1.5.) und den direkten Niederschlag wurden die jeweiligen Niederschlagsmengen für die Stadt Kiel während der 20 Monate des Untersuchungszeitraumes zugrundegelegt (Tab. 4).

Neben den sehr geringen Niederschlägen im Juli + August 1983 fällt besonders das relativ trockenen Frühjahr 1984 (Febr.- April) auf. Die in Tabelle 4 für die Stadt Kiel angegebenen Werte werden im Kreis

Tab. 4

Niederschlag - Monatsmittelwerte für Schleswig-Holstein, Stadt Kiel und Kreis Plön in mm/m²
im Untersuchungszeitraum

	1983										1984										1984	GESAMT
	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Schleswig-Holstein	113	51	9	10	88	107	63	79	118	37	30	23	52	117	57	50	102	116	68	50	820	1340
Stadt Kiel	110	40	2	6	72	101	63	78	127	40	30	30	68	124	58	54	91	107	75	37	841	1313
Kreis Plön	113	53	1	8	57	97	56	61	98	35	26	29	53	119	56	59	91	88	75	40	769	1215

Plön, d.h. im Einzugsgebiet der Schwentine noch unterboten. So fielen dort z.B. im März dort nur 39 % des langjährigen Niederschlagsmittels der Jahre 1978-1984.

Während auf das trockene Frühjahr im Kieler Stadtgebiet ein feuchter und regenreicher Sommer folgte und ein Jahresniederschlag von 841 mm m^{-2} fiel, blieb die Niederschlagsmenge im Kreis Plön mit 769 mm m^{-2} im Jahr 1984 deutlich unter dem langjährigen schleswig-holsteinischen Mittel von 820 mm m^{-2} . Sie lag allerdings noch über der des Vorjahres, in dem nur 754 mm m^{-2} fielen.

3.1.4. Süßwassereintrag und Nährsalzzufuhr

Eintrag aus dem Nord-Ostsee-Kanal

Die Wassermenge, die der Nord-Ostsee-Kanal (NOK) jährlich in die Kieler Innenförde entläßt, ist für den Untersuchungszeitraum nur indirekt abzuschätzen. Hierzu sollen folgende Angaben, aus zurückliegenden Jahren dienen:

1. Die Abflußmenge zwischen dem 29. 1. und dem 5. 6. 1981 betrug $112,24 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ an 56 Entwässerungstagen mit durchschnittlich 9 Entwässerungstagen. Das entspricht bei 150 Entwässerungstagen pro Jahr (vgl. Kap. 2.1.) einem Abfluß von $2,07 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{Tag}$ oder $310,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{Jahr}$.

2. Eine Entwässerung findet allerdings nicht kontinuierlich statt, da ein Wasserstand von 5 m über Pegelnull zur Gewährleistung einer störungsfreien Schifffahrt im Kanal eingehalten werden muß. Erst wenn sich eine Wasserstandsdifferenz von ca. 10 cm zwischen dem NOK und der Kieler Innenförde ergibt, werden die 10 Schütze in Kiel-Holtenau geöffnet. Eine ausreichende Wasserstandsdifferenz tritt aber nur an ca. 150 Tagen im Jahr auf (Wasserbauamt Brunsbüttelkoog, 1969). Das im Untersuchungszeitraum aus dem NOK in die Kieler Innenförde entwässerte Volumen beträgt demnach rund $500,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Dieses Wasser hat einen Salzgehalt von rund 90 % des Salzgehaltes der Förde (s. Tab. 5). Das bedeutet, daß ein Mischwasser aus ca. 9 Teilen Fördewasser und 1 Teil Süßwasser den Kanal bei Holtenau vor den Schleusen füllt. Der Einfluß des Süßwassers auf die Qualität des in die Förde eingeleiteten Wassers ist also verglichen z.B. mit dem der Schwentine gering; was sich auch aus der folgenden Überlegung ergibt:

Tab. 5 Nord-Ostsee-Kanal - Nährsalze (in $\mu\text{M}/\text{l}$ bzw. mg/l) und Salzgehalt (in o/oo)
 am 28. Februar und 1. Oktober 1984 zwischen Holtenau und Rendsburg.
 Ges.N = $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$

Kanal km	Station	28.2.					1.10.				
		Ges.N		$\text{PO}_4\text{-P}$		S o/oo	Ges.N		$\text{PO}_4\text{-P}$		S o/oo
		μM	mg	μM	mg		μM	mg	μM	mg	
--	Station 4 NOK	32.5	0.46	1.70	0.053	17.0	--	--	--	--	
98	Holtenau Hafen	63.8	0.89	2.24	0.069	15.0	27.7	0.39	2.76	0.086	14.4
93	Levensauer Hochbrücke	81.3	1.14	2.59	0.080	13.1	--	--	--	--	
85	Eidermündung	141.4	1.98	3.42	0.106	8.9	42.1	0.54	4.79	0.149	9.3
80	Weiche Königsförde	152.2	2.13	4.47	0.139	7.7	53.5	0.75	4.69	0.145	8.0
75	Fähre Sehestedt	154.8	2.17	5.8	0.180	6.4	57.7	0.81	4.25	0.132	7.2
62	Hafen Rendsburg	--	--	--	--	--	71.1	1.00	4.24	0.131	4.9

Geht man von rund $2,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Entwässerungsvolumen pro Entwässerungstag aus, dann entspricht dies dem Volumen des Kanalabschnittes zwischen den Schleusen und einem Punkt ca. 670 m hinter der Holtenauer Hochbrücke. Dieser Abschnitt hat Salzgehalte immer noch nahe denen der Förde bei Holtenau (s. auch Brandhorst, 1955, Abb. 11-13). Bei dieser Berechnung wurde als zur Entwässerung anstehender Wasserkörper nur die Schicht zwischen der Oberfläche und 5 m Tiefe angenommen, da das Bodenwasser bei Entwässerung nicht direkt in die Förde gelangt. Außerdem wird durch die fortwährenden Schiffsschleusungen immer wieder salzreiches Fördewasser in das Holtenauer Hafengebiet eingebracht. Dies bedeutet, daß der Süßwasseranteil des in die Förde "zurück"-geleiteten Mischwassers kaum über 10 - 20 % liegen wird.

Hierzu sei außerdem erwähnt, daß die Eidermündung, als nächster größerer Süßwasserzulauf zum NOK ca. 12 km hinter den Schleusen liegt, also meist jenseits der Wasserscheide. Über die Inhaltsstoffe der Eider sind keine Daten verfügbar, da sie zur Zeit keiner Beprobung unterliegt.

Die durch den Kanal in die Förde eingetragenen Nährsalzmengen sind ungleich schwieriger zu bestimmen als die Abflußmenge, da keine kontinuierlichen Messungen vorgenommen werden. Die auf zwei Ausfahrten im Jahr 1984 in den NOK bis Sehestedt bzw. bis zum Hafen Rendsburg gemessenen Konzentrationen sind in Tabelle 5 wiedergegeben.

Die Nährsalzfracht steigt mit sinkendem Salzgehalt an. Für die Summe der anorganisch gelösten Stickstoffnährsalze besteht am 28. 2. sogar eine hochsignifikante Korrelation von $r = 0,993$; $P = \ll 0,001$ zwischen beiden Parametern. Die Konzentrationen an der Eidermündung haben dieselbe Größenordnung wie die der Schwentine.

Da für die mittlere Nährsalzkonzentration der Eider keine Angaben vorliegen, eine größenordnungsmäßige Abschätzung des Eintrages an Stickstoff und Phosphor durch den NOK in die Förde aber wichtig erscheint, werden die entsprechenden Daten des LA-WK für die Schwentine während des Untersuchungszeitraumes zugrunde gelegt. Die sich so ergebenden Nährsalzfrachten, die bei einem Süßwasseranteil von ca. 10 % am Entwässerungsvolumen im Untersuchungszeitraum (610 Tage, d.h. ca. 250 Entwässerungstage) in die Förde eingebracht wurden, sind in Tabelle 6 wiedergegeben.

An dieser Stelle muß noch einmal betont werden, daß es sich bei dieser Berechnung um eine äußerst grobe Annäherung handelt.

Tab. 6 Eintrag an Stickstoff und Phosphor in 10^3 kg

		Mai - Dezember		Unters.- zeitraum	Summe	Anteil NO ₃ -N in %
		1983	1984			
I	N O K ⁶					
	NO ₃ - u. NO ₂ -N	36.2	47.1	83.3	98	85
	NH ₄ -N	5.8	9.1	14.9		
	PO ₄ -P	5.5	6.0	11.5		
II	Schwentine ^{1.7.9}					
	NO ₃ - u. NO ₂ -N	117.1	314.0	431.1	483	89
	NH ₄ -N	18.8	33.6	52.4		
	PO ₄ -P	18.9	21.8	40.7		
III	Einleitungen ^{2.3.4.7.8} Stadt Kiel und Gem. Heikendorf					
	NH ₄ - u. NO ₃ -N	6.2	11.3	17.5	17.5	
	PO ₄ -P	.16	.30	.46		
IV	Niederschlag ^{2.4.5.7}					
	NH ₄ - u. NO ₃ -N	13.5	24.0	37.5	37.5	
	PO ₄ -P	.356	.630	.986		
Summe N		198.0	439.0	637.0		
Summe P		24.9	28.7	53.6		

Anmerkungen zu Tabelle 6

1. Die Daten für die Schwentine sind mit den korrigierten Monatsmittelwerten der Nährsalze an der Mündung und den Monatsmittelwerten für den Abfluß am Pegel Preetz berechnet worden.
2. Bei den Niederschlagsberechnungen wurde ein $\text{NH}_4\text{-N}$ zu $\text{NO}_3\text{-N}$ Verhältnis von 1.2 : 1 angenommen und eine Deposition von $1,6 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ zugrunde gelegt (B. Schneider, IfM-Kiel, pers. Mittlg.).
3. Für die Berechnung des Eintrages an N und P durch die Regeneinleitungen wurde dieselbe Konzentration wie im Niederschlag angenommen.
4. Die $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentration im Niederschlag ist nach Rodhe et al. (1980) deutlich geringer als $100 \mu\text{g l}^{-1}$. Hier wurden $50 \mu\text{g T}^{-1}$ zugrunde gelegt.
5. Die Werte für den direkten Eintrag sind mit Hilfe der Niederschlagsmenge für die Stadt Kiel berechnet (Wetteramt Schleswig).
6. Die Eintragsberechnungen für den NOK erfolgten über die Abschätzung von 10 % Süßwasseranteil am Abfluvolumen von rund $300 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ und mit Hilfe der Jahresmittelwerte der Inhaltstoffe der Schwentine, da für den NOK keine Meßdaten vorliegen (s. Kap. 3.1.4.).
7. Monatsweise aufgeschlüsselt in Tabelle 8.
8. Die 13 abflußgrößten Einleitungen und ihr Einzugsgebiet sind in Abbildung 6 und Tabelle 9 wiedergegeben.
9. Für die Monate November und Dezember 1984 wurde unter Berücksichtigung des Abflusses in Monaten mit vergleichbarem Niederschlag eine Abflußmenge von $10,0 \cdot 10^6$ bzw. $6,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ angenommen, da hier noch keine Daten vorliegen.

Abweichungen von den in Tabelle 6 angeführten Werten von 50 % im Jahresmittel und um möglicherweise mehr als 100 % zu bestimmten Jahreszeiten sind als wahrscheinlich anzusehen. Schon aus diesem Grund muß darauf verzichtet werden, eine saisonale Aufgliederung der durch den NOK eingebrachten Nährsalzmengen vorzunehmen. Man kann allerdings davon ausgehen, daß die Stickstofffrachten im Spätwinter und Frühjahr höher sind als im Sommer.

Eintrag durch die Schwentine

Die Abflußmenge der Schwentine wird am Pegel in Preetz gemessen und in Tagesmittelwerten vom Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten (LA-WK) in Kiel erfaßt. Die monatlichen Abflußmengen der Schwentine sind in Tabelle 7 wiedergegeben. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes waren es $213,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, im Jahr 1984 $137,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ also rund 90 % des Förde Volumens (s. Kap. 2.1.). Durch den Verlauf der Schwentine, die durch eine Reihe ostholsteinischer Seen fließt und im Mittellauf ein Gefälle von nur 0.12 % (2.7 m auf 24 km) hat, ist eine direkte Beziehung zwischen dem Niederschlag in ihrem Einzugsgebiet und den Abflußmengen bei Preetz nicht gegeben. Die Flutwelle erreicht Preetz mit einer Verzögerung von ca. 4 Wochen (Brunswig, LA-WK-Kiel, pers. Mittlg.)

Wie in Tabelle 7 zu sehen, schwanken die Abflußmengen nahezu um den Faktor 10 (vgl. Mai und Sept. 1983). Damit verbunden sind auch starke Schwankungen im Nährsalzgehalt des abfließenden Wassers. Nach Angaben des LA-WK (Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten, 1984) lagen die $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ Konzentrationen im Jahr 1983 zwischen 0,543 und 5,19 mg/l (39 $\mu\text{M-N/l}$ und 371 $\mu\text{M-N/l}$). Die Ammoniumkonzentrationen lagen zwischen 0,083 und 0,544 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ (5,9 - 38,9 $\mu\text{M-N/l}$). Die Phosphatkonzentrationen lagen zwischen 0,08 und 0,83 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$ (2,6 - 26,7 $\mu\text{M-P/l}$). Da es sich bei diesen Angaben um die Ergebnisse monatlicher Messungen handelt, muß man davon ausgehen, daß die tatsächliche Variabilität der Nährsalzkonzentrationen höher ist.

Zur Berechnung der in die Förde eingebrachten Nährsalzmengen erschien es wenig sinnvoll die monatlichen Angaben des LA-WK direkt zu verwenden, da es auf diese Weise zu einer Überschätzung oder Unterschätzung kommen konnte. Es wurden daher die Konzentrationsangaben zweier jeweils aufeinander folgender Monate linear gemittelt

Tab. 7 Süßwassereintrag in die Kieler Förde in 10^6 m^3

Quelle	1983										1984										1984	Summe
	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
NOK	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	300,0	500.0
Schwentine	25.6	17.8	6.4	3.1	2.8	4.0	6.0	10.3	22.4	21.4	14.9	9.3	6.6	9.1	11.6	9.4	5.9	10.4	10.0	6.0	137.0	213.0
Regen- wasser Stadt Kiel	.66	.24	.01	.04	.43	.61	.38	.47	.76	.24	.18	.18	.41	.74	.35	.32	.57	.64	.45	.22	5.06	8.0
Regen- wasser H'dorf	.10	.04	.00	.01	.07	.09	.06	.07	.12	.04	.03	.03	.06	.11	.05	.05	.08	.10	.07	.03	.77	1.21
Direkter Regen- eintrag	1.65	.60	.03	.09	1.08	1.52	.95	1.17	1.91	.60	.45	.45	1.02	1.86	.87	.81	1.37	1.61	1.13	.56	12.64	19.73
																					455.47	741.94

und dann eine mittlere Konzentration für jeden Monat des Untersuchungszeitraumes berechnet. Sie sind in Tabelle XI wiedergegeben; zusammen mit den Abflußdaten ergaben sich die in Tabelle 9 wiedergegebenen monatlichen Einträge.

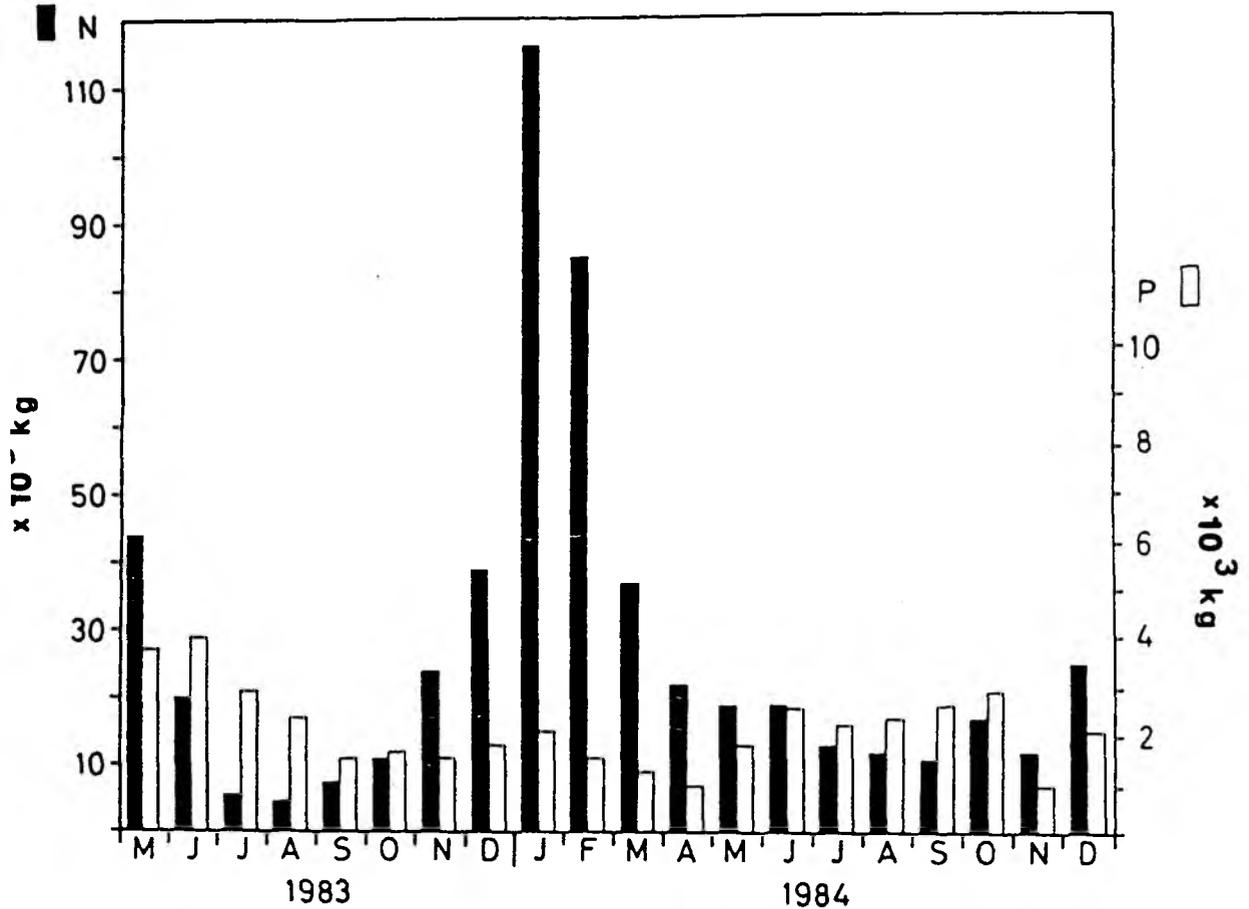


Abbildung 5 Nährsalzfrachten. Monatswerte der Summen der Stickstoffnährsalze ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) bzw. des Phosphat-Phosphors ($\text{PO}_4\text{-P}$) aus den lateralen Quellen und dem direkten Niederschlag. Ohne Nord-Ostsee-Kanal (s. Text). Gleiche Höhen der Säulen bedeuten ein atomares N:P Verhältnis von 16:1. Zahlenwerte in Tabelle 8.

Tab. 8 Nährsalzfrachten der Süßwasserquellen der Kieler Förde.
 Monatlicher Eintrag in 10^3 kg (in kg bei Phosphat-P für den
 direkten Niederschlag und die Regenwassereinleitungen)

	1983										1984										1984	Summe
	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	in 10^3 kg	
Schwentine																						
NO ₃ - u. NO ₂ -N	35.6	14.4	4.3	3.3	3.2	4.6	19.1	32.6	106.1	80.5	34.0	18.4	12.5	10.8	8.0	6.1	4.6	8.7	12.1	12.1	314.0	431.1
NH ₄ -N	4.0	4.0	1.0	1.1	1.3	2.0	2.5	2.9	4.4	2.4	1.7	2.2	3.6	3.3	2.5	3.3	2.8	3.1	2.7	1.6	33.6	52.4
PO ₄ -P	3.6	4.0	2.9	2.3	1.5	1.5	1.5	1.7	2.0	1.5	1.2	1.0	1.7	2.3	2.2	2.3	2.5	2.8	1.5	.80	21.8	40.8
Direkter Nieder- schlag																						
NH ₄ - u. NO ₃ -N	3.14	1.14	.06	.17	2.05	2.88	1.80	2.23	3.61	1.14	.86	.86	1.94	3.54	1.66	1.54	2.60	3.05	2.14	1.06	24.0	37.48
PO ₄ -P in kg	82.5	30.0	1.5	4.5	54.0	75.8	47.3	58.5	95.3	30.0	22.5	22.5	51.0	93.0	42.5	40.5	68.3	80.3	56.3	27.8	.630	.985
Regenw.- einleitg. Stadt Kiel u. H'dorf																						
NH ₄ - u. NO ₃ -N	1.44	.53	.02	.10	.95	1.33	.80	1.03	1.67	.53	.40	.40	.89	1.62	.76	.70	1.24	1.41	1.18	.48	11.28	17.48
PO ₄ -P in kg	38.0	14.0	.5	2.5	25.0	35.0	21.0	27.0	44.0	14.0	10.5	10.5	23.5	42.5	20.0	18.5	31.5	37.0	31.0	12.5	.296	.459
Summe N in 10^3 kg	44.2	20.1	5.4	4.7	7.5	10.8	24.2	38.8	115.8	84.6	37.0	21.9	18.9	19.3	12.9	11.6	11.0	16.5	18.7	15.3	338.5	539.0
Summe P in 10^3 kg	3.73	4.05	2.90	2.31	1.56	1.61	1.57	1.80	2.14	1.54	1.23	1.03	1.77	2.44	2.26	2.36	2.60	2.92	1.59	.84	22.72	42.3

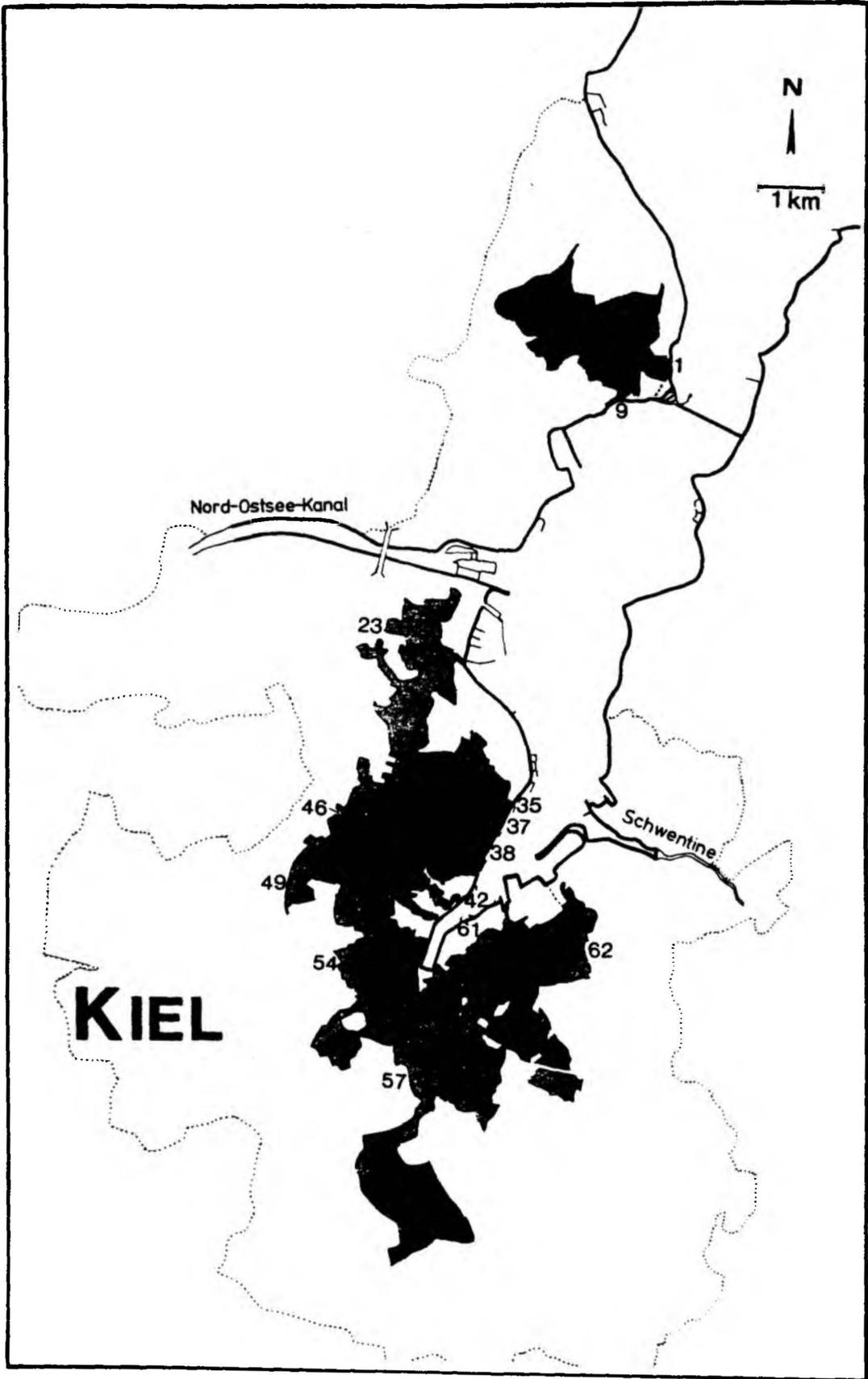


Abbildung 66 Regenwassereinleitungen. Lage und Ausdehnung der 13 abfließenden Regenwassereinleitungsgebiete der Stadt Kiel. Die Zahlen geben die Nr. des Gebietes wieder (s. auch Tab. 90). ····· = Stadtgrenze.

Regenwassereintrag vom Gebiet der Stadt

Kiel und der Gemeinde Heikendorf.

Die Regenwassermengen, die vom Gebiet der Stadt Kiel und der Gemeinde Heikendorf aus die Innenförde erreichen, sind nach Angaben des Wetteramtes Schleswig für den Niederschlag in Kiel berechnet.

In Abbildung 6 sind die 13 abflußgrößten Einzeleinleitungsstellen der Stadt Kiel angegeben. Ihre Einzugsfläche beträgt 2157 ha (83 % der Gesamtfläche von 2600 ha), ihr Abfluß beträgt rund $6,14 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (78 % des Gesamteintrages von $7,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) für den Untersuchungszeitraum zwischen Mai 1983 und Dezember 1984 (s. Tab. 9), wobei $3,95 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ im Jahr 1984 in die Förde abfließen.

Für die Gemeinde Heikendorf wird eine Entwässerungsfläche von rd. 353 ha mit 12 Einleitern und einer durchschnittlichen Entwässerungsleistung von $0,77 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pro Jahr angegeben (Amt für Land- und Wasserwirtschaft-Kiel, ALW-Kiel). Im Jahr 1984 sind also insgesamt rund $5,83 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Regenwasser in die Förde eingeflossen sind. Die monatlichen Mengen schwanken zwischen 0,21 (März, April) und $0,88 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Januar), (Tab. 7).

Da nach dem Landeswassergesetz Regenwassereinleitungen in Gewässer keiner Genehmigung bedürfen, werden weder von der Stadt Kiel noch von für die Gemeinde Heikendorf zuständigen ALW-Kiel ständige Untersuchungen auf Inhaltsstoffe durchgeführt.

Nach Messungen der Abt. Meereschemie des IfM (B. Schneider, IfM-Kiel, pers. Mittlg.) werden pro Jahr und m^2 ca. 1,6 g NH_4^- und NO_3^- -N durch den Niederschlag in die Kieler Bucht eingetragen. Aufgrund von fehlenden Langzeitmessungen muß vorerst davon ausgegangen werden, daß Stickstoffmenge und Niederschlag direkt miteinander korrelierbar sind (B. Schneider, pers. Mittlg.).

Unter der Annahme, daß von den größtenteils versiegelten Flächen der Stadt Kiel die im Regenwasser enthaltenen Mengen an Stickstoff und Phosphor quantitativ in die Förde abfließen, muß für den Untersuchungszeitraum mit einem Eintrag von ca. $17,5 \cdot 10^3 \text{ kg NH}_4^- + \text{NO}_3^-$ -N gerechnet werden. Die errechneten monatlichen Eintragsmengen sind in Tabelle 8 wiedergegeben.

Der Gehalt an gelöstem Phosphor im Regenwasser beträgt nach Rodhe et al. (1980) normalerweise deutlich weniger als $100 \mu\text{g-P/l}$. Legt man einen Wert von $50 \mu\text{g-P/l}$ zugrunde, so werden durch die direkten und ungeklärten Regenwassereinleitungen nur ca. 460 kg P während des gesamten Untersuchungszeitraumes in die Förde eingebracht (Tab. 8). Diese Menge ist im Vergleich zu den durch den NOK und die Schwentine eingetragenen Mengen vernachlässigbar gering.

Tab. 9 Die 13 abflußgrößten Regeneinleiter der Stadt Kiel und ihre monatliche Abflußmenge im Untersuchungszeitraum in 10^3 m^3

		Nieder- schlag in mm	1 ¹	9	23	35	37	38	42	46	49	54	57	61	62	Summe
			114.7 ²	101.7	180.0	119.0	61.7	57.8	44.9	94.0	98.5	134.4	747.7	109.4	292.8	
1983	M	110	19.93	26.40	54.25	45.29	28.84	26.96	31.36	43.12	41.50	41.25	99.52	33.70	22.55	514.7
	J	40	7.25	9.60	19.73	16.47	10.49	9.80	11.40	15.68	15.09	15.0	36.19	12.25	8.20	187.2
	J	2	.36	.48	.99	.82	.52	.49	.57	.78	.75	.75	1.81	.61	.41	9.3
	A	6	1.09	1.44	2.96	2.47	1.57	1.47	1.71	2.35	2.26	2.25	5.43	1.84	1.23	28.1
	S	72	13.05	17.28	35.51	29.65	18.88	17.65	20.53	28.22	27.16	27.0	65.14	22.06	14.76	336.9
	O	101	18.30	24.24	49.81	41.59	26.48	24.75	28.80	39.59	38.10	37.87	91.38	30.94	20.70	472.6
	N	63	11.42	15.12	31.07	25.94	16.52	15.44	17.96	24.69	23.77	23.62	57.0	19.30	12.91	294.8
	D	78	14.14	18.72	38.47	32.12	20.45	19.12	22.24	30.57	29.43	29.25	70.57	23.89	15.99	365.0
1984	J	127	23.02	30.48	62.64	52.79	33.30	31.12	36.71	49.78	47.91	47.62	114.9	38.90	26.03	594.2
	F	40	7.25	9.60	19.73	16.47	10.49	9.80	11.40	15.68	15.09	15.0	36.19	12.25	8.20	187.2
	M	30	5.44	7.20	14.80	12.35	7.87	7.35	8.55	11.76	11.32	11.25	27.14	9.19	6.15	140.4
	A	30	5.44	7.20	14.80	12.35	7.87	7.35	8.55	11.76	11.32	11.25	27.14	9.19	6.15	140.4
	M	68	12.32	16.32	33.54	28.0	17.83	16.66	19.39	26.65	25.65	25.50	61.52	20.83	13.94	318.2
	J	124	22.47	29.76	61.16	51.06	32.52	30.39	35.35	48.61	46.78	46.50	112.2	37.98	25.42	580.2
	J	58	10.51	13.92	28.61	23.88	15.21	14.21	16.54	22.73	21.88	21.75	52.47	17.77	11.89	271.4
	A	54	9.79	12.96	26.63	22.23	14.16	13.23	15.40	21.17	20.37	20.25	48.85	16.54	11.07	252.7
	S	91	16.49	21.84	44.88	37.47	23.86	22.30	25.95	35.67	34.33	34.12	82.33	27.88	18.65	425.8
	O	107	19.39	25.68	52.77	44.06	28.06	26.22	30.51	41.94	40.37	40.12	96.80	32.78	21.93	500.6
	N	75	13.59	18.0	36.99	30.88	19.67	18.38	21.38	29.40	28.29	28.12	67.85	22.97	15.37	350.9
	D	37	6.71	8.88	18.25	15.23	9.70	9.07	10.55	14.50	13.96	13.87	33.47	11.33	7.58	173.1
Summe		1313	238.0	315.1	647.6	540.6	344.3	321.8	374.4	514.7	495.3	492.3	1187.9	402.2	269.1	6143.7

1 Nr. des Einleitungsgebietes

2 Größe des Einleitungsgebietes in ha

Eintrag durch direkten Niederschlag

Bei einer Fläche von rund 15 km^2 und 1313 mm Niederschlag pro m^2 zwischen Mai 1983 und Dezember 1984 fielen ca. $20,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ oder $12,3 \%$ des Fördevolumens auf die Kieler Innenförde. Die genauen monatlichen Einträge durch den Niederschlag sind in Tabelle 6 wiedergegeben. Es zeigt sich, daß auf dem direkten Weg etwa doppelt so viel Regenwasser in die Förde eingebracht wird, wie indirekt.

Das bedeutet, daß bei $1,9 \text{ mg NH}_4^-$ und NO_3^-/l Niederschlag während des Untersuchungszeitraumes ca. $38,0 \cdot 10^3 \text{ kg N}$ direkt in die Förde regneten (Tab. 6). Hinzu kommen rund $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$ Phosphor. Die monatlichen Eintragsmengen, aus der Konzentration und dem Niederschlag berechnet, sind in Tabelle 8 wiedergegeben.

3.1.5. Hydrographische Daten

Wasseraustausch durch die Friedrichsorter Enge

Der Wasseraustausch zwischen Kieler Innenförde und Kieler Bucht erfolgt durch die Friedrichsorter Enge, die an ihrer schmalsten Stelle ca. 1064 m breit ist (s. Abb. 2). Die Querschnittslinie verläuft in ost-süd-östlicher Richtung; die Querschnittsfläche beträgt rd. 13000 m^2 , 76% davon sind oberhalb von 10 m , $1,5 \%$ liegen tiefer als 15 m . Ihre größte Tiefe beträgt $16,5 \text{ m}$.

Der Wasseraustausch erfolgt durch einen nordwärts gerichteten Oberflächenstrom aus der Förde in die Kieler Bucht, der infolge der Corioliskraft am Ostufer entlangzieht und durch einen südwärts in die Förde fließenden Bodenstrom, der am Westufer der Außenförde und der Innenförde besonders ausgeprägt ist. Der Einfluß des Gezeitenstromes ist bei einem Tidenhub von $10 - 20 \text{ cm}$ im Bereich der westlichen Ostsee zwar deutlich anhand der Pegeldaten nachzuweisen, er dürfte aber für den Wasseraustausch zwischen Innenförde und Kieler Bucht unerheblich sein.

Eine Quantifizierung des Wasseraustausches ist ebenso wie die exakte Dokumentation von Austauschereignissen, ohne den Einsatz von Strömungsmessern in der Friedrichsorter Enge kaum möglich.

Durch den Vergleich von Pegelstandsdaten sind allerdings einige generelle Aussagen über hydrographische Ereignisse und eventuelle

Grundmuster ihres Auftretens möglich. Dabei kann auf die Messungen am Pegel IfM und am Pegel in Strande zurückgegriffen werden. In Abbildung 7 sind die Entwicklungen der Wasserstandsdifferenzen zwischen den beiden Pegeln an den Ausfahrttagen, soweit sie zur Verfügung standen, zwischen 8.⁰⁰ und 16.⁰⁰, wiedergegeben.

Es wird deutlich, daß besonders im Frühjahr aber auch im übrigen Untersuchungszeitraum der Wasserstand in der Förde über dem der Strander Bucht liegt. Bedingt durch die Koppelung mit den hydrographischen Vorgängen in der Kieler Bucht und die direkten Einwirkungen des Windes auf den Wassertransport ist die Änderung der Pegelstandsdifferenz kurzfristigen Schwankungen unterworfen und nur in der Minderzahl über den Beobachtungszeitraum konstant. Die absolute Änderung des Wasserstandes in der Innenförde weist dagegen während der Ausfahrttage ein konservativeres Verhalten auf, wie durch die + und - Zeichen in Abbildung 7 gezeigt wird. Diese stehen für kontinuierliche Wasserstandserhöhung bzw. -senkung während eines Tages. Nur an elf Tagen findet sich eine Umkehr der absoluten Wasserstandsänderung. An

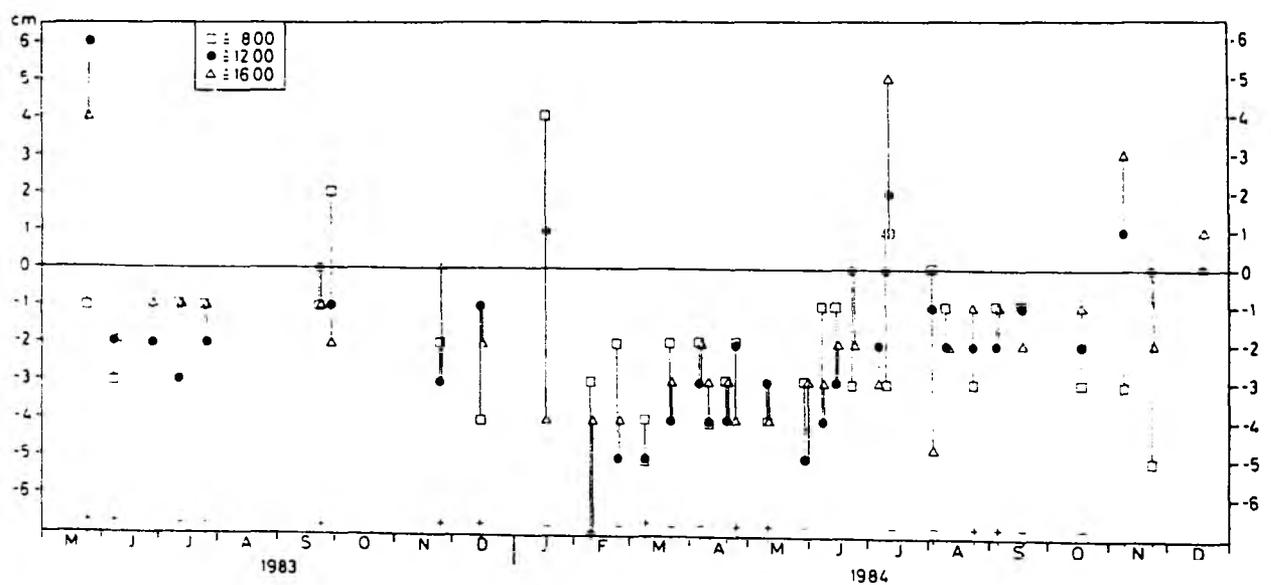


Abbildung 7 Pegeldaten. Entwicklung der Wasserstandsdifferenzen zwischen den Pegeln in Strande und am Institut für Meereskunde um 8.⁰⁰, 12.⁰⁰ und um 16.⁰⁰. Negative Werte zeigen einen höheren Wasserstand in der Förde an. + und - bedeuten kontinuierliche absolute Wasserstandserhöhungen bzw. -senkungen an den markierten Tagen zwischen 8.⁰⁰ und 16.⁰⁰.

einigen dieser Tage bleibt die Entwicklung der Wasserstandsdifferenz zwischen Innen- und Außenförde interessanterweise ohne Richtungsänderung, so am 29. Sept. 1983, am 10. Juli und am 8. Nov. 1984. Dies bedeutet, daß die Innenförde nicht nur einem Einstrom neu eindringenden Wassers unterworfen wurde, sondern zeigt an, daß sie mit den Bewegungen des Kieler Bucht Wassers in einem regelmäßigen Rhythmus (allerdings mit einer gewissen Zeitverzögerung) Wasserstandserhöhungen und -senkungen mitmacht. Diese Schwappbewegung führt nur in einem sehr geringen Maß zum Wasseraustausch von innen nach außen (an der Oberfläche) bzw. von außen nach innen (am Boden), vielmehr wird ein Wasserkörper hin und her bewegt.

Die Salzgehaltsverteilung

Die in Abb. 8 a, b wiedergegebenen Isohalinen der Stationen 1-8 geben ein Bild von den hydrographischen Verhältnissen im Untersuchungsgebiet zwischen Mai 1983 und Dezember 1984.

Der Salzgehalt in der Kieler Innenförde schwankt im Untersuchungszeitraum zwischen 10 ‰ und 22 ‰ an der Oberfläche, wobei die niedrigsten Werte im Juni 1983, die höchsten Werte im Winter 1983/84 auftraten. In der Regel ist der Süßwasserzufluß der Schwentine als salzgehaltssenkender Faktor bei Station 3 gut auszumachen (s. Juni/Juli 1983, Frühjahr 1984). Ausnahmen bilden die Süßwasserzuströme bei Station 1 Anfang April und Ende Mai 1984 sowie Mitte Januar und Ende April 1984 bei Station 4.

Auf den Außenstationen 7 und 8 liegen die Salzgehalte im Sommer zwischen 14 und 16 ‰, im Winter bei ca. 21 ‰. Besonders auffällig ist der Einfluß von relativ salzarmem Oberflächenwasser bei Station 8 (nördlich Gabelsflach) im März-April 1984, was auf einen erhöhten Ostseewasseranteil im Mischwasser der zentralen Kieler Bucht schließen läßt. Dieser Zustrom aus dem Femarnbelt ist aber schon auf Station 7 (südlich Gabelsflach) im März nicht und im April nur geringfügig nachzuweisen. Dies deutet auf einen Unterschied der hydrographischen Lage in Bezug auf den Einstrom von Ostseewasser zwischen diesen beiden Stationen hin.

Das in die Förde strömende Süßwasser (s. Tab. 7) führt zu einem Wasseranstieg in der Förde (Abb. 7) und zu einem Ausstrom, der durch die vorherrschende Windrichtung gefördert bzw. zeitlich verzögert werden kann. Je ein Beispiel mag dies verdeutlichen.

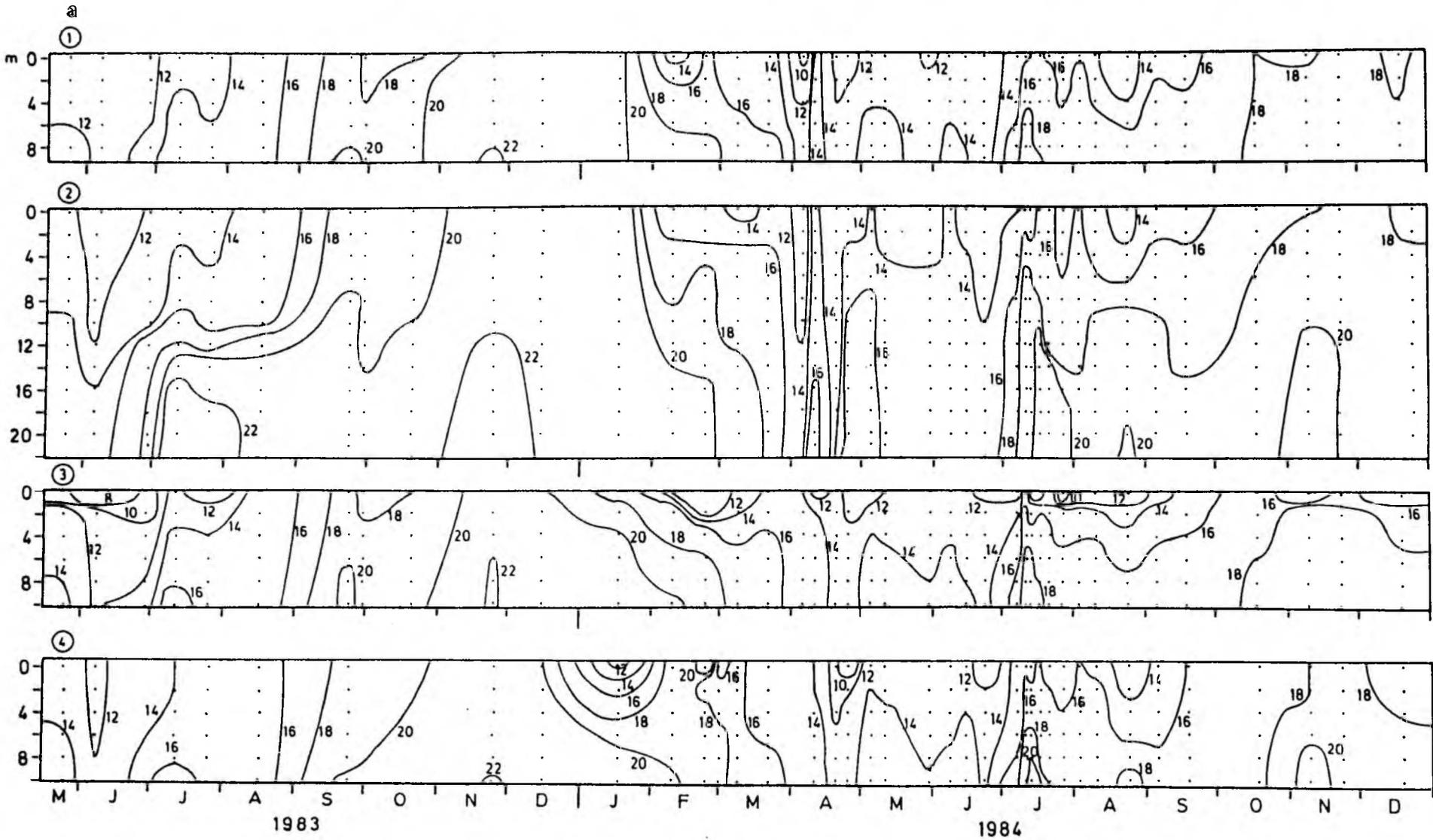
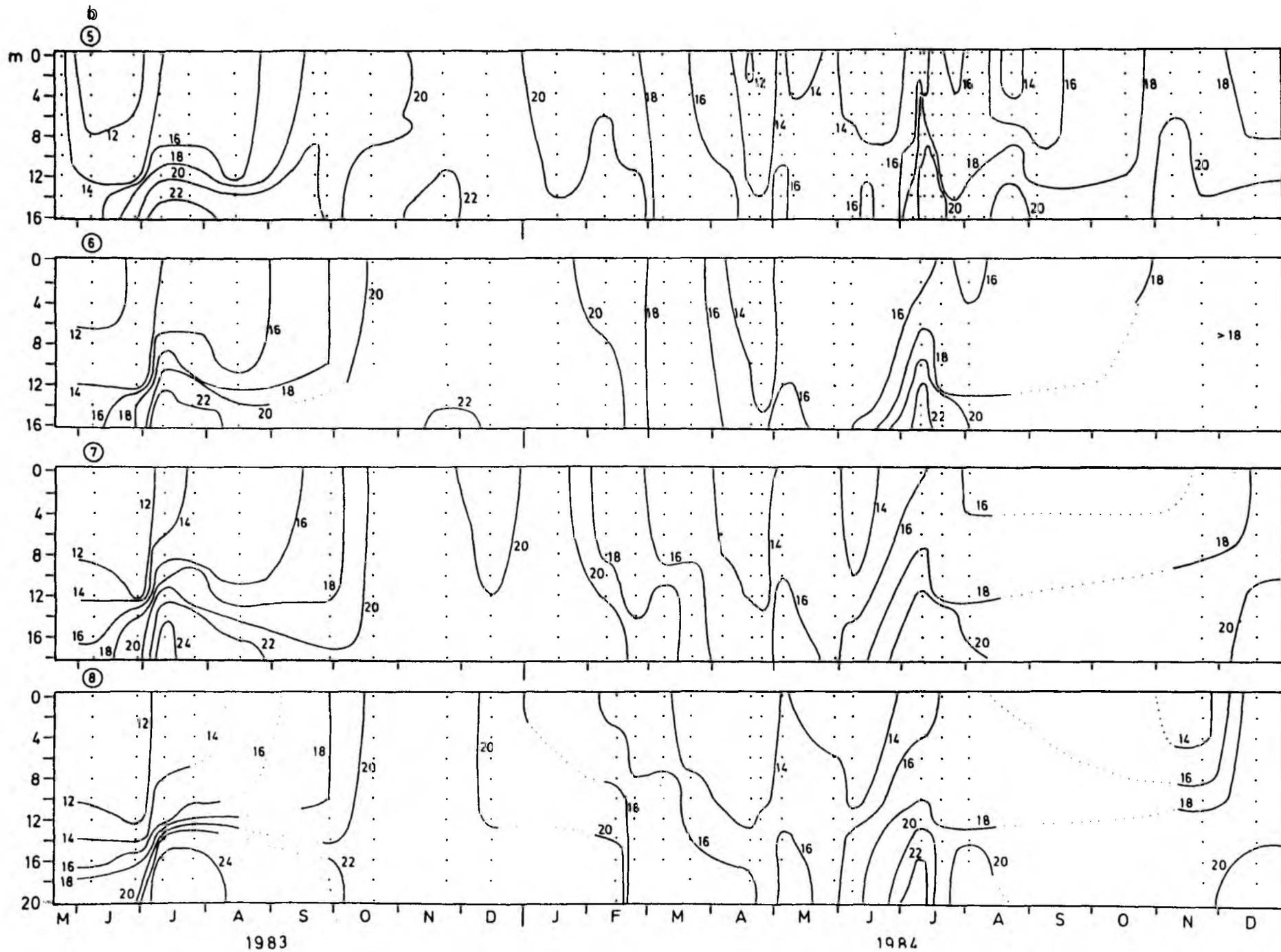


Abbildung 8 a+b Salzgehalt in 10^{-3} .



Anfang Juni 1983 kam es zu einem deutlichen Ausstrom von salzarmem, durch den Schwentinezustrom ausgesüßten Wassers bei südöstlichen Winden um 4 Beaufort.

Am 9. Februar 1984 kam es zu einem Stau infolge nordöstlicher Winde um 5 Beaufort von Schwentinewasser in der inneren Innenförde (Stationen 1 und 2). Die Pegeldata zeigen einen Anstieg des Wasserstandes in der Förde bis zum Mittag und anschließend einsetzenden Ausstrom.

Der Zustrom von salzreichem Kieler Bucht Wasser in die Innenförde, welches immer ein Mischwasser aus ehemals oberflächennahem Kattegatwasser mit Ostseewasser darstellt, erfolgt über die kleine Schwelle (14 m) bei Friedrichsort. Diese bewirkt ein Abschneiden des tiefer gelegenen Bodenwassers mit besonders hohen Salzgehalten. Das wird deutlich im Juli 1984, als bei den Stationen 7 und 8 unterhalb von 15 m 24 ‰-haltiges Wasser auftritt, in der Innenförde aber auch in der Wittlingskuhle (21 m), nur das über die Schwelle eingedrungene 22 ‰ haltige Wasser nachzuweisen ist. In der innersten Förde zeigt der Anstieg der 14 ‰ Isohaline den einstrombedingten Auftrieb an.

Generell scheint es zwei Wege für das Bodenwasser zu geben, in die Kieler Innenförde einzudringen:

1. durch die Rinne, die östlich vom Gabelsflach beginnt (54°, 31' N, 10°, 29' E) und sich, vorbei an den Stationen 7 + 6, durch die Strander Bucht bis nach Friedrichsort mit tiefen zwischen 16 und 18 m fortsetzt. Dies ist der übliche Weg des Bodenwassers.

2. Über die nur 12-13 m flache Schwelle (Busch, 1917, gibt sie noch mit 20 m an) zwischen dem Rinnensystem am Eingang der Eckernförder Bucht und der Stollergrund-Rinne in die Strander Bucht. Dieser Weg wird nur selten während extremer Einstromlagen beschritten. Während des Untersuchungszeitraumes geschah es nur einmal Ende November 1983. Hier drang stark salzhaltiges Wasser in die Strander Bucht und die Innenförde ein. Dieses Wasser mit einem Salzgehalt von 23 ‰ bei Station 6 in 16 m Tiefe und noch 22 ‰ bei Station 1 in 8 m Tiefe gehört zu einem Bodenwasserkörper, der Ende November bei Boknis Eck mit über 24 ‰ auftrat (Weiße, 1985, Abb. 3, b). Wie in Abbildung 8 b zu sehen, tritt dieses Wasser nicht bei den Außenstationen 7 und 8 auf.

Findet der Einstrom von salzreichem Bodenwasser Unterstützung durch die vorherrschenden lokalen Wetterbedingungen (Südwind), so erreicht

dieses Wasser in der Hörn (St. 1) die Oberfläche. Während des Untersuchungszeitraumes sind zwei Fälle von Auftrieb bei Station 1 nachzuweisen:

Einer am 10 April 1984, als über 14 ‰ haltiges Wasser die gesamte Innenförde von 0 - 14 m Tiefe füllt und das zuströmende Schwentinewasser nur eine flache Zunge mit knapp unter 12 ‰ in die Förde entsendet. In größeren Tiefen (s. St. 2) liegt der Salzgehalt sogar über 16 ‰. In diesem Fall hat sich leichteres Wasser über das ältere schwerere in der Wittlingskuhle geschoben.

Der andere am 16. Juli 1984, als nur 4 Tage nach dem Einstrom von salzreichem Wasser aus der Kieler Bucht dieses in der Hörn die Oberfläche erreicht und ein Ausstrom einsetzt. (Abb. 8). Auch hier bleibt der Einfluß des Schwentinewassers gering. An beiden Tagen beträgt der Abfluß der Schwentine nur 0,33 bzw. 0,35 10^6 m^3 . Ein Wert, der noch unter dem 10-jährigen Mittel von 0,39 10^6 m^3 liegt (vgl. Tab. X).

Aufschluß über den Weg, den das an der Oberfläche ausströmende Wasser nimmt, geben die Messungen an zwei Ausfahrttagen, dem 28. Juni 1983 und dem 7. Juni 1984.

Am 28. Juni 1983 verläßt bei Station 5 eine 6 m mächtige Wasserschicht mit weniger als 12 ‰ die Innenförde. Dieses Wasser erreicht nicht die Westseite der Strander Bucht bei Station 6, sondern ist erst wieder bei den Außenstationen 7 und 8 nachzuweisen. Ähnlich ist es Anfang Juni 1984, als eine 9 m mächtige Wassermasse mit weniger als 14 ‰ die Förde, offensichtlich am Ostufer, verläßt und ebenfalls erst bei den Stationen 7 und 8 als salzarme Deckschicht auftritt. Diese Anlehnung des Stromes an die rechte, östliche Seite der Bucht ist eine Folge der Corioliskraft.

Analog dazu sind am Boden einströmende salzreiche Wasserkörper immer auch bei Station 6 nachzuweisen (s. Juli 1983; Febr., Mai und Juli 1984). Wie oben erwähnt, kann es sogar sein, daß ein aus der Stollergrundrinne stammendes Bodenwasser die Kieler Außenförde erreicht, ohne bei den Außenstationen 7 und 8 aufzutreten.

Der oben angesprochene 7. Juni 1984 ist auch noch aus einem anderen Grund besonders erwähnenswert. Bedingt durch starke Westwinde (s. Abb. 5) in der Nacht vom 6. zum 7. und am Vormittag des 7. Juni kam es zu einem auf die Westseite der Kieler Innenförde beschränkten lokalen Auftrieb von Wasser mit mehr als 14 ‰ Salzgehalt, welches aus einer Tiefe von ca. 8 m stammt und bei Station 2 die Oberfläche erreicht.

Die Folge ist eine gut durchmischte Wassersäule auf dieser Westseite der Förde, während die Schichtung bei den weiter östlich oder im sehr engen Hörnbereich gelegenen Stationen fortbesteht.

Am 12. Juli 1984 kam es infolge von außergewöhnlich starken Südwinden (s. Abb. 5) zu einem Ausstrom von salzarmem Oberflächenwasser (St. 5, 4 m Schicht mit $\approx 14 \text{ ‰}$). Aus Kontinuitätsgründen strömte Bodenwasser in die Förde. Es ergibt sich auf allen Innenfördestationen eine vergleichsweise starke Schichtung mit einem salzreichen Bodenkörper, dessen Salzgehalt fördeauswärts immer höher wird, bei Station 5 unterhalb von 12 m 20 ‰ erreicht und dessen 18 ‰ Isohaline in der Hörn schon in knapp 5 m Tiefe zu finden ist. In den nächsten Tagen drehte der Wind auf westliche Richtungen, seine Stärke schwankte zwischen $2,0$ und $6,0 \text{ m s}^{-1}$, der Einstrom setzte sich fort und bis Ende Juli ist die Wittlingskuhle (St. 2) unterhalb von 12 m mit Wasser $> 20 \text{ ‰}$ gefüllt.

Diese rasche Aufeinanderfolge von Einstrom- und Ausstromereignissen, direktem Nordtransport von Schwentinewasser und Rückstau desselben bis in die Hörn wird im Jahr 1984 erst Anfang August beendet, als eine Wetterberuhigung einsetzt, die Hauptwindrichtung West mehr nördliche Komponenten aufweist, die Windstärke deutlich abnimmt, gleichzeitig die Einstrahlung zunimmt und es zur Ausbildung einer thermischen Sprungschicht in 5 - 6 m Tiefe kommt (Abb. 4 u. 8; Abb. A). Besonders deutlich wird diese Schichtung der Wassersäule bei den Stationen 1-3. Sie ist wesentlich schwächer ausgeprägt als dies in der Kieler Bucht im Sommer der Fall ist (vgl. v. Bodungen, 1975; Weiße, 1985, Schneider, 1985). Der Grund ist sicher zum Teil in der außergewöhnlich schlechten Witterung zu Beginn des Sommers 1984 zu sehen. Zum anderen darf die Wirkung des starken Schiffsverkehrs in der Förde mit Fährschiffen, die einen Tiefgang von 6 - 6,5 m haben, nicht unterschätzt werden. Selbst wenn durch den regelmäßigen Schiffsverkehr eine stabile Sprungschicht nicht zerstört werden kann, dürfte der Schiffsverkehr eher destabilisierend auf die Ausbildung einer Pyknokline wirken.

Anders waren die Verhältnisse im Jahre 1983, als der besonders sonnenreiche und windarme Sommer für die Ausbildung einer ca. 9 - 12 m starken Deckschicht in der Kieler Förde sorgte, die bei den Stationen 1 und 4 mit nur 8 - 10 m Wassertiefe nicht mehr auftritt und nur bei den tiefen Stationen 2 und 5 zu sehen ist. Die bei Station 3 auftretende flache Schichtung ist auf den im Mai und Juni noch vergleichs-

weise starken Abfluß der Schwentine zurückzuführen, der als Folge der hohen Niederschläge im April/Mai 1983 und der erwähnten Abflußverzögerung von ca. 4 Wochen erst in diesen Monaten die Förde erreicht.

Die Temperaturverteilung

Die Wassertemperaturen im Untersuchungsgebiet lagen zwischen knapp unter 23°C (Juli 1983, Innenförde) und unter 1°C (März 1984). Ihr Verteilungsmuster spiegelt das der Salzgehaltsverteilung wieder (Abb. 9 a,b). Am deutlichsten wird das im Juni/Juli 1983, als der oben beschriebene Salzwassereinbruch Bodenwasser mit sehr niedrigen Temperaturen bis in die Innenförde transportiert und so eine starke thermohaline Schichtung bewirkt. Für den gesamten UZ bleibt eine solche strenge Trennung zwischen Oberflächenschicht und Bodenwasserkörper einzig. Die Wetterbedingungen im Sommer 1984 lassen eine langfristige thermische Schichtung nicht zu. Nur Ende August kommt es aufgrund kurzfristig erhöhter Einstrahlung (vgl. Kap. 3.1.1.) zur Ausbildung einer Thermokline in der Inneförde. Sie ist verbunden mit einer ebenfalls in ca. 5 m gelegenen Halokline. Wie gering der Einfluß der Wassertemperatur auf die Schichtungsverhältnisse im Sommer 1984 war, zeigt auch der Vergleich der maximalen Oberflächentemperaturen und der Zeitpunkt ihres Eintretens in den beiden Sommern des UZ: Während 1983 schon im Juli das Temperaturmaximum mit rd. 23°C erreicht wurde, trat es im Folgesommer erst im August mit einer Temperatur von knapp über 19°C auf. Noch im Juli 1984 lag die Oberflächentemperatur mit rd. 15°C ca. 7°C niedriger als 1983, was als Folge des windreichen und sonnenarmen Sommerwetters zu sehen ist (vgl. Kap. 3.1.1. u. 3.1.2.).

Vor dem Hintergrund des geringen Einflusses der Wassertemperatur auf die Schichtung in der Förde sollen die folgenden Ereignisse eine Verbindung von Temperatur und Schichtung infolge von Salzgehaltsänderungen aufzeigen. So ist der Ende April-Anfang Mai erfolgende Salzwassereinstrom in die Förde mit einer deutlichen Temperatursenkung und einer sich dadurch ausbildenden thermohalinen Schichtung in ca. 8 m Tiefe verbunden. Diese schwache Schichtung hat nur kurz Bestand. Anfang Juli dagegen erreicht der Bodenwassereinstrom im Bereich der Hörn sogar die Oberfläche, was an der gleichmässigen Temperaturverteilung in der Wassersäule ebenso deutlich wird, wie an den hohen Oberflächensalzgehalten bei dieser Station. Auch in diesem Fall wird

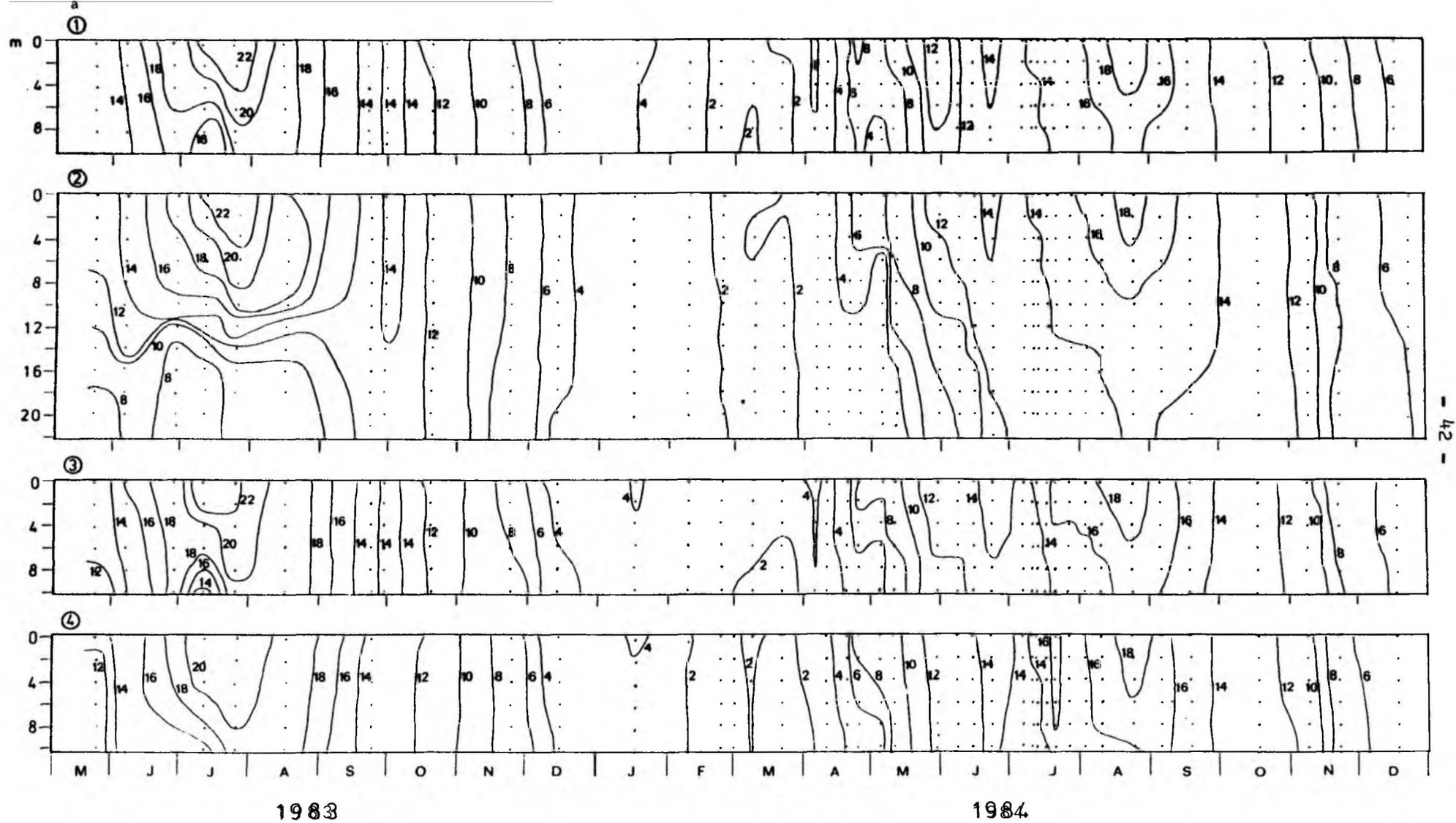
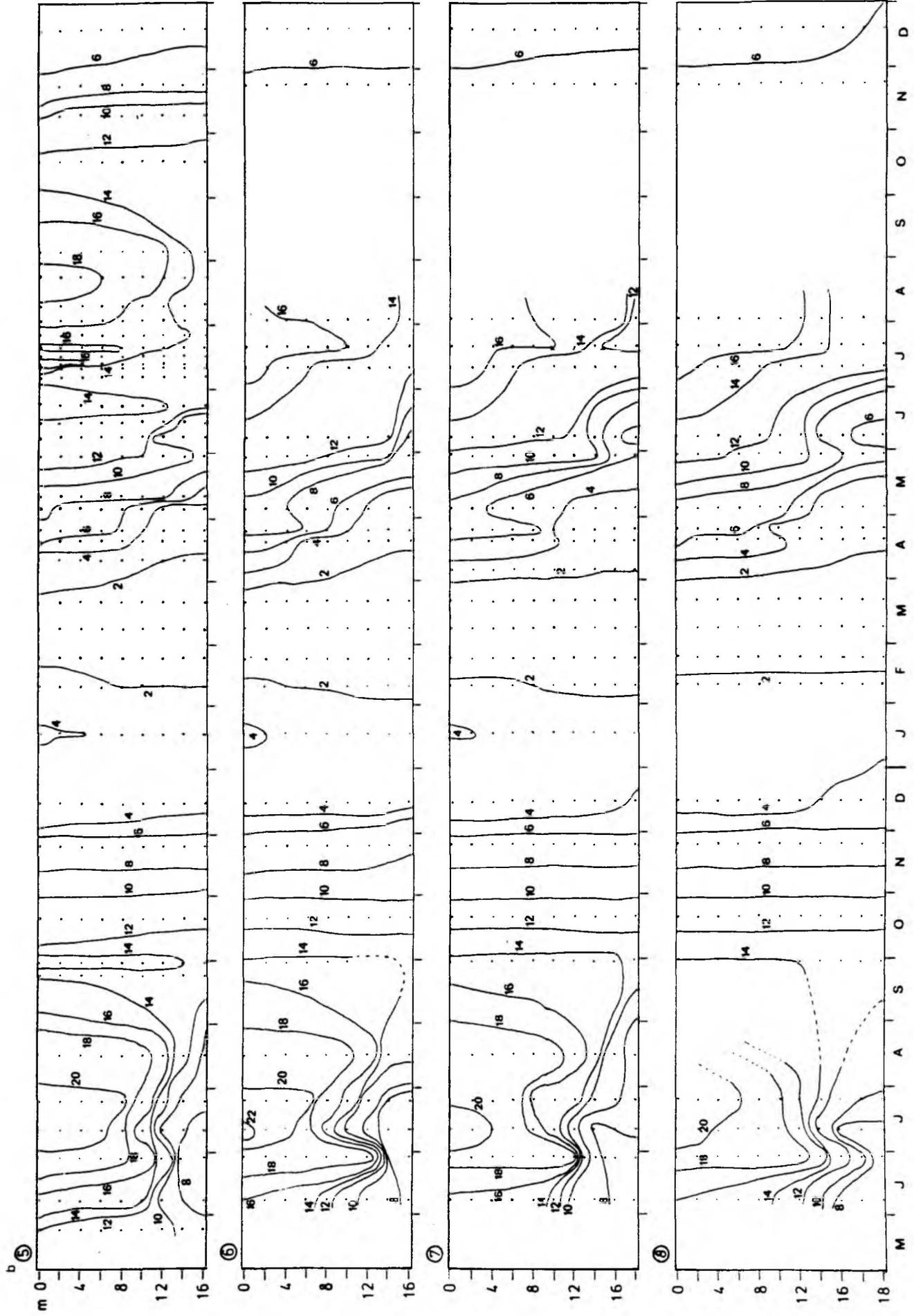


Abbildung 9 a+b Temperatur in °C.



der geringe Anteil der Temperatur an den Schichtungsverhältnissen deutlich. Für den Bereich der Kieler Förde oberhalb von 10-12 m (der Tiefe der sommerlichen Sprungschicht in der Kieler Bucht) ist zwischen September 1983 und dem Ende des UZ im Dezember 1984 keine reine thermische Schichtung nachzuweisen. Eine Sprungschicht hat in der Kieler Förde in erster Linie ihre Ursache in der vertikalen Salzgehaltssverteilung.

Die Sichttiefe

Die Secchitiefenmessungen als Indikator für die Transparenz des Meerwassers zeigen ein ausgeprägtes räumliches Verteilungsmuster mit geringen Werten in der Innenförde (Abb. 10). Die Sichttiefen lagen zwischen 10 m (im Dez. 1983, Kieler Bucht) und 0,5 m (Juli 1983, Hörn). Secchitiefen unter 5 m, wie sie nahezu während der gesamten Vegetationsperiode in der Innenförde anzutreffen waren, deuten auf eine sehr schlechtes Lichtklima in der Wassersäule hin. Die geringen Sichttiefen im Januar und Februar 1984 sind eher eine Folge der Resuspension in der flachen Förde und des lateralen Eintrags von terrigenem Material. Der Einfluß des Schwentinewassers auf die Eindringtiefe des Lichtes wird im Januar, im Mai und im Juni 1984 deutlich, als bei Station 3 die Transparenz des Wassers unter der der anderen Innefördestationen liegt. Besonders im Sommer ist die Ursache neben dem Gehalt an Schwebstoffen eine erhöhte Phytoplanktonzellzahl.

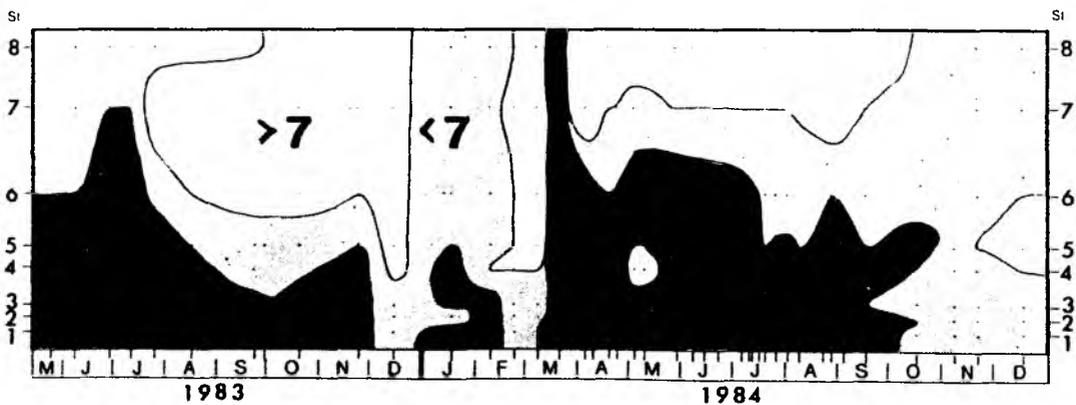


Abbildung 10 Secchitiefe. Angabe in m. Schwarze Flächen zeigen Secchitiefen unter 1 m an.

Der enge Zusammenhang zwischen Phytoplanktonbiomasse und Sichttiefe wird im Frühjahr 1984 deutlich, als im gesamten UG infolge der Frühjahrsblüte (s. Abb. 18) die Werte sinken, um in der Kieler Bucht nach der Sedimentation der Frühjahrsblüte wieder auf über 7 m anzusteigen. Während hier im Sommer 1984 ständig Secchitiefen über 7 m zu verzeichnen waren, dürften die Wachstumsbedingungen für das Phytoplankton in der Innenförde bei Secchitiefen unter 3 m besonders im Spätsommer von den schlechten Lichtbedingungen beeinflusst worden sein (vgl. Kap. 3.3.5.). Der geringste gemessene Wert von 0,5 m trat während einer Massenentwicklung von Prorocentrum minimum bei sehr ruhiger Wetterlage in der Hörn auf, war also die Folge biologischer Prozesse. Im Jahr 1984 traten ähnlich geringe Werte nicht mehr auf.

3.2. Nährsalze und Sauerstoff

Die gemessenen Konzentrationen der Makronährsalze Nitrat, Nitrit, Ammoniak und Phosphat sowie die Gesamtphosphor- und Sauerstoffkonzentrationen sind als Isoplethendiagramme in den Abbildungen 9 - 14 wiedergegeben (die genauen Meßwerte sind im Anhang in den Tabellen I - VIII aufgeführt). Die Isoplethendarstellung ermöglicht dabei einen gleichzeitigen Überblick über die räumliche und zeitliche Entwicklung der Konzentrationen.

3.2.1. Nitrat

Die Konzentrationen an Nitratstickstoff lagen zwischen weniger als $0,2 \mu\text{M-N/l}$ und mehr als $90,0 \mu\text{M-N/l}$, erstreckten sich also über rund 3 10er Potenzen (Abb. 11). Die geringsten Werte traten in der Kieler Bucht in den Sommermonaten der beiden Untersuchungsjahre sowohl in der durchmischten Schicht als auch in Bodennähe auf. Hohe Konzentrationen wurden im späten Frühjahr 1984 im oberflächennahen Wasserkörper im Bereich der Stationen 1 - 4, also in der Innenförde gemessen, mit den höchsten Werten in dieser Zeit häufig auf St. 3 (Schwentine Ästuar). Aber auch in der Hörn (St. 1) und vor dem Ausgang des NOK (St. 4) traten vergleichsweise hohe Konzentrationen auf. Maximale Nitratkonzentrationen von über $90,0 \mu\text{M-N/l}$ traten auf Station 3 am 9. Februar 1984 auf. An diesem Tag hat die Schwentine das höchste

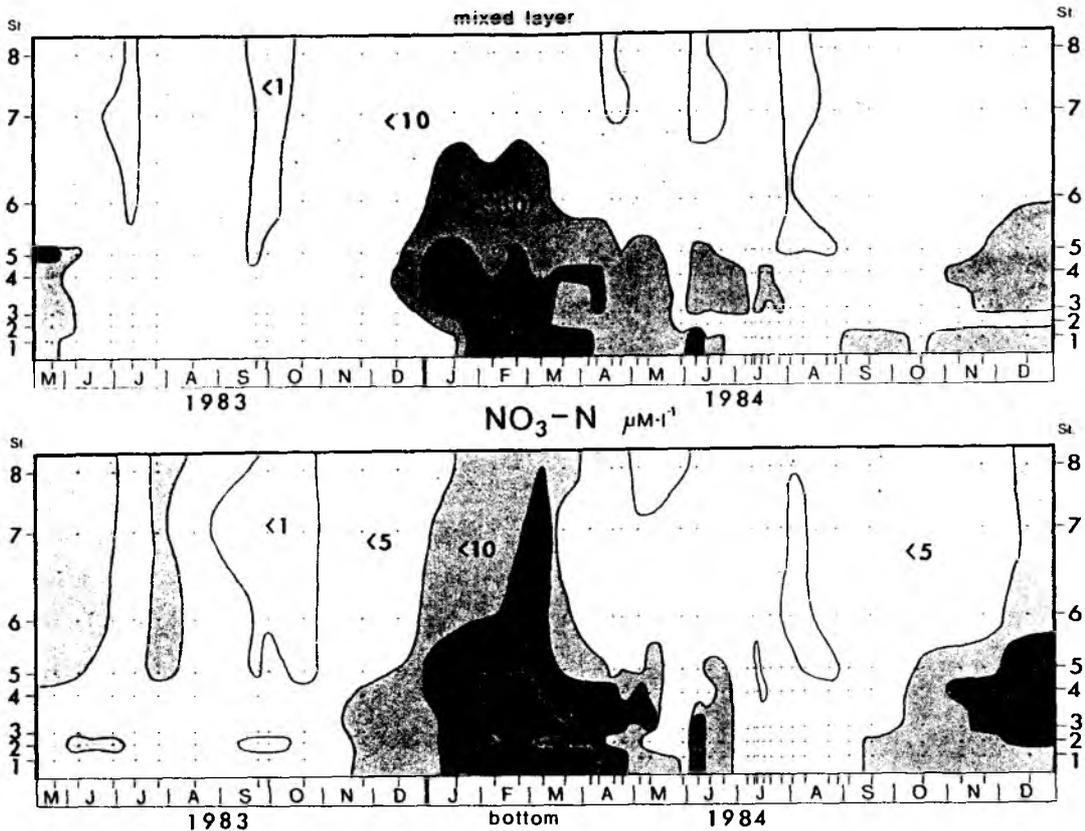


Abbildung 11 Nitrat.

Abflußvolumen aller Ausfahrttage mit $0,82 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, dem doppelten der langjährigen mittleren Abflußmenge von rund $0,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Die jahreszeitliche Verteilung des Nitrat entspricht für die Kieler Bucht Stationen dem durch viele Untersuchungen geprägten Bild von niedrigen Werten im Sommer (hier zeitweise unter $1,0 \mu\text{M-N/l}$) und einer Erhöhung der Konzentrationen im Verlauf des Winters, bis ca. Mitte März die Frühjahrsblüte einsetzt (s.u.a. v. Bodungen, 1975 sowie im Druck). Zwischen Januar und Mitte März liegen die Oberflächenwerte über $5,0 \mu\text{M-N/l}$, die Konzentrationen im Bodenwasser Anfang März sogar über $10,0 \mu\text{M-N/l}$.

Die beiden Sommer des Untersuchungszeitraumes unterscheiden sich im Bereich der Kieler Bucht nicht wesentlich voneinander. Die Phasen besonders niedriger Konzentrationen im Juli und September/Oktober 1983 sowie im April, Juni und August 1984 fallen zeitlich mit dem Zustrom salzarmen (Ostsee-)Wassers zusammen.

Die Winterkonzentrationen, die zwischen Januar und Mitte März auf

den beiden Außenstationen deutlich unter $10,0 \mu\text{M-N/l}$ bleiben, werden mit einsetzender Frühjahrsblüte bis auf rd. $2,0 - 3,0 \mu\text{M-N/l}$ gegen Ende März reduziert. Sie bleiben bis zum späten Sommer auf den Stationen 6 - 8, z.T. deutlich, unter $5,0 \mu\text{M-N/l}$. Erst im November-Dezember 1984 steigen die Werte, wie schon 1983 von der Innenförde ausgehend wieder auf mehr als $5,0 \mu\text{M-N/l}$ an.

Ganz anders ist die räumliche und zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen in der Kieler Innenförde und zeitweise auch in der Außenförde bei Station 6. Während die Nitratkonzentrationen nach vergleichsweise hohen Werten über $10,0 \mu\text{M-N/l}$ im Mai 1983 während des gesamten restlichen Sommers auch in der Innenförde deutlich unter $5,0 \mu\text{M-N/l}$ bleiben, steigen sie, beginnend bei Station 3, schon im Oktober wieder an, erfassen bis Ende November die gesamte Innenförde und erreichen zwischen Januar und Ende März ständig mehr als $30,0 \mu\text{M-N/l}$, im Februar sogar mehr als $70,0 \mu\text{M-N/l}$. Diese hohen Konzentrationen sind bis Station 5, am Übergang von Innenförde zu Außenförde nachweisbar. In der Strander Bucht sind die Nitratkonzentrationen deutlich höher als auf den Außenstationen 7 + 8, bleiben aber mit $11,0 - 14,0 \mu\text{M-N/l}$ ebenso deutlich unter denen der Innenförde.

Mit Beginn der Frühjahrsblüte zwischen dem 8. und 21. März (s. Kap. 3.3.1. und Abb. 18) sinken die Nitratkonzentrationen im gesamten Untersuchungsgebiet. In der Innenförde auf Werte unter $40,0 \mu\text{M-N/l}$, in der Kieler Bucht unter $5,0 \mu\text{M-N/l}$. Bis Mitte April bleiben die Konzentrationen z. T. deutlich über $20,0 \mu\text{M-N/l}$; bis Mitte Mai sinken sie auf den meisten Stationen auf unter $20,0 \mu\text{M-N/l}$ ab.

Am 7. Juni wurde bei Station eine Nitratkonzentration von ca. $230,0 \mu\text{M-N/l}$ gemessen; die Konzentrationen auf den anderen Stationen während dieser Ausfahrt blieben im Rahmen der auf den vorherigen und den folgenden Ausfahrten gemessenen Werte. Trotzdem kann dieser Wert nicht als Meßfehler verworfen werden. Er beträgt rund das Doppelte des Monatsmittels des Schwentinewassers für Juni 1984 und liegt damit im Bereich der für Oberflächengewässer typischen Werte (s. Tab. XI). Er ist nur für den Bereich der Kieler Innenförde als außergewöhnlich hoch anzusehen. Außerdem wird dieser hohe Wert noch durch einen ebenfalls außergewöhnlich hohen Nitritwert ($2,09 \mu\text{M-N/l}$) gestützt (s. Tab. I).

Zwischen Mitte Juni und Anfang August 1984 sind die Nitratkonzentrationen unter $10,0 \mu\text{M-N/l}$ und damit denen vergleichbar, die im gleichen Zeitraum des Vorjahres in der Förde anzutreffen waren. Anders ist es mit den Konzentrationen bei den Stationen 3 + 4; sie sind mit

einer Ausnahme am 10. Juli ständig höher als $5,0 \mu\text{M-N/l}$, zeitweise sogar höher als $20,0 \mu\text{M-N/l}$. Diese hohen Konzentrationen sind es, worin sich die Hochsommermonate der beiden Untersuchungsjahre unterscheiden. Auch der Übergang von geringen Sommerkonzentrationen zu hohen Winterwerten, der im Jahr 1983 erst im Oktober/November stattfindet, beginnt, wenn auch langsam, 1984 schon mit dem August: die NO_3 - Konzentrationen steigen bei Station 1 beginnend an, sind im September schon auf den Stationen 1 - 3 höher als $5,0 \mu\text{MN/l}$ und ab Oktober 1984 liegen in der gesamten Innenförde Konzentrationen von mindestens $6,0 \mu\text{M-N/l}$ vor. Dies zu einer Zeit, zu der im Jahr 1983 nur bei Station 3 die $5,0 \mu\text{M-N/l}$ überschritten wurden. Ebenso treten Konzentrationen bis zu $18,0 \mu\text{M-N/l}$ (im Dez. 84, St. 3) während des gesamten Herbstes 1983 in der Innenförde nicht auf.

Die Ergebnisse aus den Bodenwasserproben zeigen ein prinzipiell ähnliches Bild, wenn auch die Maximalwerte ($64,0 \mu\text{M-N/l}$ am 23. Febr. 1984, St. 1) nicht so hoch sind wie in der durchmischten Schicht. Aufgrund der stabilen Schichtung im Mai/Juni in der Kieler Bucht und in der Außenförde sind hier in Bodennähe die Nitratkonzentrationen höher als in der durchmischten Schicht. Das Auftreten niedriger Werte Anfang Juli scheint das Ergebnis eines Zustromes stark salzhaltigen Bodenwassers zu sein. (s. Abb. 8). Gegen Ende Juli 1983 liegen die Werte bei den Stationen mit mehr als 15 m Tiefe wieder deutlich über $5,0 \mu\text{M-N/l}$. Nachdem es Ende September zum Aufbrechen der Sprungschicht gekommen ist, finden sich in der gesamten Wassersäule sehr geringe NO_3 Konzentrationen. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen vieler Untersuchungen, nach denen die Auflösung der Pyknokline die sommerliche Nährsalzlimitierung beseitigt in dem sie nährsalzreiches Bodenwasser in die euphotische Schicht mischt. Diese Situation trat im September 1983 offensichtlich nicht ein. Möglicherweise ist darin einer der Gründe für das außergewöhnlich späte Einsetzen der Herbsblüte in diesem Jahr zu sehen.

Ab Mitte November überschreiten die Nitratkonzentrationen in Bodennähe von Station 1 + 2 beginnend und bis Januar die Kieler Bucht erfassend die $10,0 \mu\text{M-N/l}$ Marke. Zwischen Ende Januar und Anfang April 1984 liegen die Konzentrationen in der Innenförde dann sogar deutlich über $20,0 \mu\text{M-N/l}$, sie erreichen Ende Februar bei Station 1 mit den schon oben erwähnten $64,0 \mu\text{M-N/l}$ ihren Höchstwert für den bodennahen Wasserkörper. Hier muß aber die unterschiedliche Wassertiefe an den

Stationen berücksichtigt werden.

Bei den tieferen Stationen (2 und 5) liegen auch am 23. Februar 1984 die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen unter $30,0 \mu\text{M-N/l}$. Ganz allgemein fällt im Frühjahr und Sommer 1984 auf, daß der Wasserkörper, der die Wittlingskuhle (St. 2) füllt bis auf eine Ausnahme (7. Juni) ständig geringere Konzentrationen aufweist, als die anderen Innenfördestationen. Im Verlauf des Hochsommers zwischen Juli und Anfang September bleiben die Nitratwerte so gering, wie schon im Sommer 1983. Ab Mitte September, also rund 2 Monate eher als im Vorjahr konnten wieder höhere Werte ($> 5,0 \mu\text{M-N/l}$) von der Innenförde beginnend und bis Station 8 fortschreitend festgestellt werden. Ab Anfang November traten Konzentrationen bis $15,0 \mu\text{M-N/l}$ auf. Werte, die im Vorwinter erst im Januar erreicht wurden.

Das in der Abbildung 11 gegebene Bild der Nitratkonzentrationen im Untersuchungsgebiet zwischen Mai 1983 und Dezember 1984 läßt ein Verteilungsmuster für die Innenförde erkennen, das dem bekannten Bild für die Kieler Bucht annähernd entspricht. Neben einigen Unterschieden besonders im Sommer 1984 fällt aber besonders die Höhe der Werte im Spätwinter 1983/84 im Oberflächenwasser auf. Sie liegen rund eine Größenordnung über denen der Kieler Bucht, ihre Herkunft ist aber wohl nicht der Meeresboden, wie in der Kieler Bucht, sondern lateraler Eintrag durch die Schwentine.

3.2.2. Nitrit

Nitrit, ein Zwischenprodukt bei der Oxidation von Ammoniak bzw. bei der Reduktion von Nitrat kommt im Meerwasser normalerweise nur in sehr geringen Konzentrationen von, d.h. mit weniger als $0,1 \mu\text{M-N/l}$. Deutlich erhöhte Konzentrationen treten beim Übergang vom oxidischen zum anoxischen Milieu und in eutrophierten Gewässern, z.B. auch in Ästuaren, auf. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigen dies (Tab. I-VIII).

Obwohl das Bild der Nitritverteilung bei weitem nicht so einheitlich ist, wie z.B. das für Nitrat oder Ammoniak, fallen doch die deutlich höheren Werte in der Kieler Innenförde im Vergleich mit den Außenstationen auf (Abb. 12).

Während im oberflächennahen Wasserkörper in der Kieler Bucht die Nitritkonzentrationen während des gesamten Untersuchungszeitraumes

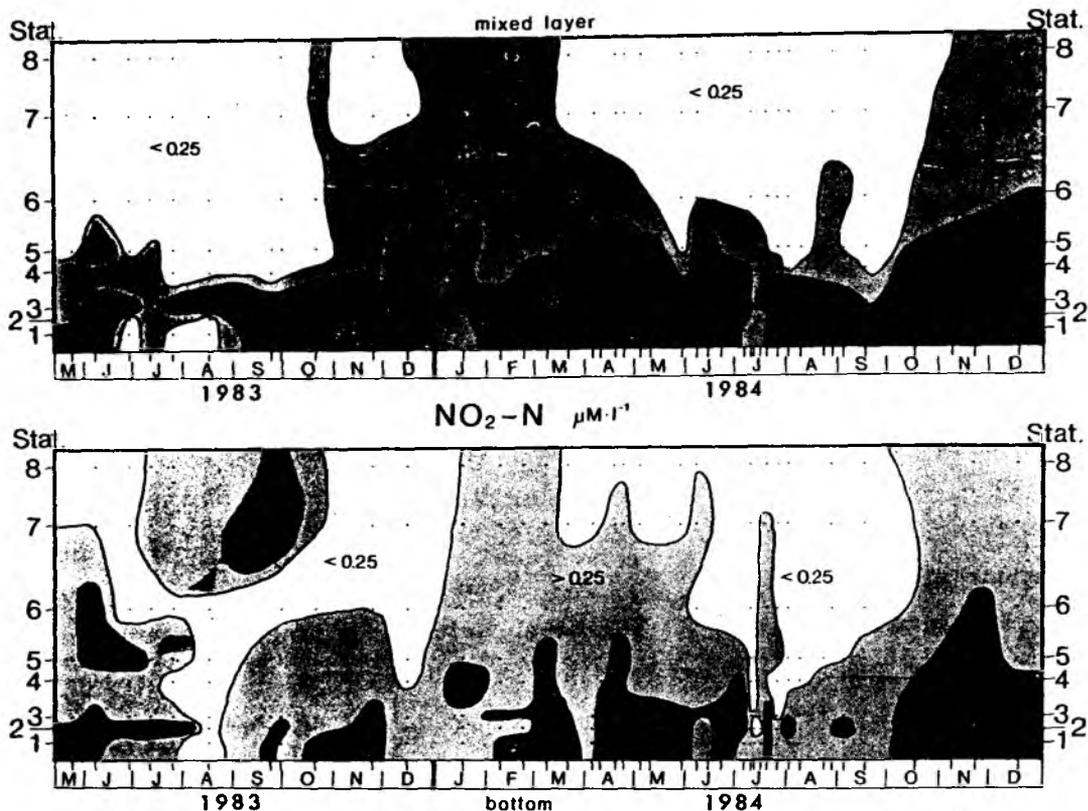


Abbildung 12 Nitrit.

unter $0,5 \mu\text{M}\cdot\text{N}/\text{l}$ blieben, wird dieser Wert in der Innenförde nur im Winter 1983/84 und an einigen Stationen und für sehr kurze Zeiträume im Sommer 1983 bzw. im Juli 1984 unterschritten. In der Innenförde sind auch Konzentrationen von mehr als $1,0 \mu\text{M}\cdot\text{N}/\text{l}$ besonders im Juni 1984 nicht selten.

Beim Vergleich der zeitlichen Entwicklung der Konzentrationen auf den Außenstationen mit denen in der Innenförde wird deutlich, daß die höchsten Werte in der Kieler Bucht im Winter erreicht werden, im Sommer dagegen die Nitritkonzentrationen deutlich unter $0,25 \mu\text{M}\cdot\text{N}/\text{l}$, zeitweise sogar unter $0,1 \mu\text{M}\cdot\text{N}/\text{l}$ (Tab. I-VIII) liegen.

Ganz anders ist die zeitliche Entwicklung in der Kieler Förde. Nachdem für kurze Zeit im Dezember/Januar die Konzentrationen denen der Kieler Bucht gleich sind, steigen die Werte bis Juni auf $1,0\text{-}2,0 \mu\text{M}\cdot\text{N}/\text{l}$ an. Nach einer kurzen Zeit vergleichsweise niedriger Konzentrationen zu Beginn des Juli 1984 bleiben die Nitritwerte bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes deutlich über $0,5 \mu\text{M}\cdot\text{N}/\text{l}$, ab November sogar über $1,0 \mu\text{M}\cdot\text{N}/\text{l}$. Eine Abnahme im Dezember vergleichbar etwa dem Vorjahr findet also in der Innenförde im Herbst 1984 nicht statt.

Im bodennahen Wasserkörper sind die Unterschiede zwischen Innenförde und Kieler Bucht nicht so deutlich ausgeprägt. Besonders hohe Werte (mehr als $0,75 \mu\text{M-N/l}$) finden sich im Sommer 1983 sowohl in der Wittlingskuhle (St. 2), als auch bei Friedrichsort und in der Strander Bucht. Im September 1983 werden $0,8$ bzw $0,5 \mu\text{M-N/l}$ sogar auf den Außenstationen überschritten. Diese hohen Konzentrationen fallen direkt mit den geringen Sauerstoffwerten zusammen (s. Kap. 3.2.6., Abb. 17). Mit der Verbesserung der O_2 -Versorgung am Boden sinken diese Nitritkonzentrationen dann auch sofort wieder auf Werte unter $0,5 \mu\text{M-N/l}$ ab.

Im Winter findet ebenso wie schon bei den Werten für die durchmischte Schicht beschrieben ein Ausgleich der Konzentrationen zwischen Innenförde und Kieler Bucht statt. Auffällig sind allerdings die vergleichsweise hohen Konzentrationen zwischen Februar und März 1984, die in einer Phase besonders hoher O_2 -Sättigung in der Innenförde auftreten.

Im April 1984 steigen die Nitritkonzentrationen dann auf den drei innersten Stationen auf fast $0,9 \mu\text{M-N/l}$ an; sie erreichen noch bei Station 5 bis zu $0,69 \mu\text{M-N/l}$ und bleiben bis Ende Juni deutlich über $0,5 \mu\text{M-N/l}$. Im weiteren Verlauf des Sommers 1984 sinken die Werte unter $0,5 \mu\text{M-N/l}$. Auffällig ist allerdings ein Zeitraum mit relativ hohen Nitritkonzentrationen mit Werten über $0,25 \mu\text{M-N/l}$, der sich zwischen der Innenförde und der Station 7 vom 16. bis 20. Juli erstreckt. Ansonsten liegen die Konzentrationen im Sommer deutlich unter $0,25 \mu\text{M-N/l}$. Ab Ende September werden wieder von der Innenförde ausgehend und im November auch die Außenförde erfassend die Nitritkonzentrationen wieder höher als $0,5 \mu\text{M-N/l}$. Sie übersteigen im November in der innersten Innenförde sogar $1,0 \mu\text{M-N/l}$.

Auch für Nitrit gilt, was schon beim Vergleich der Nitratwerte des Spätherbstes 1983 und des Spätherbstes 1984 gesagt wurde. Ein früherer Anstieg auf höhere Werte ist charakteristisch für den Wasserkörper der Innenförde.

3.2.3. Ammoniak.

Der Ammoniak ist nach dem Nitrat die zweithäufigste Form des anorganisch gelösten Stickstoffs im Meer. Er kommt bei den üblichen pH-Werten von etwas mehr als 8,0 hauptsächlich in Form des NH_4 -Ions vor, weniger als 10 % liegen in der für marine Organismen giftigen Form des NH_3 vor.

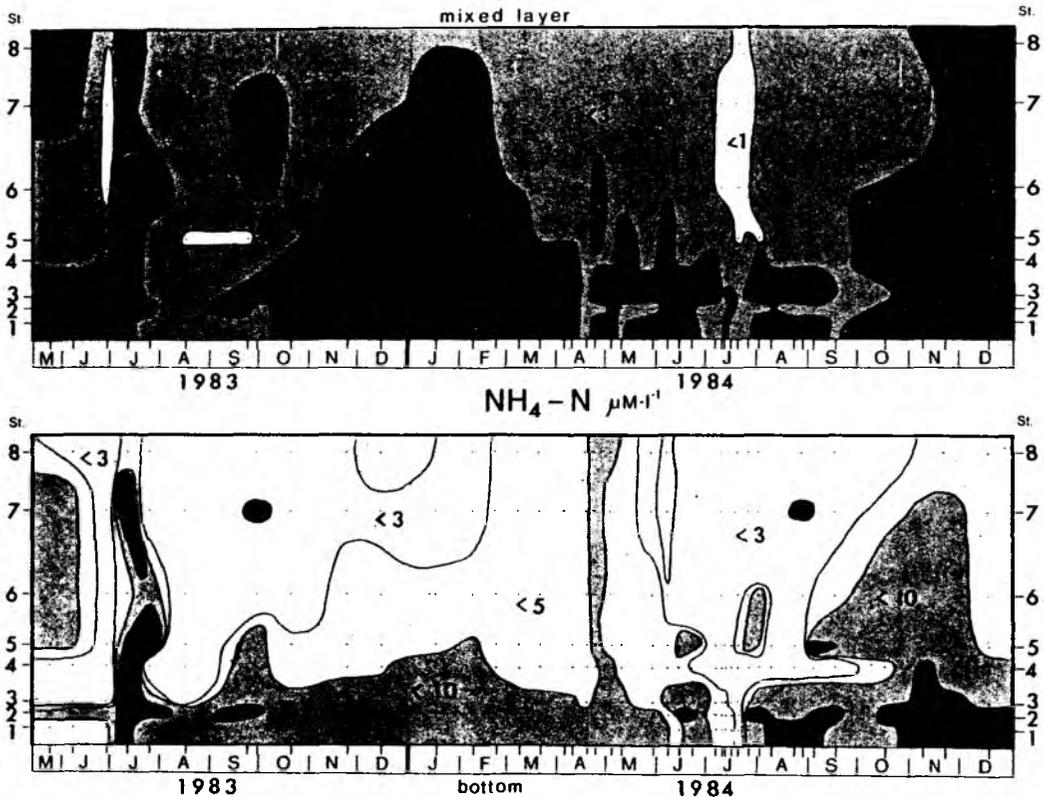


Abbildung 13 Ammoniak.

Besonders niedrige Werte (unter $1,0 \mu\text{M}\cdot\text{N}/1$) wurden im oberflächennahen Wasserkörper in der Außenförde und der Kieler Bucht Ende Juni 1983 und im Juli 1984 gefunden, die höchsten Konzentrationen (über $40,0 \mu\text{M}\cdot\text{N}/1$) treten ebenfalls in Oberflächennähe, hier allerdings beschränkt auf die Strander Bucht auf (Abb. 13). In den bodennahen Wasserproben war die Variabilität der Werte geringer. Die Konzentrationen lagen zwischen $0,5 \mu\text{M}\cdot\text{N}/1$ am 16. August 1983 (St. 6) und $26,0 \mu\text{M}\cdot\text{N}/1$ am 25. Juli 1983 (St. 5) und am 2. August 1984 (St. 2).

Zu Beginn des Untersuchungszeitraumes treten besonders hohe Ammoniakkonzentrationen nur im Schwentine-Ästuar und bei Station 8 auf. An den anderen Stationen liegen die Werte z.T. nur knapp über $1,0 \mu\text{M-N/1}$. Im Verlauf des Juni nehmen die Konzentrationen in der Außenförde und bei den Stationen 7 und 8 weiter ab, sie sinken gegen Ende des Monats unter $1,0 \mu\text{M-N/1}$, während sie in der Innenförde weiter zwischen $3,0$ und $10,0 \mu\text{M-N/1}$ bleiben. Das Auftreten der extrem hohen Konzentrationen im oberflächennahen Wasser der Strander Bucht und am NOK am 11. Juli 1983 sowie bei Station 2 am 25. Juli hat im Sommer 1984 keine Entsprechung.

Im weiteren Verlauf des Sommers 1983 sind bis Ende September sowohl in der Innenförde als auch bei den Stationen 6 - 8 ähnlich niedrige Werte anzutreffen. Danach werden auch die Konzentrationen in der Innenförde und von dort aus später auch in der Außenförde und in der Kieler Bucht allmählich höher. Sie überschreiten $3,0 \mu\text{M-N/1}$ im Oktober bei Station 3 und im Januar bei Station 8. Zu diesem Zeitpunkt liegen die Konzentrationen in der Innenförde schon über $5,0 \mu\text{M-N/1}$. Ab Februar 1984 nehmen die Ammoniakkonzentrationen beginnend bei Station 8 und bis Mitte April auch bei Station 1 auf unter $3,0 \mu\text{M-N/1}$ ab. Die Werte schwanken im Sommer 1984 ohne konstantes Muster zwischen weniger als $1,0 \mu\text{M-N/1}$ (20. Juli, St. 1) und $18,0 \mu\text{M-N/1}$ (24. April, St. 3). Mit einer Unterbrechung zu Beginn des April, als in der gesamten Förde die NH_4 -Konzentrationen deutlich unter $3,0 \mu\text{M-N/1}$ sinkt, bleiben die Ammoniakwerte aber bis zum Juli vergleichsweise hoch. Dann sinken die Konzentrationen bis auf eine Ausnahme auf unter $3,0 \mu\text{M-N/1}$. Gleichzeitig waren - wie schon erwähnt - über einen vergleichsweise langen Zeitraum Werte unter $1,0 \mu\text{M-N/1}$ auf den Stationen 5 - 8 anzutreffen. Zum Ende des Sommers sind wieder Konzentrationen über $3,0$, z. T. auch über $5,0 \mu\text{M-N/1}$ zu verzeichnen. Wie schon im Vorjahr steigen die Ammoniakkonzentrationen im September/Oktober weiter an. In der Innenförde auf deutliche höhere Werte als im Jahr 1983, wie schon für Nitrat und Nitrit beobachtet.

Auch im bodennahen Wasserkörper treten die schon für die Oberflächennähe beschriebenen außergewöhnlich hohen Ammoniakkonzentrationen im Juli 1983 auf. Ihnen geht ebenfalls eine Phase niedriger Konzentrationen voraus. Die restliche Zeit des Sommers und den ganzen Herbst bis in den Februar 1984 hinein bleiben dann die Ammoniakwerte in der Außenförde und bei den Stationen 7 + 8 unter $3,0 \mu\text{M-N/1}$. Dieser Wert wird ab September in der gesamten Innenförde überschritten, auf Station 2 werden kurzfristig sogar mehr als $20,0 \mu\text{M-N/1}$ erreicht. In

der inneren Innenförde (St. 1 - 3) sind zwischen Juli 1983 und Anfang Juni 1984 die Werte nicht mehr unter $5,0 \mu\text{M-N/l}$. Auch auf den Stationen 4 - 8 liegen die Ammoniakkonzentrationen zwischen Februar und Ende Mai über $3,0 \mu\text{M-N/l}$. Ende April kommt es im gesamten Untersuchungsgebiet zu einer Verdoppelung der Werte auf $6,0 - 11,0 \mu\text{M-N/l}$. Nach ca. 2 Wochen, Anfang Mai, sind wieder die Ausgangskonzentrationen erreicht, auf den Stationen 6 - 8 werden sogar $3,0 \mu\text{M-N/l}$ unterschritten. Ausnahmen im Bild der niedrigen Konzentrationen im Sommer 1984 auf den Stationen 6 - 8 sind: eine schmale Zunge knapp über $3,0 \mu\text{M-N/l}$ liegender Konzentrationen Anfang Juni auf den Außenstationen, Anfang August Werte bis über $6,0 \mu\text{M-N/l}$ in der Strander Bucht (die zu einer Phase ebenfalls erhöhter Werte bei St. 5 zu gehören scheinen), und gegen Ende August bei Station 7, als $10,0 \mu\text{M-N/l}$ überschritten werden.

In der Kieler Innenförde ist das Bild, wie schon erwähnt, bei weitem nicht so einheitlich. Bis Mitte Juli finden sich dort fast ständig NH_4 -Konzentrationen über $3,0 \mu\text{M-N/l}$, in der Wittlingskuhle oft sogar über $10,0 \mu\text{M-N/l}$. Nur am 20. Juli enthält die gesamte Innenförde einen Bodenkörper mit niedrigen Werten, die z. T. deutlich unter $1,0 \mu\text{M-N/l}$ liegen. In den folgenden Wochen steigen die Werte bei den Stationen 1 - 3 sehr schnell wieder an (in der Wittlingskuhle sind sie schon Ende Juli auf über $20,0 \mu\text{M-N/l}$), während bis weit in den September am NOK die geringsten Konzentrationen seit einem Jahr festgestellt wurden.

Im Herbst 1984 bietet sich dann wieder das schon bekannte Bild der von der Innenförde aus ansteigenden Konzentrationen. Auch die Ammoniakkonzentrationen im Herbst 1984 steigen früher und zu höheren Werten an als im Herbst des Vorjahres.

Das Verteilungsmuster der Ammoniakkonzentrationen im Untersuchungsgebiet weist also ebenfalls das schon von den beiden anderen Stickstoffkomponenten bekannte Bild von relativ niedrigen Werten in der Außenförde und der Kieler Bucht und deutlich höheren Konzentrationen in der Innenförde auf. Die Ammoniakverteilung unterscheidet sich aber dennoch, neben kleinräumigen und kurzfristigen Unterschieden durch zwei augenfällige Abweichungen.

1. die extrem hohen Konzentrationen in der gesamten Wassersäule im Juli 1983 in der Strander Bucht und

2. die Verdoppelung der Frühjahrswerte Ende April 1984.

3.2.4. Phosphat.

Die in dieser Untersuchung vorgefundenen Konzentrationen lagen zwischen 0,1 und mehr als 15,0 $\mu\text{M-P/l}$ (Abb. 14 und Tab. I-VIII). Die weit überwiegende Anzahl der Werte aber bewegte sich zwischen 0,1 und 3,0 $\mu\text{M-P/l}$. Höhere Konzentrationen traten fast immer zugleich mit besonders niedrigen Sauerstoffkonzentrationen oder starkem Süßwassereinfluß auf.

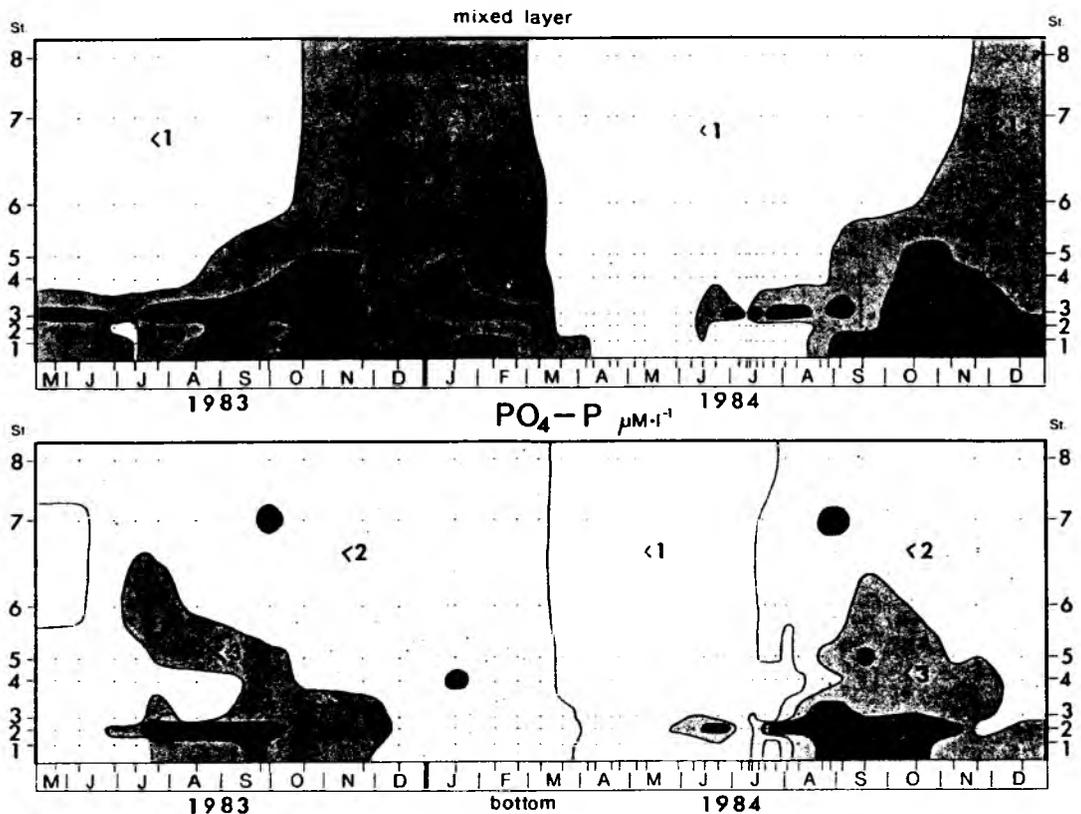


Abbildung 14 Phosphat.

In der Kieler Bucht wurden im oberflächennahen Wasserkörper 1,0 $\mu\text{M-P/l}$ im Sommer und 2,0 $\mu\text{M-P/l}$ im Winter nicht überschritten. In Bodennähe lagen die Konzentrationen im Frühsommer 1984 unter 1,0 $\mu\text{M-P/l}$, in der übrigen Zeit zwischen 1,0 und 2,0 $\mu\text{M-P/l}$. Die Werte in der Innenförde und der Strander Bucht waren in der Regel höher: bis auf den Sommer 1984 lagen die Phosphatkonzentrationen in der durchmischten Schicht ständig über 1,0 $\mu\text{M-P/l}$. Im bodennahen Wasserkörper wurden in den Spätsommermonaten der beiden Untersuchungsjahre 2,0

$\mu\text{M-P/1}$, bei Station 2 sogar $10,0 \mu\text{M-P/1}$ überschritten. Im Sommer 1983 und im Winter 1983/84 traten dort vergleichsweise geringe Konzentrationen zwischen $1,0$ und $2,0 \mu\text{M-P/1}$ auf, zwischen Anfang April und Mitte Juli 1984 lagen die Konzentrationen mit einer Ausnahme deutlich unter $1,0 \mu\text{M-P/1}$. Die Phase geringer PO_4 -Konzentrationen im Sommer 1984 wurde wird in der gesamten Wassersäule zuerst im Juni bei den Stationen 2 + 3 unterbrochen. Im Schwentine Ästuar stiegen die Konzentrationen an der Oberfläche sogar auf über $2,0 \mu\text{M-P/1}$ an. Auf dieser Station blieben die Werte bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes mit einer Ausnahme am 10. Juli über $1,0 \mu\text{M-P/1}$, längere Zeit sogar über $2,0 \mu\text{M-P/1}$, während auf den Stationen 1 + 2 noch bis Mitte August die niedrigen Sommerkonzentrationen vorherrschten. Hier beginnt der herbstliche Anstieg erst nach dem 9. August. Ab September finden sich auf den Stationen 1 + 2 und ab Oktober in der gesamten Innenförde Konzentrationen von mehr als $2,0 \mu\text{M-P/1}$.

Ab Anfang August steigen im bodennahen Wasserkörper die Werte in der Innenförde wieder auf über $2,0 \mu\text{M-P/1}$, in der Wittlingskuhle bis $10,0 \mu\text{M-P/1}$ an. Auf den äußeren Stationen 5 - 8 sind ab Mitte Juli ständig mehr als $1,0 \mu\text{M-P/1}$ vorhanden.

Die Verteilung der Phosphatkonzentrationen im Untersuchungsgebiet zwischen Mai 1983 und Dezember 1984 weist zwei Hauptquellen für den Eintrag in das Pelagial auf: für die durchmischte Schicht ist das - besonders in den abflußarmen Sommermonaten - die Schwentine (s. auch Tab. III) und für den bodennahen Wasserkörper ist es im gesamten Untersuchungsgebiet in Phasen geringer Sauerstoffkonzentrationen (vgl. Abb. 17) das Sediment.

3.2.5. Das Verhältnis von Nährsalzstickstoff zu Nährsalzphosphor

Um einen Eindruck von der Verfügbarkeit der anorganischen Stickstoffnährsalze in ihrem Verhältnis zum anorganischen Phosphor zu bekommen, wird in Abbildung 15 das N:P Verhältnis (die Summe $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N} : \text{PO}_4\text{-P}$, atomar) wiedergegeben. Die Verhältniswerte schwanken in einem Bereich von ca. 2 10er Potenzen. Niedrigsten Werten unter 2:1 im Spätsommer 1983 in beiden Probennahmetiefen in der Innenförde stehen Verhältnisse von über 100:1 Ende April 1984 in der durchmischten Schicht der Innenförde gegenüber. Die Variation in der Kieler Bucht ist nicht so groß (2,3:1 bis 60:1).

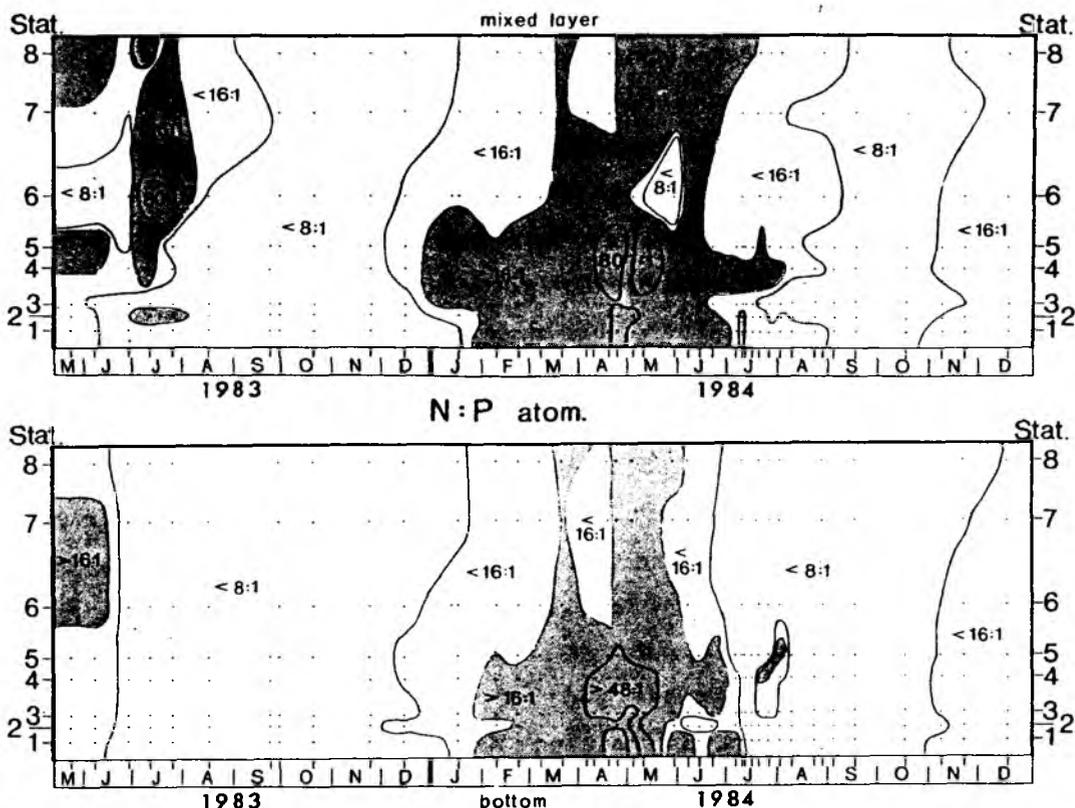


Abbildung 15 Das atomare Verhältnis von anorganisch gelöstem Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) zu anorganisch gelöstem Phosphor ($\text{PO}_4\text{-P}$).

In der durchmischten Schicht kommt es im Juli 1983 auf den äußeren Stationen zu einem enormen Anstieg der Ammoniakkonzentrationen (Abb. 13) bei gleichzeitig sehr niedrigen Nitratkonzentrationen (Abb. 11) und ebenfalls geringen Phosphatkonzentrationen (Abb. 14). Die Folge davon sind N:P Verhältniswerte von bis zu 134:1 bei Station 6 in der Strander Bucht. Diese Phase sehr hoher Werte ist schon Anfang August beendet; bis zum Jahresende bleibt das N:P Verhältnis z.T. deutlich unter 8:1. Dies gilt für das gesamte Untersuchungsgebiet.

Im bodennahen Wasserkörper sind die Werte vor Mitte Juli größer als 8:1, danach ebenfalls bis Jahresende kleiner 8:1. Die in diesem Wasserkörper im Juli sehr hohen Ammoniakkonzentrationen haben also offensichtlich keinen Einfluß auf das N:P Verhältnis, was daran liegt, daß zu dieser Zeit bei geringen Sauerstoffkonzentrationen (Abb. 17) auch vergleichsweise hohe $\text{PO}_4\text{-P}$ Mengen aus dem Sediment freigesetzt werden.

Ab Januar 1984 steigen die N:P Verhältnisse in beiden Probennahmetiefen bis in den Mai an. Im oberflächennahen Wasser werden, wie er-

wähnt, die höchsten Werte dieser Untersuchung um die Monatswende April/Mai festgestellt. Zur selben Zeit sind auch die Werte im bodennahen Wasserkörper auf ihrem Höchststand. Die Maxima Ende April/Anfang Mai wurden zu einer Zeit beobachtet, als die Chl. a Konzentrationen in der Wassersäule zwischen der Frühjahrsblüte und den hohen Sommerkonzentrationen in der Förde ein intermediäres Minimum aufweisen (Abb. 18). Danach sinkt, wahrscheinlich infolge geringerer Frachten der Schwentine das N:P Verhältnis bis Juni auf unter 16:1 und ab August/September im gesamten Untersuchungsgebiet auf unter 8:1, ein Muster, das schon aus dem Sommer 1983 bekannt ist. Im bodennahen Wasserkörper steigt die Phosphorkonzentration schon im Juni/Juli verhältnismäßig stark an, so daß ab Mitte Juli die Verhältniswerte unter 8:1 sinken.

Im Gegensatz zum Vorjahr aber sind im November 1984 wieder ansteigende N:P Werte festzustellen. Dies ist weniger eine Folge geringer PO_4 -P Konzentrationen in der Wassersäule, als vielmehr das Ergebnis der im Herbst 1984 früher und auf höhere Werte ansteigender Konzentrationen der stickstoffhaltigen Nährsalze.

Die Entwicklung des atomaren N:P Verhältnisses zeigt mit der Ausnahme im Juli 1983 eindeutig eher ein zeitliches als ein räumliches Verteilungsmuster, was bemerkenswert ist, da die zugrundeliegenden Nährsalzkonzentrationen ein viel deutlicher räumlich geprägtes Verteilungsmuster aufweisen (Abb. 13 + 14). Beiden Probennahmetiefen ist eine im Sommer 1984 deutlich kürzere Periode niedriger Verhältnisse gemeinsam, die sowohl durch eine Verlängerung der Phase hoher Werte im Frühjahr, als auch durch eine frühere Beendigung der Phase niedriger Werte im Herbst bedingt ist. Im bodennahen Wasserkörper beginnt die die Periode niedriger N:P Werte sowohl 1983 als auch 1984 eher als in der durchmischten Schicht.

3.2.6. Gesamtphosphor

Die räumliche Verteilung des Gesamtphosphors im Untersuchungszeitraum (Abb. 16, Tab. I-VIII) ergibt bis auf einen größeren Unterschied, nahezu das gleiche Bild, wie für den anorganisch gelösten Nährsalzphosphor (Abb. 14). Der Unterschied besteht im wesentlichen in den deutlich erhöhten Gesamtphosphorwerten im Januar 1984 in der Wassersäule, die allerdings nur auf den Ergebnissen einer Ausfahrt beruhen.

Die Bandbreite der Werte lag zwischen $0,4 \mu\text{M-P/l}$ und $17,0 \mu\text{M-P/l}$, wobei Werte über $5,0 \mu\text{M-P/l}$ nur im bodennahen Wasserkörper, in Tiefen über 14 m und bei sehr niedrigen Sauerstoffkonzentrationen auftraten.

Zu Beginn der Probennahme im Mai 1983 war eine starke Abnahme der Werte fördeauswärts zu verzeichnen. Auf den Außenstationen lagen die Konzentrationen unter $1,0 \mu\text{M-P/l}$, in der Innenförde höher, bei Station 3 sogar über $3,0 \mu\text{M-P/l}$. Zwischen Juli und September stiegen die Konzentrationen in der Innenförde, besonders bei Station 1 + 3 auf über $4,0 \mu\text{M-P/l}$ an. Nachdem im Dezember im gesamten Untersuchungsgebiet die Konzentrationen deutlich unter $2,0 \mu\text{M-P/l}$ gesunken waren, kam es im Januar 1984 zu einer Zunahme auf $3,0 - 4,0 \mu\text{M-P/l}$ in der Innenförde und mehr als $2,0 \mu\text{M-P/l}$ auf den Außenstationen. Im April sanken im gesamten Untersuchungsgebiet die Gesamtphosphorwerte auf unter $2,0 \mu\text{M-P/l}$, auf den Außenstationen zeitweise auch auf unter $1,0 \mu\text{M-P/l}$ ab. Erst ab Juni vereinzelt und ab August auf den Stationen 1 - 4 stiegen

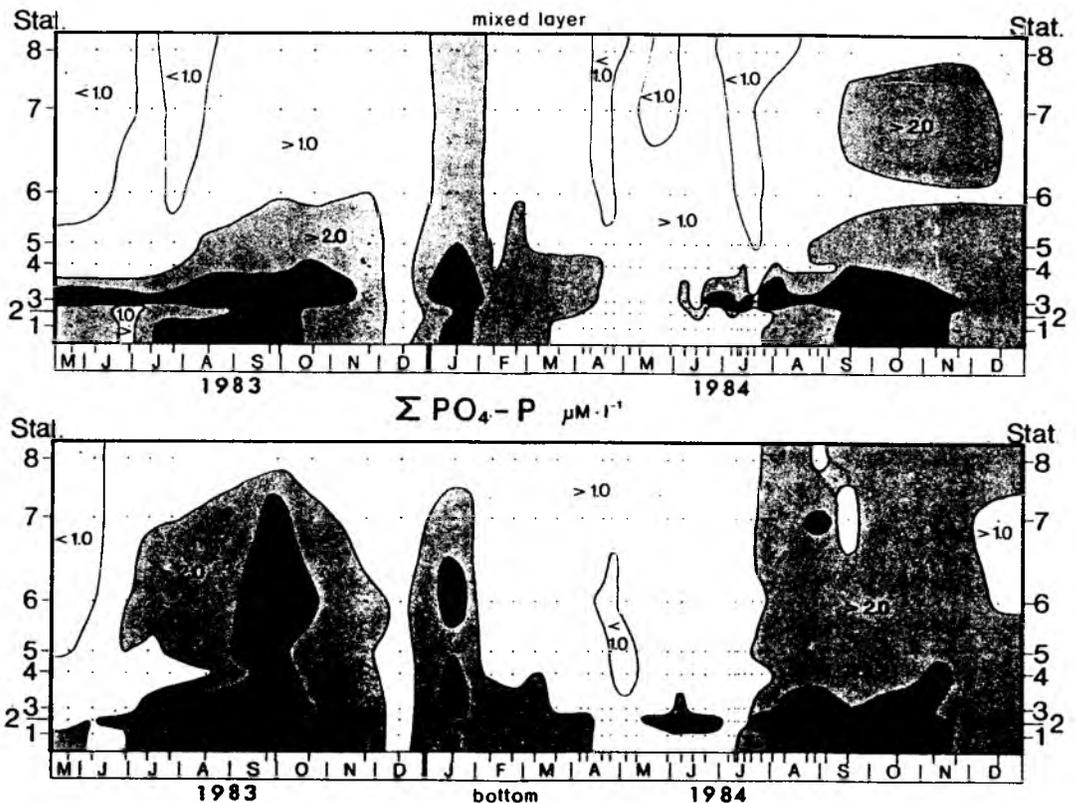


Abbildung 16 Gesamtphosphor.

die Werte wieder auf über $2,0 \mu\text{M-P/l}$ an, mit den höchsten Werten im Schwentine Ästuar. Zwischen September und November waren mehr als $3 \mu\text{M-P/l}$ charakteristisch für die innere Innenförde. Ab Anfang September wurden im gesamten Untersuchungsgebiet Konzentrationen von über oder nur knapp unter $2,0 \mu\text{M-P/l}$ festgestellt. Ein Erscheinungsbild, das für die Innenförde dem des Vorjahres gleicht; auf den Außenstationen aber lagen im Herbst 1983 die Konzentrationen niedriger.

Während für weite Gebiete (bes. auf den Außenstationen) und für fast den gesamten Untersuchungszeitraum Gesamtphosphorkonzentrationen von unter $2,0 \mu\text{M-P/l}$ im oberflächennahen Wasser charakteristisch waren, kam es in Bodennähe eher zu einer Zweiteilung mit Werten unter $2,0 \mu\text{M-P/l}$ zwischen Februar und Juli 1984 und Werten über $2,0 \mu\text{M-P/l}$ im Hochsommer, Herbst und Winter 1983 und 1984.

In der Innenförde wurden besonders auf der Station 2 fast immer deutlich höhere Werte erreicht. Während diese Phasen besonders hoher Gesamtphosphorkonzentrationen in Bodennähe in den Sommern der beiden Untersuchungsjahre gut mit den Konzentrationen an anorganisch gelöstem Phosphat übereinstimmen und direkt mit der Sauerstoffuntersättigung zusammenhängen, ist das nicht der Fall bei den erhöhten Werten im Januar 1984, die im bodennahen Wasserkörper stellenweise auch $3,0 \mu\text{M-P/l}$ überschreiten. In der inneren Innenförde halten sich Werte über $2,0 \mu\text{M-P/l}$ sogar bis in den April hinein. Nach einer Phase allgemein niedriger Konzentrationen -mit zwei Ausnahmen- steigen nahezu gleichzeitig im gesamten Untersuchungsgebiet ab Mitte Juli 1984 die Werte wieder über $2,0 \mu\text{M-P/l}$ an und erreichen in der Wittlingskuhle (St. 2) Anfang August rund $17,0 \mu\text{M-P/l}$. Im Bereich der drei innersten Stationen bleiben, wie im oberflächennahen Wasserkörper, die Konzentration über $3,0 \mu\text{M-P/l}$.

Ebenso, wie die Konzentrationen an anorganisch gelöstem $\text{PO}_4\text{-P}$ zeigt das Verteilungsmuster für den Gesamtphosphor sowohl eine starke räumliche Gliederung mit höheren Werten in der Innenförde - wie bei den stickstoffhaltigen Nährsalzen (bes. Ammoniak) -, als auch eine ausgeprägte zeitliche Gliederung, wie sie auch für die Sauerstoffkonzentrationen vorliegt (s. Kap. 3.2.7., Abb. 17), mit vergleichsweise hohen Werten im Sommer und Herbst und geringeren Konzentrationen zwischen Spätwinter und Frühsommer.

3.2.7. Sauerstoff

Die zeitliche Änderung der Sauerstoffkonzentrationen im bodennahen Wasserkörper des Untersuchungsgebietes (Abb.17, Tab.I-VIII) zeigt nicht das für die Verteilung der Nährsalze so charakteristische Muster einer Zerteilung zwischen Innenförde und den Außenstationen. Vielmehr treten Konzentrationen unter $1,0 \text{ ml-O}_2/\text{l}$ in beiden Sommern sowohl bei den tieferen Stationen der Innenförde, als auch in der Kieler Bucht bei Station 7 auf. Ebenso treten die hohen Winterkonzentrationen (z.T. mehr als $8,0 \text{ ml-O}_2/\text{l}$) sowohl in der Kieler Förde, als auch im gleichfalls gut durchmischten Wasser der Kieler Bucht auf.

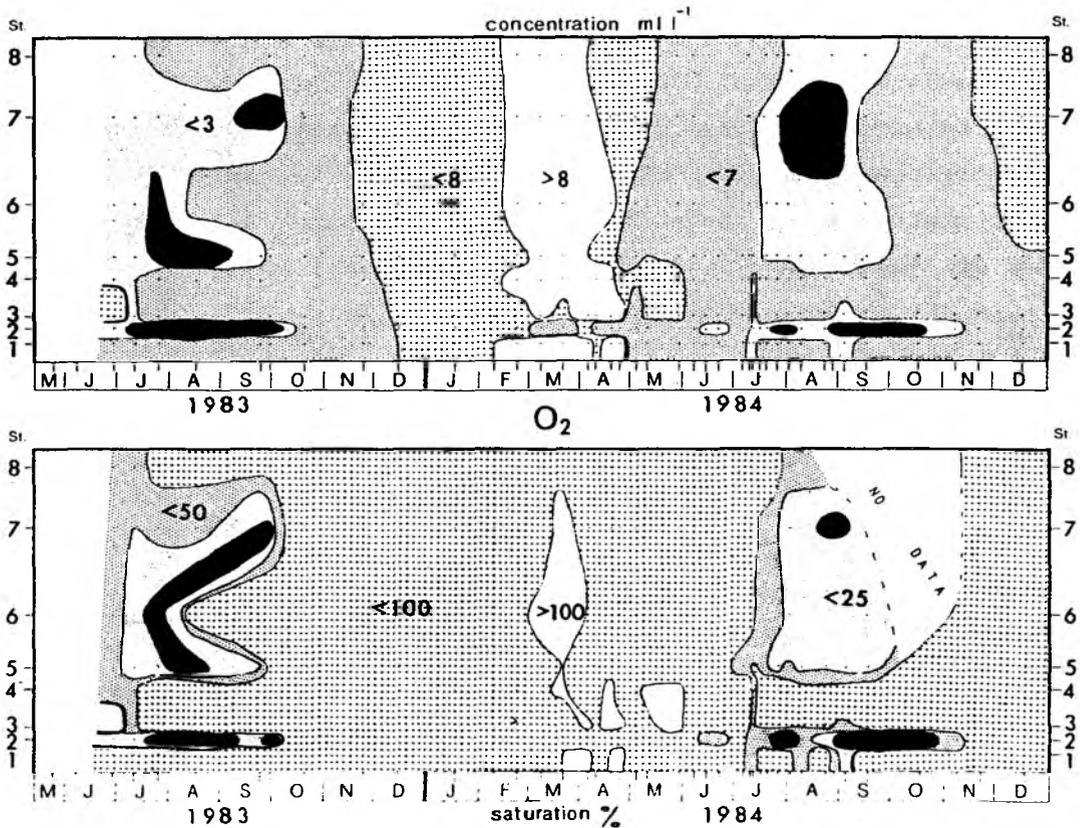


Abbildung 17 Sauerstoff.

Allgemein läßt sich sagen, daß es nur bei Stationen mit mehr als 14 m Wassertiefe unter bestimmten Umständen O_2 -Konzentrationen unter $1,0 \text{ ml/l}$ in Bodennähe, bzw. weniger als 10 % Sättigung zu kommen scheint. Die Stationen über flachem Meeresboden (1,3 und 4) weisen nahezu während des gesamten Untersuchungszeitraumes mehr als $3,0 \text{ ml-O}_2/\text{l}$ auf, was unter den jeweiligen Temperatur- und Salzgehaltsverhältnissen einer Sättigung von über 50 % entspricht.

Zwischen 50 % und 100 % Sauerstoffsättigung sind charakteristisch für das gesamte Untersuchungsgebiet zwischen Oktober 1983 und Juli 1984 sowie ab November 1984. Gegen Ende März auf den Stationen 3 - 7 und zeitweise auch auf einigen anderen Innenfördestationen werden im bodennahen Wasserkörper sogar Sättigungswerte von mehr als 100 % erreicht.

3.3. Das Phytoplankton

3.3.1. Chlorophyll a

Die zeitliche Entwicklung der Chlorophyll a (Chl.a) Konzentrationen im Untersuchungsgebiet (UG) weist sehr großen Unterschiede auf, zum einen zwischen Innenförde und Kieler Bucht, zum anderen von Jahreszeit zu Jahreszeit (Abb. 18). Während das Verteilungsmuster in der Kieler Bucht genau dem aus vielen Untersuchungen bekannten Bild entspricht, sind die Verhältnisse in der Innenförde deutlich anders.

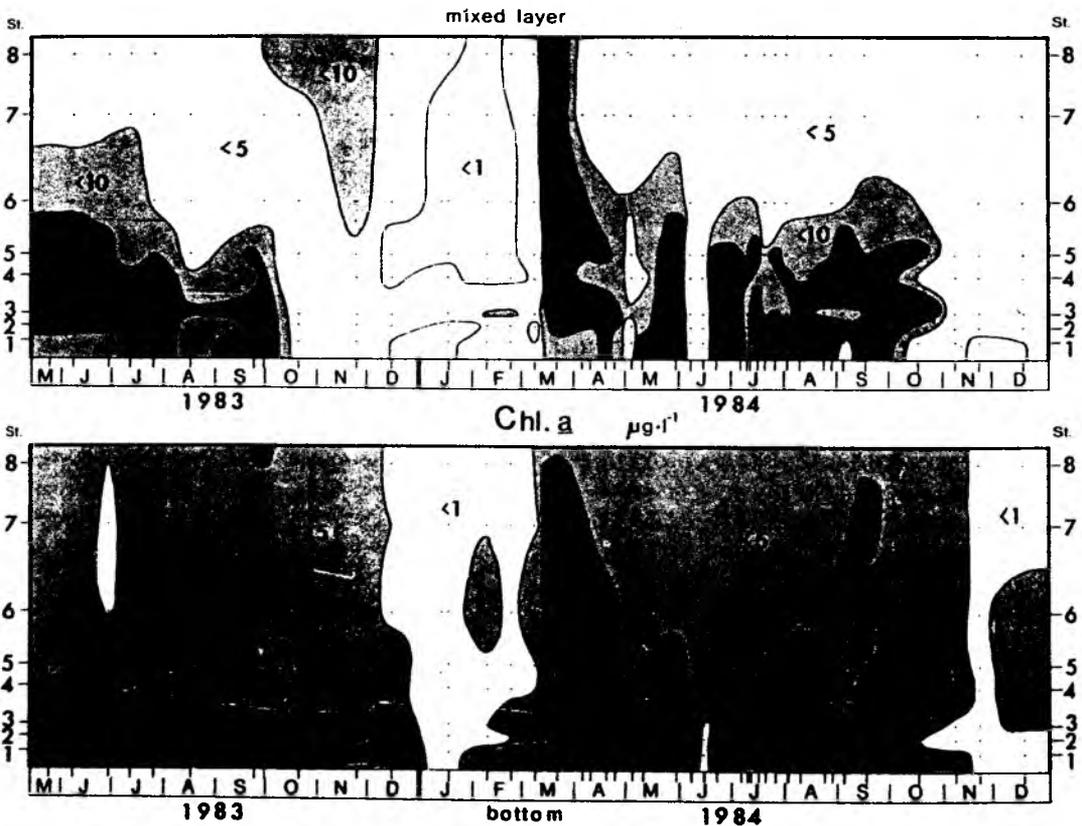


Abbildung 18 Chlorophyll a.

Im oberflächennahen Wasserkörper ist die Variabilität der Chl. a - Konzentrationen im Sommer 1983 außerordentlich hoch. Neben sehr hohen Werten (am 25. Juli mehr als 95,0 µg/l), als Folge einer Massentwicklung ("red tide") des Dinoflagellaten Prorocentrum minimum in der Kieler Innenförde, treten auch Konzentrationen von rd. 2,0 µg/l (am 16. Aug. 1983) auf, was für den Fördebereich als sehr niedrig anzusehen ist. Diese schnelle Folge von Änderungen in der Biomasse (s. auch Kap. 3.3.3.) ist ab Mitte Oktober, am Ende der Wachstumsperiode in der Kieler Förde, beendet: die Konzentrationen sinken auf knapp 2,0 µg/l. In der Kieler Bucht kommt es in dieser Zeit (Okt.-Dez 1983) zu einer vergleichsweise späten Herbstblüte, die zuerst von Ceratium spp. und ab November von Coscinodiscus spp. gebildet wird.

Im Winter (Dez.- Ende Febr. 1984) treten dann mit Ausnahme der Stationen 3 + 4 Chl.a-Konzentrationen unter 1,0 µg/l auf, die für diese Jahreszeit bei geringen Lichtintensitäten und tiefreichender Turbulenz typisch sind. Zwischen dem 8. und 21. März 1984 setzt die Frühjahrsblüte ein, die Chl.a-Konzentrationen von ca. 15,0 µg/l in der Kieler Bucht und knapp über 20,0 µg/l bei den Stationen 5 + 6 aufbaut. In der innersten Kieler Förde werden 10,0 µg/l erst ca. einen Monat später, gegen Mitte April, überschritten.

Nachdem die Nährsalze zum größten Teil verbraucht sind, kommt es in der Kieler Bucht zum Zusammenbruch der Population: die Chl.a-Konzentrationen gehen auf unter 2,0 µg/l zurück; die blütenbildenden Diatomeen sind sedimentiert. In der Innenförde dagegen bleibt die Biomasse des Phytoplanktons bis auf eine kurze Phase Anfang Mai vorerst noch sehr hoch und erreicht am 29. Mai ein erstes Sommermaximum mit mehr als 30,0 µg/l bei den Stationen 3 + 4. Anfang Juni ist diese Population in der Innenförde völlig zusammengebrochen; die Chl.a Konzentrationen liegen mit Werten zwischen 1,7 und 3,8 µg/l, nicht höher, als bei den Außenstationen. Erst nach dem 14. Juni erholt sich die Phytoplanktonpopulation wieder und erreicht sehr schnell Chl.a Werte von über 30,0 µg/l.

Der Hochsommer 1984 ist in der Innenförde durch eine sehr kurzfristige Variabilität gekennzeichnet: die Chl.a Werte schwanken zwischen weniger als 5,0 (2. Aug., St.1) und mehr als 30,0 µg/l (23. Aug., St. 1). Meist aber bleiben sie auf nahezu allen Stationen zwischen 10,0 und 20,0 µg/l. Ab Mitte Oktober erst sinken in der Innenförde, wie schon im Vorjahr, die Chl.a Werte auf das Sommerniveau der Kieler Bucht, d.h. 2,0 - 4,0 µg/l. Im Herbst 1984 standen zum Ende

der Vegetationsperiode für rund 4 Wochen keine Schiffe zur Verfügung (Werftzeit). In dieser Zeit hat vermutlich die Herbstblüte stattgefunden; sie ist in dieser Untersuchung nicht belegt.

Die Vorgänge in der oberen durchmischten Schicht bilden sich auch nahe am Boden ab, wenn auch bei geringeren Chl.a-Konzentrationen. Die beiden Sommer des Untersuchungszeitraumes unterscheiden sich erheblich voneinander. Während im Jahr 1983 die Variabilität eindeutig eher räumlich war, d.h. mit größeren Unterschieden zwischen den einzelnen Stationen, traten die größten Unterschiede im Sommer 1984 eher entlang der Zeitachse auf. Auf den äußeren Stationen 6 - 8 waren weder die Chl.a Konzentrationen so hoch wie in der Innenförde, noch war die Variabilität so ausgeprägt wie dort. Außerhalb der Winterphase (Chl.a $\ll 1,0 \mu\text{g/l}$) und der Frühjahrsblüte (Chl.a $\gg 10,0 \mu\text{g/l}$) liegen die Werte zwischen $1,0$ und $5,0 \mu\text{g/l}$, was als durchaus typisch für die Kieler Bucht gilt. Auffällig ist allerdings, daß im Winter 1983/84 die Chl.a-Konzentrationen zum Jahreswechsel unter $1,0 \mu\text{g/l}$ sinken, während sie im Folgewinter schon im November so niedrig sind, im Dezember dagegen auf den Stationen 1 und 3 - 6 wieder über $1,0 \mu\text{g/l}$ liegen, sich also knapp verdoppelt haben.

Neben der z.T. erheblichen zeitlichen Variabilität besonders in den Sommermonaten des Jahres 1984 fällt die deutliche Zweiteilung zwischen Innenförde (und zeitweise auch der Strander Bucht) und den Außenstationen in der Kieler Bucht auf. Allein aufgrund der Chl.a Messungen kann man daher schon auf eine strenge biologische Separation der Vorgänge im Pelagial der beiden topographisch und hydrographisch getrennten Teilgebiete schließen.

3.3.2. Phytoplanktonbiomasse und Artenzusammensetzung

Die Ergebnisse der mikroskopischen Auswertung der fixierten Proben sind in den Tabellen 10 und 11 und in der Abbildung 19 wiedergegeben. Bei den in Tabelle 10 nach ihrem Biomasseanteil aufgeschlüsselten taxonomischen Gruppen wurden die allgemein als heterotroph angesehen Gattungen (z.B. Protoperdinium und Gyrodinium) nicht berücksichtigt; die im Pelagial zeitweise auftretenden benthischen, pennaten Diatomeen, deren Biomasseanteil auch im Schwentine Ästuar nie 10% erreichte, wurden unter der Bezeichnung der Familie der Naviculales zusammengefaßt.

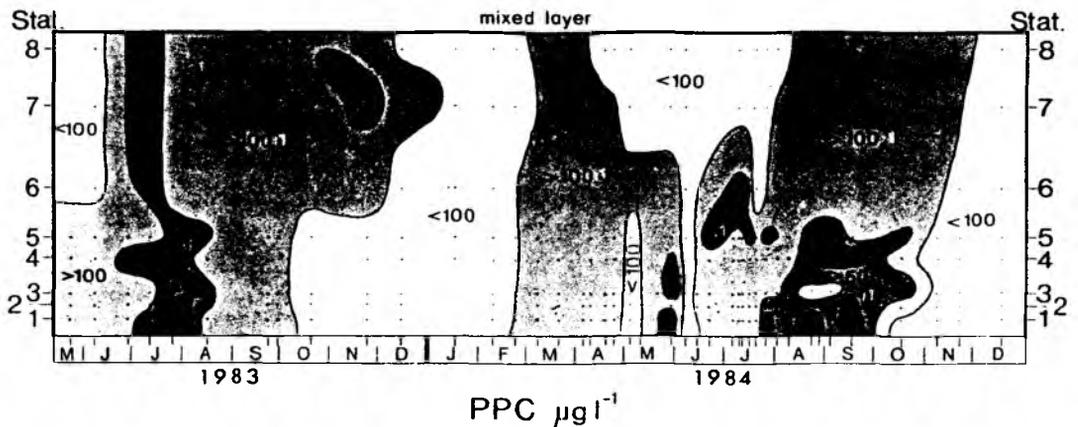


Abbildung 19 Phytoplanktonbiomasse. In Kohlenstoffeinheiten (PPC).

Es zeigt sich, daß von den 119 erfaßten taxonomischen Gruppen nur 34 Arten (bzw. tax. Gruppen) oder 28 % den Hauptteil der Phytoplanktonbiomasse (→ 10 % Anteil am PPC eines Monats) ausmachen. Dazu gehören die Diatomeen Skeletonema costatum, Rhizosolenia alata, bzw. R. fragilissima, die Dinoflagellaten Ceratium fusus und C. tripos, Heterocapsa triquetra, als sog. red tide Form Prorocentrum minimum (mit Biomasseanteilen in der Innenförde von zeitweise über 90 %), die Cryptophyceen Cryptomonas cf. baltica und der Flagellat "X", der vermutlich eine unbeschaltete Form des Silikoflagellaten Dictyocha speculum ist. Eine genaue taxonomische Einordnung steht noch aus.

In dieser Tabelle nicht extra aufgeführt sind die nicht identifizierten Nanoflagellaten von 1 - 8 µm Durchmesser, deren Biomasseanteil aber sowohl mit in die Berechnungen zu Tabelle 11 als auch in die Abbildung 19 einbezogen wurde. Dieser lag nur im Winter und nach der Frühjahrsblüte 1984 deutlich über 10 % (Tab. 10).

Die Darstellung der Ergebnisse in Tabelle 11 erlaubt es festzustellen, welche Organismen in ihrem Vorkommen räumlich beschränkt waren, bzw. welche im gesamten Untersuchungsgebiet anzutreffen waren. Zu den Formen, die oft auf die inneren Stationen beschränkt blieben, gehören: Die Diatomeen Actinocyclus octonarius, Asterionella formosa, Biddulphia spec., Chaetoceros didymus, Coscinodiscus radiatus und C. granii, Gyrosigma spp., die Gattungen Licmophora und Melosira sowie Stephanodiscus und Synedra; der Dinoflagellat Prorocentrum minimum sowie die Grünalgen der Gattungen Pediastrum und Scenedesmus, mit der

Tab. 10 Phytoplankton. Artenzusammensetzung und -sukzession. Vorkommen und monatliche Mittelwerte des Biomasseanteils am Phytoplanktonkohlenstoff.

- : Biomasseanteil über 10 %
- + : Biomasseanteil 1-10 %
- : Biomasseanteil unter 1 %

1983
 J I J A S O N
 D J F M A M J
 J A S O N D
 1984

Stat. 1 2 3 4 5 6 7 8

		1	2	3	4	5	6	7	8
Actinocyclus	octonarius (shrenbergii)		■	○	■	■			
Asterionella	formosa	○	+	○	○	○			
Bacillaria	paucicella (paradoxus)			○					
Biddulphia	spp.		+						
Ceratium	peleagium (shrenkii)	+	■	■		■	+	+	○
Chaetoceros	affinis	○	+	○	○	○	+	+	○
	compressus	+	○	○	○	○	+	+	○
	curvisetus	+	+	○	+	+	+	○	+
	Janicus	+	+	+	+	+	+	+	+
	leptus		+						
	leptopus	+							
	didymus	○	○						
	tracillus	○	○	+	+	+	+	+	+
	holmströmii	○		○		○			
	lacunosus								
	spp.	○	+	○	○	○	○	○	○
	Cocconeis	cincta				+			
concinna		+	+				■		
granii		+		+	+	+			
lineatus									
radiatus		○	○	+	+	+	+	+	+
spp.		+	+	+	+	+	+	+	+
Coelastrum	confervaceum	■	■	■	■	■	■	■	
Diploneis	spec.							+	
Distylopsis	brightwellii	+	+	+	+	+	+	+	
Prorocentrum	cf. capucinum	○							
Guillardia	flaccida	○	+	+	+	+	+	+	
Gyrodinium	spp.		○						
Leptocylindrus	danicus	+	+	+	+	+	+	+	
Licmophora	lyobii			○	+				
	spec.		○	○	○		○		

		1	2	3	4	5	6	7	8
Dinophysis	acuminata	+	++	++	+++	+	+	++	++
	acuta		+						
	norvegica	+	+	+	+	+	+	+	+
	rotunda								
Diplopeltopsis	spec.				o			o	
"Soria"	tripartita					o		+	
Gonyaulax	cf. epioifera				+				
	cf. triacantha					+			
	sp.						o		
Gymnodinium (Gyrodinium Amphidinium)	amplianclem sp. nov.		+						
	simplex				+	+		+	+
	cf. vestifica glaucom, estense			■	+	o			+
	sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
Heterocapsa (Peridinium)	triquetrum	+	+	+	+	+	+	+	+
Katodinium (Noctastria Amphidinium)	rotundatum	+	+	+	+	+	+	+	+
Prorocentrum	balticum								+
	micans	+	+	+	+	+	+	+	+
	minius var. triangul. u. cordiforme	+	+	+	+	+	+	+	+
Achroosoma	sp.								
Anabaena	spiroides	o	o	+	o	o	+	o	o
	cf. torulosa							+	+
	sp.	+	o		o	+	+		o
Gomposphaeria	puella			o					o
Merionopodia	punctata				o	o			o
	sp.			o			+		o
Microcystis	sp.							o	
Nodularia	spumigena		+	+	+	+	+	+	+
	sp.		o	+	o	+	+	+	+
Oscillatoria	sp.			o					
Spirulina	cf. subaerea			o		o			
Apedinella	rediana	+	+	+	+	+	+	+	+
Diabryon	cf. sertularia				+	+			
	sp.	o							
Fryxosium	parvum						+		
Synura	sp.					o			

		1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Crucigenia</i>	<i>cf. quadrata</i>					c			
<i>Ochromonas</i>	<i>olivacea</i>						+		
<i>Oocystis</i>	<i>sp.</i>					o	+		o
<i>Pediastrum</i>	<i>horyanum</i>	+ +	o o	c + + + + +	o	o	o	c	
	<i>Juplex</i>	+	+	c +	o				
	<i>spec.</i>	o		c o		o			
<i>Scenedesmus</i>	<i>sculeolatus</i>	o		o					
	<i>brasiliensis</i>			o					
	<i>cf. carinatus</i>	+							
	<i>epollenis</i>				c			+	
	<i>quadricauda</i>	o o o o	o o o o	o o o o	o o o o	o o o o	o o o o	o o o o	o o o o
<i>Cryptomonas</i>	<i>cf. baltica</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>spec.</i>	o			+	+		+	
<i>Dictyocha</i> (<i>Distephanus</i>)	<i>speculum</i> , 4 var. <i>spec.</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Euglena</i>	<i>sp.</i> incl. <i>Eutreptia</i> u. <i>Eutreptiella</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Mastodinium</i>	<i>rubrum</i>	+	o	o	+	+	+	+	o +

1983
 W J JASON
 D J F M A M J
 J A S O N D
 1984

Einschränkung, daß S. quadricauda im gesamten Untersuchungsgebiet gefunden wurde, auf den Außenstationen allerdings bei weitem nicht so häufig.

Ver mehrt auf den Außenstationen, d.h. auch in höheren Biomasseanteilen wurden identifiziert: die Diatomee Guinardia flaccida, die Dinoflagellaten Ceratium tripos und C. fusus sowie verschiedene Formen der Gattung Gymnodinium, die nicht näher bestimmbar waren.

Auf der anderen Seite gibt es Formen, die im gesamten Untersuchungsgebiet mit relativ gleichem Biomasseanteil auftraten. So zum Beispiel: die Diatomeen Chaetoceros affinis und C. curvisetus, die die Frühjahrsblüte 1984 bildende Art Detonula confervacea, Nitzschia longissima, Rhizosolenia delicatula und R. setigera, Skeletonema costatum, Thalassiosira excentrica, die Dinoflagellaten Ceratium lineatum, Dinophysis acuminata und D. norvegica, Heterocapsa triquetra, Prorocentrum micans, die Blaualge Anabaena spiroides, die Chrysophyceen Apedinella radians, die Grünalge Scenedesmus quadricauda (s.o.), die Cryptophyceen Cryptomonas cf. baltica, der Silikoflagellat Dictyocha speculum (ebenfalls mit geringerem Biomassanteil auf den Außenstationen), die Gruppen der Euglenophyceen sowie der autotrophe Ciliat Mesodinium rubrum

Bei den restlichen Arten ist aufgrund ihres seltenen Vorkommens kein Verbreitungsmuster im Untersuchungsgebiet und/oder dem Untersuchungszeitraum ersichtlich, ganz im Gegensatz zu den nur zeitweise auftretenden, dann aber bestandsbildenden Formen (Tab. 11). So wurde schon die Diatomee Detonula confervacea erwähnt, die im gesamten Untersuchungsgebiet im März 1984 der blütenbildende Organismus war (in der Innenförde allerdings zusammen mit Skeletonema costatum), danach aber nur noch einmal auf Station 7 im Juli 1984 auftrat. Nur im Sommer 1983 trat in besonders hohen Biomassen Rhizosolenia fragilissima in der Kieler Bucht auf, ebenso wie Ceratium tripos und C. fusus, die beide ihr Hauptvorkommen in den Herbstmonaten der beiden Untersuchungsjahre hatten.

Eine auffällige sowohl zeitliche, als auch räumliche Verbreitung zeigt sich aber am Beispiel des Dinoflagellaten Prorocentrum minimum, der erst 1983 für das Gebiet der Kieler Förde neu beschrieben wurde (Kimor et al., 1985). Er tritt im Sommer 1983 in der Innenförde als bestandsbildender Organismus über einen Zeitraum von rund 3 Monaten auf, während auf den Außenstationen der Hauptteil der Biomasse von der schon erwähnten Diatomee Rhizosolenia fragilissima gebildet wird (Tab.

11). Auch im folgenden Jahr kam es wieder zu einer Massenentwicklung von P. minimum, die ebenfalls im wesentlichen auf die Innenförde beschränkt blieb. Nur auf Station 6 (Außenförde) fanden sich für einen kurzen Zeitraum P. minimum Zellen in nennenswerter Konzentration. Wie

Tabelle 11: Die dominanten Phytoplanktonarten zwischen Mai 1983 und Dez. 1984 im Untersuchungsgebiet.

	Station 1 Hörn	→	Station 8 Kieler Bucht
<hr/>			
<u>1983</u>			
Mai	F L A G E L L A T " X "		
Juni	S K E L E T O N E M A C O S T A T U M		
Juli	Prorocentrum		Rhizosolenia
August			
September	minimum		fragilissima
Oktober	Cryptophyceae		Ceratium spp.
November	Thalass. excentrica		& Ceratium spp.
Dezember	D I A T O M E E N		
<hr/>			
<u>1984</u>			
Januar	D I A T O M E E N		
Februar	D I A T O M E E N		
März	Detonula confervacea		Detonula confervacea
April	Skeletonema costatum		
Mai	N A N O F L A G E L L A T E N		
	S K E L E T O N E M A C O S T A T U M		
Juni	N A N O F L A G E L L A T E N		
	S K E L E T O N E M A C O S T A T U M		
Juli	S K E L E T O N E M A C O S T A T U M		
August	Prorocentrum		Ceratium spp.
September			
Oktober	minimum		Ceratium spp.
November	D I A T O M E E N		
Dezember	D I A T O M E E N		
<hr/>			

Tabelle 11 zeigt, tritt P. minimum im Jahr 1984 mit einer rund vierwöchigen Verzögerung als blütenbildender Organismus auf, ist dann aber bis in den November noch mit mehr als 10 % an der Kohlenstoffbiomasse beteiligt. Beiden Phasen des Massenvorkommens von P. minimum war eine Zeit vorausgegangen, in der Skeletonema costatum die Phytoplanktonpopulation dominierte. Diese Periode dauerte 1983 nur ca. einen Monat (Tab. 11), während sie 1984 fast den ganzen Sommer 1984 umfaßte.

Die in Abbildung 19 in Kohlenstoffeinheiten wiedergegebene Biomasseverteilung im Untersuchungsgebiet zwischen Mai 1983 und Dezember 1984 beruht also auf den Verteilungsmustern von Phytoplanktonorganismen, die einerseits mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Diversität (bes. blütenbildende Formen) auftreten können, die aber andererseits auch nahezu im gesamten Untersuchungsgebiet mit vergleichbaren Biomasseanteilen vertreten sein können. Nur sehr wenige Formen sind neben einer räumlichen Gleichmäßigkeit ihres Vorkommens auch nahezu jeden Monat im Untersuchungszeitraum zu finden gewesen. Es sind dies, neben den in jeder Probe vorhandenen Nanoflagellaten, Skeletonema costatum und Cryptomonas cf. baltica.

Die räumliche und zeitliche Verteilung der Phytoplanktonbiomasse zeigt, neben der bekannten und zu erwartenden Abfolge in der Kieler Bucht mit Maximalwerten zur Frühjahrsblüte und im Herbst, besonders gut die Phasen der Dominanz von Prorocentrum minimum. Im Sommer 1983 wurden auf den innersten Stationen (1 + 2) 5,5 bzw. 4,0 mg C l⁻¹ weit überschritten, auch auf den anderen Stationen wurden z.T. über 1,0 mg C l⁻¹ festgestellt. Diese Periode, die im Sommer 1983 vergleichsweise kurz war, ist im folgenden Sommer deutlich länger, auch wenn keine so extrem hohen Biomassen mehr erreicht wurden; die Höchstwerte lagen 1984 zwischen 1,0 und 2,2 mg C l⁻¹.

Außerdem läßt sich gut die Entwicklung der Herbstblüte 1983, der Beginn der Frühjahrsblüte 1984 sowie der Zusammenbruch der Population Anfang Juni 1984 verfolgen. Dies sind Verteilungsmuster, die sich auch schon beim Chl. a abbildeten. Auffällig sind allerdings die hohen Kohlenstoffwerte im Juli 1983 auf den Außenstationen 7 + 8, als Rhizosolenia fragilissima weit über 90 % der Biomasse in der Kieler Bucht stellte: sie haben keine Entsprechung in den Chl. a Konzentrationen.

3.3.3. Das Verhältnis PPC:Chl.a

Das Verhältnis von Kohlenstoffgehalt zu Chl. a Gehalt kann in natürlichen Planktonpopulationen einer (vergleichsweise groben) Aussage über die Zusammensetzung der Phytoplanktonpopulation ermöglichen (von Diatomeen dominierte Populationen weisen i.a. ein niedrigeres PPC:Chl.a Verhältnis auf), zum anderen werden auch Aussagen über den sog. physiologischen Zustand der Population erwartet (Seneszenz führt zur Erhöhung des Verhältnisses). Ersteres wird durch die die Ergebnisse dieser Untersuchung gestützt (Abb. 20): in Phasen mit hohem Diatomeenanteil am Phytoplankton liegen die PPC:Chl.a Werte sehr niedrig (unter 30:1), so z.B. Mai/Juni 1983, während der Frühjahrsblüte 1984 und in der Innenförde bis in den Juli 1984 hinein. Demgegenüber liegen die PPC:Chl.a Verhältnisse deutlich höher (z.T. über 100:1) in den Spätsommermonaten der beiden Untersuchungsjahre, als in der Innenförde Prorocentrum minimum, bestandsbildend war. Auch die Herbstblüte 1983 (gebildet durch die Gattung Ceratium) ist durch erhöhte PPC:Chl.a Werte zu beschreiben. Die höchsten in dieser Untersuchung auftretenden Werte fallen allerdings in eine Zeit, als die Phytoplanktonpopulation zu über 90 % von einer Diatomee gebildet wird (Rhizosolenia fragilissima, Juli 1983, Stn. 7 + 8).

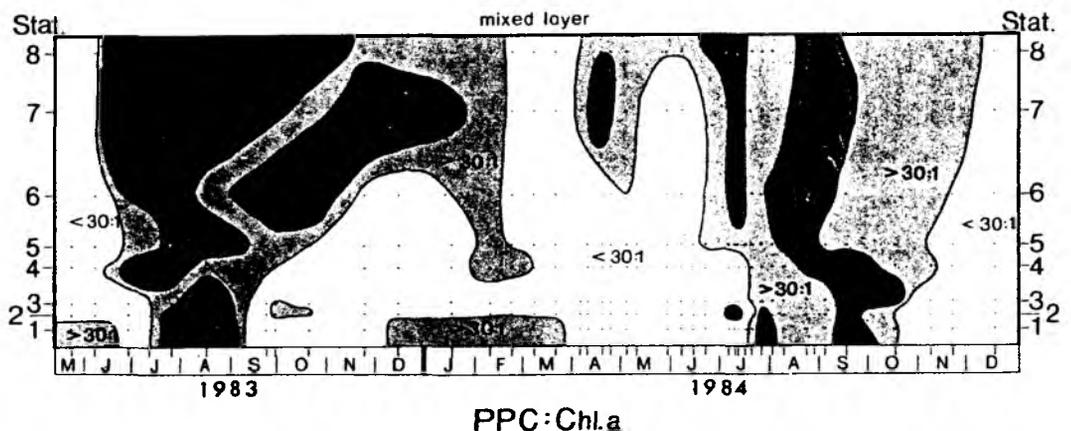


Abbildung 20 Das Gewichtsverhältnis von Phytoplanktonbiomasse (PPC) zu Chlorophyll a (Chl.a).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß besonders niedrige PPC:Chl.a Werte zwischen Herbst 1983 beginnend in der Innenförde, zur Frühjahrsblüte 1984 das gesamte Untersuchungsgebiet erfassend und danach bis Mitte Juli wieder auf die Innenförde beschränkt, zu verzeichnen waren. Höhere Werte traten jeweils in Perioden mit Dinoflagellaten-Dominanz auf.

3.3.4. Partikuläres Material

Die Ergebnisse der Messungen des partikulären organischen Kohlenstoffs (POC), des partikulären organischen Stickstoffs (PON) und des partikulären Gesamtphosphors (PGP) werden nicht als absolute Konzentrationen, sondern als atomare Verhältnisse (POC:PON, POC:PGP sowie PON:PGP) in der Abbildung 21 a-c dargestellt.

Das Verhältnis POC:PON

Änderungen im Verhältnis von körpereigenem Kohlenstoff zu körpereigenem Stickstoff geben ein Maß für die Veränderungen im physiologischen Zustand von Zellen an. Steigende Werte würden eine Verschlechterung des Zustandes anzeigen. Da aber POC und PON Messungen die Gesamtheit des partikulären Materials erfassen, ist die Interpretation es C/N-Verhältnisses in bezug auf den physiologischen Zustand des Phytoplanktons schwierig.

Die in Abbildung 21 a wiedergegebenen POC:PON Verhältnisse dieser Untersuchung lagen zwischen knapp unter 5:1 und knapp über 10:1, wobei die überwiegende Mehrzahl der Werte zwischen 6:1 und 7:1 lag. Eine Beschreibung der Einzelergebnisse scheint wenig sinnvoll. Es soll daher auf einige besonders auffällige Veränderungen eingegangen werden.

Die während des Sommers 1983 vergleichsweise niedrigen Verhältniswerte, sie lagen im Mai/Juni auf den Innenstationen zumeist unter 7:1 und stiegen mit Beginn der Prorocentrum minimum-Blüte an und erreichen ab Oktober 1983 im gesamten Untersuchungsgebiet Werte über 8:1, d.h. auch auf den Außenstationen zu einer Zeit, als die Herbstblüte in voller Entfaltung stand (s. auch Abb. 18). Diese hohen Werte sind auf den innersten Stationen bis Mitte März anzutreffen, während am Ausgang der Innenförde, in der Strander Bucht und bei Station 7 die POC:PON Werte zeitweise unter 7:1 sinken. Erst mit dem Beginn der Frühjahrsblüte stellt sich wieder eine einheitliche Entwicklung im gesamten

mixed layer

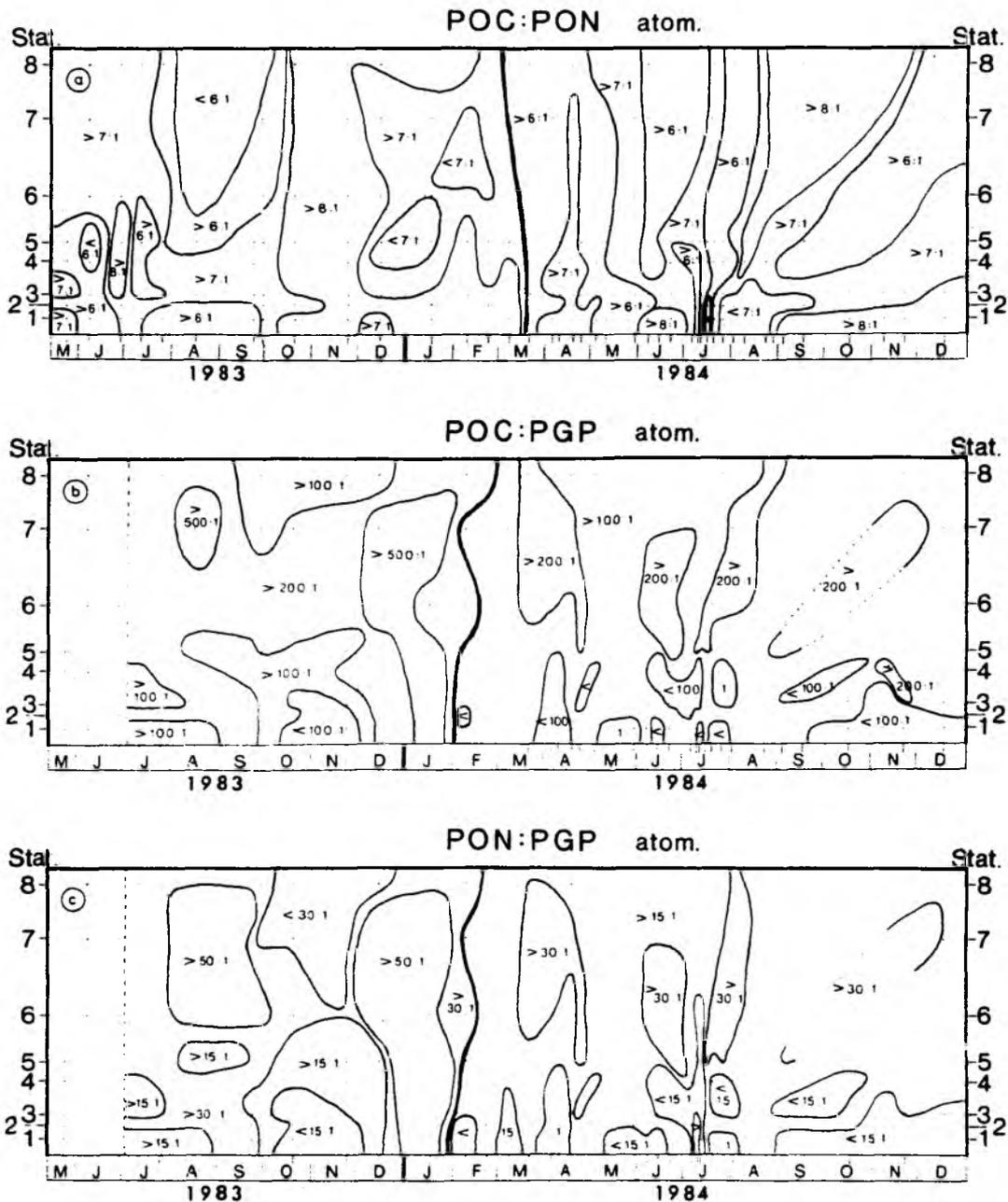


Abbildung 21 a,b,c Das atomare Verhältnis des partikulären organischen Kohlenstoffs (POC) und des partikulären organischen Stickstoffs (PON) zueinander sowie zum partikulären Gesamtphosphor (PGP).

Untersuchungsgebiet ein: die POC:PON Verhältnisse sinken auf z.T. deutlich unter $7:1$ ab. Im weiteren Verlauf des Frühsommers 1984 wechseln unterschiedlich lange Phasen von Werten größer bzw. kleiner als $7:1$ in manchmal schneller Folge einander ab. Anfang August liegt das Verhältnis in der Innenförde wieder unter $7:1$, während in der Kieler Bucht die POC:PON Werte auf über $8:1$ ansteigen. Dies ist

bemerkenswert, da zum gleichen Zeitpunkt des Vorjahres die absolut niedrigsten Werte im Bereich der Außenstationen gemessen wurden. Ab Anfang September, also rund 5 Wochen eher als 1983, steigen die POC:PON Werte auf Station 1 über 8:1 an; ab Station 5 seewärts sind sie verglichen mit dem Herbst des Vorjahres dagegen ausgesprochen niedrig.

Das Verhältnis POC:PGP

Die Werte des Verhältnisses POC:PGP (Abb. 21 b) lagen zwischen 70:1 und 1500:1. Die niedrigsten Werte (unter 100:1) traten in der Innenförde auf; im Zeitverlauf wurden die höchsten - mit einer Ausnahme - im Winter 1983-84 beobachtet. Bei den extrem geringen Werten ist ein räumliches, bei den extrem hohen Werten ein zeitliches Verteilungsmuster erkennbar.

Das Gros der Werte lag zwischen 100:1 und 350:1. Bis Ende Januar 1984 liegen die POC:PGP Werte i.a. über 200:1, ab Februar 1984 dagegen sind die Werte meist geringer als 200:1. Dieses Verteilungsmuster kehrt auch beim Verhältnis PON:PGP wieder.

Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons scheint einen eher unbedeutenden Einfluß auf das POC:PGP Verhältnis gehabt zu haben. Werte geringer als 200:1 während der Dinoflagellatenphase der Herbstblüte 1983 in der Kieler Bucht und bei den Prorocentrum minimum red tides in der Innenförde stehen ebenso niedrige, z.T. noch geringere Werte zur Zeit der Skeletonema costatum Dominanz im Frühsommer 1984 in der Innenförde gegenüber. Die durch Detonula confervacea gebildete Frühjahrsblüte wiederum wies Werte über 200:1 auf. Im Gegensatz dazu stehen Verhältniswerte deutlich unter 100:1 während der gemeinsam durch Thalassiosira excentrica und Cryptomonas cf. baltica gebildeten Phytoplanktonpopulation im Spätherbst 1983 in der Innenförde. Die Variabilität des POC:PGP Verhältnisses scheint also eher von Faktoren abzuhängen, die das Phytoplankton unabhängig von seiner taxonomischen Zusammensetzung beeinflussen.

Das Verhältnis PON:PGP

Das räumliche ebenso wie das zeitliche Verteilungsmuster des PON:PGP Verhältnisses (Abb. 21 c) ist nahezu deckungsgleich mit dem des POC:PGP: die niedrigsten Werte (unter 15:1) treten nur auf den Innenfördestationen auf, die höchsten (über 150:1) nur im Winter 1983/84 und im August-September 1983 (mit Werten zwischen 54:1 und 134:1). Auch die Zweiteilung des Untersuchungszeitraumes, hier einerseits mit Werten zumeist über 30:1 zwischen Mai 1983 und Januar 1984,

und andererseits mit Werten zumeist unter 30:1 ab Februar 1984, wurde schon unter 3.3.4. b für das Verhältnis POC:PGP beschrieben.

Demnach ist auch für das Verhältnis des partikulären organischen Stickstoffes zum partikulären Gesamtphosphor in der durchmischten Schicht keine direkte Abhängigkeit von der taxonomischen Zusammensetzung des Phytoplanktons sichtbar.

3.3.5. Die Primärproduktion

Die Berechnung der Tagesproduktion für die beiden Tiefenstufen 0-1 m und 4-5 m sowie für die Wassersäule 0-5 m ist in Abbildung 22

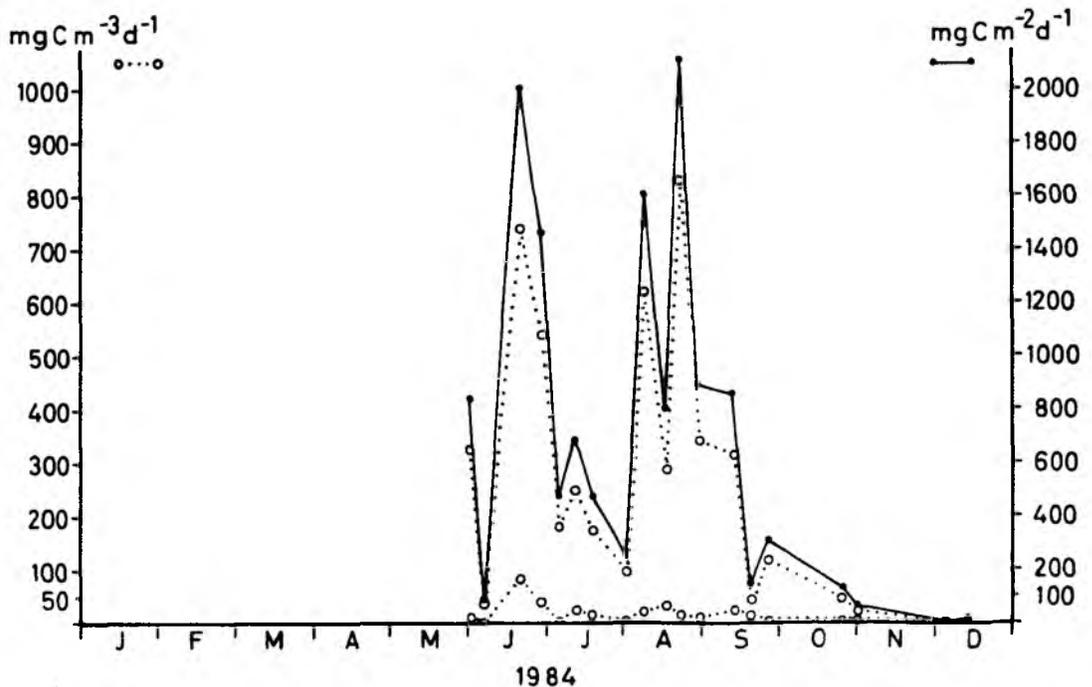


Abbildung 22 Primärproduktion. Tagesproduktion in $\text{mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ (0.....0) für 0 m (obere Kurve) und 5 m (untere Kurve) sowie in $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (●—●) an der Pier des IfM. Berechnet mit Hilfe der aktuellen Einstrahlung in W m^{-2} (s. Tab. IX) und den Produktionsdaten ($\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) des Meßprogrammes der Abtlg. "Marine Planktologie" des IfM.

für den Zeitraum, in dem Lichtdaten zur Verfügung standen, wiedergegeben. Die Kurven für die Oberflächenwerte und die Gesamtproduktion zeigen einen streng parallelen und stark strukturierten Verlauf. Im einzelnen fallen besonders auf: a, der Zusammenbruch des Phytoplanktonwachstums Anfang Juni 1984; b, ein anschließendes neues Produktionsmaximum Mitte des Monats (hauptsächlich durch Skeletonema costatum); c, eine Phase abnehmender Produktion im Juli; d, kurz vor dem Ende der Dominanzperiode von S. costatum Anfang August eine weitere Produktionsspitze und e, der höchste Tagesproduktionswert in einer Phase, als Prorocentrum minimum (ein gepanzerter Dinoflagellat) rund 60 % Anteil am Phytoplanktonkohlenstoff hat. Ab Ende Oktober ist die Produktion sehr niedrig.

Eine Auswertung des oben erwähnten parallelen Kurvenverlaufs zeigt, daß der Anteil der oberflächennahen Produktion (0-1 m) an der Gesamtproduktion zwischen Juni und Dezember 1984 bei $37 \pm 1,7$ % lag (Tab. XIII). Eine Berechnung der Produktion der Wassersäule kann also für die Innenförde im Bereich der Station 2 (Institutspier) mit hoher Genauigkeit aus der oberflächennahen Produktion erfolgen, zumal die Produktion in 5 m Tiefe im Jahresmittel unter 9 % derjenigen an der Oberfläche liegt.

Die Berechnung der Gesamtproduktion für den Zeitraum Juni - Dezember ergab 112 g C m^{-2} . Eine Extrapolation für das gesamte Jahr 1984 kann ohne die entsprechenden Tageslichtdaten aus der Zeit Januar bis Mai, für die bisher nur die Produktion in $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ vorliegt, nicht erfolgen und muß daher spekulativ bleiben. Unter der Annahme, daß die Primärproduktion während der Frühjahrsblüte ca. 1/3 der Jahresproduktion betragen kann, ergäbe sich eine Jahresproduktion von ca. 200 g C m^{-2} .

4. Diskussion

Eine Bewertung der Ergebnisse dieser Arbeit im Vergleich mit früheren Untersuchungen sollte unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Zum einen sind die biologischen Vorgänge im Pelagial der Kieler Förde im Vergleich zur Kieler Bucht zu sehen, zum anderen müssen sie als Antwort auf die besonderen abiotischen Faktoren in der Förde verstanden werden. Dazu gehört der laterale Eintrag von Nährstoffen, der für die einzelnen Nährsalze eine große jahreszeitliche Variabilität aufweist ebenso, wie die besonderen hydrographischen Bedingungen, die u.a. durch die Nord-Süd-Lage der Förde und ihre relativ geringe Tiefe beeinflusst werden.

Es werden zunächst die abiotischen Faktoren in einem Vergleich der Kieler Förde mit der Kieler Bucht sowie im Vergleich der Sommermonate der beiden Untersuchungs Jahre diskutiert. Daran schließt sich dann die Bewertung der biologischen Ergebnisse unter Berücksichtigung der hohen Nährsalzkonzentrationen in der Innenförde an. Besondere Beachtung soll außerdem dem Auftreten des Dinoflagellaten Prorocentrum minimum gewidmet werden, der im Sommer 1983, also zu Beginn der Probennahmeperiode dieser Untersuchung zum erstenmal für den Bereich der Kieler Förde beschrieben wurde (Kimor et al., 1985), und der auch im Jahr 1984 wieder in hohen Konzentrationen auftrat.

4.1. Die Trennung zwischen Innenförde und Kieler Bucht aus hydrographischer Sicht.

Wie aus den räumlichen Verteilungen der Nährsalze und des Chl.a hervorgeht, herrschen in der Kieler Innenförde Bedingungen, die eine Akkumulation von gelöstem und partikulärem Material begünstigen. Diese sind sicher im Ursprung hydrographischer Natur, werden aber mit großer Wahrscheinlichkeit auch durch die Topographie des Fördebeckens sowie durch seine geographische Lage beeinflusst. Ganz allgemein sind es die Austauschvorgänge des Fördewassers mit dem der Kieler Bucht, deren Häufigkeit hier die entscheidende Rolle spielt. Dabei sind zwei Arten von Austauschrhythmen zu unterscheiden, erstens ein streng periodischer, der durch die Gezeiten gesteuert wird und zweitens ein stochastischer, der vom aktuellen Wettergeschehen, sowohl im Förderebereich, als auch über Nordeuropa, abhängt.

Die Wirkung der Gezeiten auf die Hydrographie der Kieler Förde

soll durch die folgenden Überlegungen dargestellt werden, deren Grundzüge von Dyer (1973) beschrieben wurden.

Der Tidenhub in der westlichen Ostsee beträgt nur ca. 10-20 cm (Magaard, 1974). Nimmt man einen Tidenhub von ca. 15 cm pro Tide für den Bereich der Innenförde an, so entspricht das einem Wasservolumen von $2,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, das bei auflaufendem Wasser in die Förde transportiert wird. Bei jeder Tide wird Mischwasser wegtransportiert, das im Mittel soviel Süßwasser enthält, wie in dieser Zeit aus den lateralen Quellen der Kieler Förde in die Innenförde eingeflossen ist. Läßt man die sehr diskontinuierliche Zufuhr des NOK, dessen Wasser ja außerdem nur einen geringen Süßwasseranteil hat, außer Betracht, dann bleibt als wesentlicher Süßwasserlieferant die Schwentine. Sie lieferte im Zeitraum dieser Untersuchung zwischen $0,03$ und $0,44 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pro Tide (Tab. X), das sind zwischen 1 % und 20 % des transportierten Volumens. Bei jeder Tide müssen also zwischen 101 % und 120 % des einströmenden Wassers abtransportiert werden. Dieses abfließende Wasser hat daher einen geringfügig niedrigeren Salzgehalt als das einfließende (Brandthorst, 1955 und Tab. 5). Um nun eine Vorstellung von der Vermischung des Schwentinewassers mit dem der Innenförde zu bekommen, und so eine Aussage über den Abtransport von stark eutrophiertem Süßwasser in die Kieler Bucht zu erhalten, muß man das Volumen der Innenförde mit dem Tidenvolumen plus Süßwassereintrag vergleichen. Da nicht zu erwarten ist, daß das Schwentinewasser innerhalb einer Tide (genauer gesagt einer Halbtide, da bei ablaufendem Wasser das oberflächennahe Schwentinewasser direkt seewärts transportiert werden kann) in der gesamten Wassersäule vermischt wird, soll hier nur eine 5 m starke Oberflächenschicht betrachtet werden, was der ungefähren Lage einer zumindest zeitweise in beiden Sommern ausgebildeten Sprungschicht entspricht. Das entsprechende Volumen liegt bei $75,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Nur 0,04 % bis 0,6 % dieses Volumens werden pro Tide durch die Schwentine zugeführt und ein ebenso großer Teil muß pro Tide zusätzlich zu dem eingeströmten Wasser wieder seewärts transportiert werden. Dies folgt aus dem langfristig unveränderten Salzgehalt der Förde ebenso, wie aus dem unveränderten Pegelstand. Das gesamte Tidenvolumen macht nur knapp 1,5 % des Fördevolumens aus.

Auch unter Bedingungen, die ein sofortiges Umlenken des oberflächennahen Schwentinewassers nach Norden, und seinen Transport in die Außenförde bewirken, z.B. bei starkem Südwind, wird ein Teil mit dem ursprünglichen Kieler Förde Wasser vermischt und gelangt nicht

direkt zum Ausstrom. Man kann daher davon ausgehen, daß die Verweildauer des in die Förde eingetragenen Süßwassers unterschiedlich ist. Unter Winterbedingungen, mit einer ungeschichteten Wassersäule, dürfte sie größer sein, als während des Sommers, in der die Durchmischung nur bis ca. 5 m reicht. Der Einfluß des aktuellen Wettergeschehens, das stochastischen Charakter hat, ist dabei noch nicht berücksichtigt. Einstrom begünstigende Wetterlagen sorgen für eine Verzögerung des Nordtransportes (der Pegelstand steigt) und Ausstrom erzeugende Wetterlagen bewirken eine Beschleunigung des Abtransport (der Pegelstand sinkt).

Für die Unterschiede in den biologischen Prozessen zwischen Innenförde, Außenförde und Kieler Bucht ist der Abtransport von Süßwasser von großer Bedeutung, da er über die Aufenthaltsdauer der eingebrachten Nährsalze entscheidet.

Grundsätzlich ist beim Eintrag von Substanz mit dem Süßwasser zwischen konservativen Stoffen, die keiner Veränderung auf ihrem Weg vom Eintragsort bis in die offene Kieler Bucht unterliegen und nicht konservativen zu unterscheiden. Es können z.B. die gelösten Nährsalze noch in der Förde in den partikulären Zustand, d.h. in Körpersubstanz umgewandelt werden; dies muß jedoch nicht notwendigerweise der Fall sein. So sind die großen Stickstoffmengen, die besonders im Januar und Februar in die Förde transportiert werden als konservative Fracht anzusehen, da sie außerhalb der Vegetationszeit des Phytoplanktons die Förde erreichen. Sie werden zum größten Teil durch die Friedrichsorter Enge in die offene Kieler Bucht verfrachtet, bevor sie in den biologischen Kreislauf eingeschleust werden. Im Januar - Februar sind auch die Abflussmengen der Schwentine in die Förde am höchsten, was den Austausch von Süßwasser mit der Kieler Bucht, und damit auch den seewärtigen Transport von Nährsalzen, fördert. So muß bei der Nährsalzfracht der Schwentine und der anderen Süßwasserquellen für die Förde unterschieden werden zwischen außerhalb der Vegetationsperiode eingebrachten, per definitionem konservativen, Nährsalzen und den während der Monate März bis Oktober/November eingetragenen, die vom Phytoplankton aufgenommen werden und somit als nicht konservative Stoffe anzusehen sind. In der Innenförde können aber, offensichtlich im Gegensatz zur Kieler Bucht mit ihren im Sommer sehr niedrigen Nährsalzkonzentrationen, nicht alle zur Verfügung stehenden Nährsalze aufgenommen werden. Nach der oben gegebenen Definition muß also auch im Sommer in der Innenförde zwischen konservativen

und nicht konservativen Nährsalzen unterschieden werden. So gelangt mit dem Wassertransport eine gewisse Nährsalzfracht in die Kieler Bucht. Sie kann hier zusätzlich zur Primärproduktion auf der Basis regenerierter Nährsalze in den Stoffkreislauf einbezogen werden. Die im Verlauf des Sommers zu beobachtende Biomasseakkumulation des Phytoplanktons (Smetacek et al., 1984, Smetacek 1985 b) ist z.T. so zu erklären. Der größte Teil der lateral eingebrachten Nährsalze wird aber wohl schon in der Nähe des Eintragsortes vom Phytoplankton aufgenommen. Paasche & Kristiansen (1982) berichten davon, daß Phytoplankton wegen seiner hohen Aufnahmerate wie ein "Filter" für die Nitratfracht einer Nährsalzquelle im Oslofjord wirken kann.

Der geringe Tidenhub in der westlichen Ostsee und der dadurch bedingte geringe Austausch ist also einer der Gründe für die deutliche Trennung zwischen Innenförde und Außenförde bzw. Kieler Bucht in Bezug auf die biologischen Parameter - vor allem die Biomasse.

Die biologischen Vorgänge der Nährsalzaufnahme durch das Phytoplankton, der Artensukzession, des Grazing und der Remineralisation durch das Zooplankton finden ihre Rahmenbedingungen in diesen physikalischen Transportmechanismen ebenso, wie im aktuellen Wettergeschehen. Im Vergleich der beiden Sommer 1983 und 1984 wird dies deutlich. Es fällt die Kausalbeziehung zwischen Winden mit nördlichen (oft nordöstlichen) Komponenten und relativ hohen Einstrahlungswerten auf (Abb. 5 u. Abb. A im Anhang), die im Gegensatz zu den deutlich geringeren Einstrahlungsmengen im Sommer/Herbst 1984 stehen. Diese treten dann auf, wenn auch die Windrichtung -für diese Jahreszeit auffallend oft- südliche (oft südwestliche) Komponenten aufweist. Ein deutlich größerer Anteil an diesen südlichen Komponenten im Windregime hat eine größere Turbulenz des Wasserkörpers in der Förde zur Folge. Durch die im innersten Bereich der Förde ansetzende Windschubspannung wird verstärkt oberflächennahes Wasser nach Norden getrieben, der Ausstrom wird verstärkt und es kommt zu Auftriebserscheinungen an der Luvküste in der Förde. Für diesen oft nur kleinräumigen Küstenauftrieb können für den Bereich der Innenförde Winde aus allen Richtungen zwischen 060° und 300° sorgen, da sie zumindest für einen Teil der Fördeküste ablandig sind. Ein solcher windinduzierter Ausstrom findet in den meisten Fällen Unterstützung dadurch, daß eine Ausstromlage aus der westlichen Ostsee bei allen Windrichtungen zwischen 025° und 210° entsteht (Dietrich, 1951; Struve-Blank, 1982). Eine die ganze Förde erfassende Wassererneuerung ist dabei für die Verhinderung der Aus-

bildung einer Sprungschicht zumindest für Teilgebiet der Förde nicht erforderlich. Als Beispiel dient hier der 14. Juli 1984, als vergleichsweise starke Westwinde bei Station 2 Auftrieb erzeugen, die Wassersäule auf den weiter östlich gelegenen Stationen, in der Hörn und auch am Ausgang der Innenförde dagegen geschichtet bleibt.

Die Schichtung der Wassersäule ist außerdem abhängig von der Einstrahlung. Bei Einstrahlungsmittelwerten über $200 \text{ W m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und gleichzeitig relativ schwachen Winden wird in beiden untersuchten Sommern in kurzer Zeit eine starke Sprungschicht in der Innenförde ausgebildet. Der Beginn dieser Trennung der Wassersäule liegt im Sommer 1983 schon im Juni, während im folgenden Jahr erst im August eine kurze Periode vergleichsweise hoher Einstrahlung einsetzt, die für eine ebenso kurze Zeit die Bildung einer Thermokline bewirkt. In diesen beiden "Schichtungsperioden" ist der Wasseraustausch zwischen Förde und Kieler Bucht stark eingeschränkt, die Pegelschwankungen liegen bis auf wenige Ausnahmen im Bereich des Tidenhubs.

Die Folgen des späten Einsetzens dieser Schönwetterperiode sind ein spätes Erreichen der maximalen Oberflächentemperatur (1983 im Juli und 1984 im August) sowie die Beschränkung der zur Verfügung gestellten Nährsalze im wesentlichen auf die lateralen Zuflüsse und die in der durchmischten Schicht remineralisierten Mengen. Unterhalb der Sprungschicht befindliche Nährsalze stehen der Primärproduktion nicht zur Verfügung. Mit Beginn dieser Sommersituation im Bereich der Kieler Förde wurde in beiden Jahren eine drastische Änderung in der Artenzusammensetzung des Phytoplanktons beobachtet: nach einer ausgeprägten Dominanzphase von Skeletonema costatum tritt jetzt erstmals Prorocentrum minimum auf, im Jahr 1984 also ca. 4-5 Wochen später als im Vorjahr. Im September einsetzende südliche Winde beenden in beiden Jahren die sommerliche Stagnationsperiode; gleichzeitig sinkt die Einstrahlung auf ca. 50 % der Augustwerte. Die Phytoplanktonpopulation reagiert auf verschiedene Weise. Im Jahr 1983 wird im September Prorocentrum minimum von Cryptomonas cf. baltica als bestandsbildendem Organismus abgelöst, während im Jahr 1984 Prorocentrum minimum bis weit in den Oktober die Phytoplanktonpopulation dominiert und erst im November von der üblichen Winterdiatomeenpopulation ersetzt wird.

In den Spätherbst- und Wintermonaten herrschen im Gebiet der Kieler Förde südliche Winde vor. Sie sorgen dafür, daß durch Auftrieb ein großräumiger Wasseraustausch stattfinden kann, der durch die Nord-Süd-Lage der Förde begünstigt wird. Die Sauerstoffsituation am Boden der

Innenförde bessert sich schnell, auch in den Tiefen über 20 m. Die gesamte Förde ist zwischen Oktober und Februar praktisch nicht geschichtet. Das folgende Frühjahr 1984 ist in bezug auf die Schichtungsverhältnisse in der Förde durch einer rasche Folge von schwacher oder nur kurzfristiger Schichtung und völlig durchmischter Wassersäule gekennzeichnet. Bedingungen also, die dem bekannten Bild der Entwicklung in der Kieler Bucht mit der allmählichen Ausbildung einer Sprungschicht in 10 - 12 m nicht entsprechen (s. u.a. Brogmus, 1952; v. Bodungen, 1975 und Babenerd, 1980). Die Phase einer ungeschichteten, an den meisten Stationen somit bis zum Boden durchmischten Wassersäule reicht im sehr windreichen und einstrahlungsarmen Jahr 1984 bis in den Juli.

Ein Faktor, der in anderen Frühjahren ebenfalls zu einer Stabilisierung der Wassersäule in der Förde beigetragen haben kann, 1984 aber fast völlig unbedeutend war, ist der Regenwasserabfluß durch die Schwentine, die in den Monaten März bis Mai das abflußärmste Vierteljahr im gesamten Untersuchungszeitraum aufweist; eine Folge der außergewöhnlich niederschlagsarmen Monate Februar bis April. Damit verbunden ist eine ab März drastisch abnehmende Stickstofffracht der Schwentine, die im Mai nur noch 1/7 der Januar-Februar Menge beträgt.

Ein Randaspekt des bodennahen Wasseraustausches mit der Kieler Bucht sei an dieser Stelle wegen seiner Bedeutung für die Lebensgemeinschaft am Meeresboden in der Kieler Förde und die Phosphat- und Ammoniakfreisetzungsrates aus dem Sediment erwähnt. Entgegen einer weitverbreiteten Ansicht, daß ein Einstrom von Kieler Bucht Wasser eine Verbesserung der Lebensbedingungen durch den damit verbundenen Wasseraustausch bringt (s. Krug, 1963), ist für die Sauerstoffversorgung der bodennahen Wasserschichten im Sommer 1984 das Gegenteil der Fall. Ende August dringt über 20 % haltiges Wasser in die Förde ein, die vorher auf den flacheren Stationen 1 und 3 noch relativ hohe O_2 -Konzentrationen (über 50 % Sättigung) aufweist. Infolge des niedrigen Sauerstoffgehaltes des Wassers in der Kieler Außenförde bzw. in der Kieler Bucht sinkt die Sauerstoffsättigung nun auf unter 25 %. Zwei Gründe scheinen für diesen Vorgang verantwortlich zu sein: 1. die bis dahin relativ gute Durchmischung der flachen Innenförde, die eine gute vertikale Sauerstoffversorgung des bodennahen Wassers zumindest auf den flacheren Stationen gewährleistete und 2. die größere Zehrung im bodennahen Wasserkörper der Kieler Bucht in der eine sommerliche Sprungschicht den vertikalen O_2 -Transport seit Anfang Juni unterbin-

det. Für diesen niedrigen O_2 -Gehalt des Bodenwassers ist allerdings nicht allein die Zehrung innerhalb der Kieler Bucht verantwortlich. Nach neueren Messungen weist schon das durch den großen Belt eindringende Bodenwasser ein Sauerstoffdefizit von mehr als 40 % auf (Koske, Inst. f. angew. Physik, CAU-Kiel, pers. Mittlg.). Ein Einstrom salzreichen Bodenwassers führt daher besonders im Spätsommer nicht notwendigerweise zu einer Erhöhung des Sauerstoffgehalts über dem Sediment. Erst ein länger andauernder Wasseraustausch kann hier Verbesserungen bringen, in dem er frisches Kattegattwasser mit geringer O_2 -Zehrung in die Kieler Bucht transportiert.

Die Konsequenzen einer Stagnation im Bodenwasser für die Nährsalzversorgung des Phytoplanktons in der Kieler Förde sind wie folgt zu beschreiben. Unter hochsommerlichen Bedingungen (starke Sprungschicht in der Förde) kommt es schnell zu anoxischen Zonen an der Sedimentoberfläche und Phosphat und Ammoniak werden in großen Mengen freigesetzt (so im Sommer 1983). Eine ausführliche Diskussion der Redoxverhältnisse in Abhängigkeit von der Hydrographie für die Innenförde gibt Reimers (1976). Um die so freiwerdenden Nährsalze zumindest teilweise in der euphotischen Schicht zur Primärproduktion zur Verfügung zu stellen, genügen dann lokale, kurzfristige Unterbrechungen dieser Sprungschicht durch Wind oder Schiffsverkehr (die großen Fahren besitzen z.B. einen Tiefgang von 6 bzw. 6,5 m). Herrschen dagegen auch im Sommer Turbulenz und Vermischung in der Förde vor, ist in der Kieler Bucht aber eine sommerliche Sprungschicht ausgebildet, so werden aufgrund der dort stattfindenden O_2 -Zehrung die noch relativ guten Sauerstoffverhältnisse in der Förde bei Einstromereignissen verschlechtert. Es kommt wiederum zu vermehrter Phosphat- und Ammoniakfreisetzung, und diese Mengen können dann relativ schnell nach oben in die euphotische Schicht gemischt werden.

So können auch im Sommer in unregelmäßigen Abständen Nährsalze aus dem bodennahen Wasserkörper in die euphotische Schicht der Kieler Innenförde eingebracht werden. Im folgenden soll nun näher auf die laterale Zufuhr von Nährsalzen aus den verschiedenen Süßwasserquellen für die Innenförde eingegangen werden.

4.2. Herkunft und Verbleib der Nährsalzfrachten

Die in die Förde im Untersuchungszeitraum eingebrachten Nährsalzmengen sind nur sehr ungenau bestimmbar. Die Gewässer des Landes

unterliegen zwar einer Überwachung ihrer Güte (§ 69 Landeswassergesetz vom 17. 1. 1983, Gesetze u. Vorschriften-Blätter für Schleswig-Holstein, S. 24), eine kontinuierliche Beprobung findet aber nicht statt. Dies gilt für die Einleitung des NOK in die Förde, für den Eintrag der Eider in den Kanal und auch für die Regenwasserableitungen der Stadt Kiel und der Gemeinde Heikendorf in die Förde. (Eine regelmäßige Untersuchung von Regenwässern findet z.Zt. in keiner Stadt an der Ostsee statt, wie auf einer Tagung von Bürgermeistern aus allen Ostsee-Anrainerstaaten anlässlich der Kieler Woche 1983 in Kiel deutlich wurde.)

Außerdem kann über die saisonale oder gar monatliche Variabilität des Nährsalzeintrages durch den NOK keine Aussage gemacht werden. Die abgeschätzten Nährsalzfrachten des Kanals sind allerdings, wie in Kapitel 3.1.4. dargestellt, vermutlich deutlich geringer, als die der Schwentine. Ihre Variabilität mit der Zeit dürfte derjenigen der Schwentine ähnlich sein, wobei die 4 - 6 wöchige Abflußverzögerung der Schwentine beim NOK nicht zum Tragen kommt. Im folgenden über den Nährsalzeintrag aus der Schwentine gemachte Aussagen dürften daher im Prinzip auch für den NOK richtig sein, wenn auch auf dem Niveau geringerer Frachtmengen. Eine grundlegend andere zeitliche Variabilität in der Nährsalzfracht dürften die beiden anderen Nährsalzquellen für die Förde, der direkte Niederschlag und der Regenwassereintrag, haben. Die durch diese beiden Quellen eingetragenen Mengen sind aber noch sehr viel geringer, als die Mengen aus dem Kanal, so daß auch eine erhebliche Variabilität eine relativ geringe Rolle spielen sollte.

An dieser Stelle soll aber erwähnt werden, daß die auf der Grundlage von $1,6 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (B. Schneider, IfM-Kiel, pers. Mittlg.) eingebrachte Stickstoffmenge, auf die Fläche der Kieler Bucht berechnet, eine Eintragsmenge von rund $4400 \cdot 10^3 \text{ kg a}^{-1}$ bedeutet. Bei rund $7400 \cdot 10^3 \text{ kg}$ anorganisch gelöstem Stickstoff am Ende des Winters in der Kieler Bucht (Babenerd & Zeitzschel, 1985) ist das mehr als die Hälfte, die verteilt über ein Jahr über die Luft eingetragen wird, und die im selben Zeitraum auch aus der gelösten Phase wieder entfernt werden muß. Der Stickstoffeintrag durch die Luft (Nitrat u. Ammoniak im Verhältnis von ca. 1:1,2, Rodhe et al., 1980) wird besonders im Hinblick auf die Abschätzung der Eutrophierung durch lateralen Eintrag in Zukunft große Beachtung finden müssen. Auf die Konsequenzen für das Verhältnis neuer zu regenerierter Produktion (Dugdale & Goering, 1967)

wird im Kapitel 4.3. noch eingegangen.

Während also über die Herkunft und das genaue Ausmaß der mengenmäßig weniger bedeutenden Nährsalzfrachten keine befriedigenden Aussagen gemacht werden können und eine Diskussion spekulativ bleiben muß, ist dies zumindest für einen Teil der Schwentinefracht möglich. Im Rahmen dieser Arbeit sollen daher die möglichen Ursachen für die Höhe und auch die Variabilität dieser Frachten kurz angesprochen werden.

Der Gesamteintrag an Stickstoff und Phosphor durch die Schwentine unterliegt starken Schwankungen. Nicht nur die Stickstoff- und Phosphormengen weisen zueinander starke Schwankungen auf, sondern auch die Zusammensetzung der anorganisch gelösten Stickstofffracht selbst variiert im Verlauf eines Jahres stark. Nitrat ist zwar durchweg der Hauptbestandteil, aber besonders in den Spätsommermonaten steigt der Anteil des Ammoniak auf rund 50 % an der Gesamt-N-Fracht an. Die drei Hauptkomponenten der Nährsalzbelastung, die die Schwentine in die Förde einbringt, stammen aus verschiedenen Quellen, die zu unterschiedlichen Jahreszeiten von Bedeutung sind.

Nach ihrer Jahresmenge von größter Bedeutung ist dabei die Nitratfracht; sie ist im Winter (Dez. - März) bis zu 33 mal so hoch wie im Hochsommer. Die bedeutendste Quelle für Nitratstickstoff ist die landwirtschaftliche Mineral- und Naturdüngung. Durch sie wird soviel Stickstoff vor Beginn der Vegetationsperiode auf die Nutzflächen aufgebracht, wie nach entsprechenden Berechnungen durch die pflanzliche Aufnahme übers Jahr verbraucht werden soll. Es werden nicht nur Ackerland sondern auch, in geringerem Maß, Grünflächen gedüngt. Wenn nun die pflanzliche N-Aufnahme nicht der zugegebenen Düngemenge entspricht, dann verbleibt nach dem Ende der Vegetationsperiode eine Restmenge auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche zurück. Dies war in besonderem Maße im Jahr 1983 der Fall, als infolge eines außergewöhnlich trockenen Sommers die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen nicht so abwuchsen, wie nach der Düngemittelzugabe zu Beginn des Jahres möglich gewesen wäre, auch eine Denitrifikation im Boden konnte aus Wassermangel nicht im üblichen Maß stattfinden. Die Folge waren vergleichsweise hohe Nitratrückstände im Boden, die dann zum größten Teil im Frühjahr 1984 oberflächlich abgeschwemmt werden konnten. Bodenerhebungen der Landwirtschaftskammer Kiel ergaben einen Verlust von 28 kg N ha^{-1} zwischen Herbst 1983 und Frühjahr 1984, wobei man davon ausgehen kann, daß ca. 60 % abgeschwemmt wurden und der Rest

z.T. einer bei Temperaturen unter 4°C sehr geringen Denitrifizierung unterworfen war, z.T. auch ins Grundwasser sickerten (Dr. Gerth, Landwirtschaftskammer Kiel, pers. Mittlg.). Die für den Januar und Februar festgestellten N-Frachten der Schwentine und die in diesem Zeitraum besonders hohen Nitratkonzentrationen in der Innenförde unterstützen diese Erklärung. Unabhängig von den Folgen dieser relativ großen Stickstoffmengen für die Kieler Bucht, in die diese letztlich transportiert werden, sind sie in Bezug auf die Förde als konservative Stoffe gemäß der oben gegebenen Definition (Kap. 4.1.) anzusehen. Ihre Berücksichtigung bei einer Betrachtung der Eutrophierung der Kieler Innenförde ist daher nicht sinnvoll

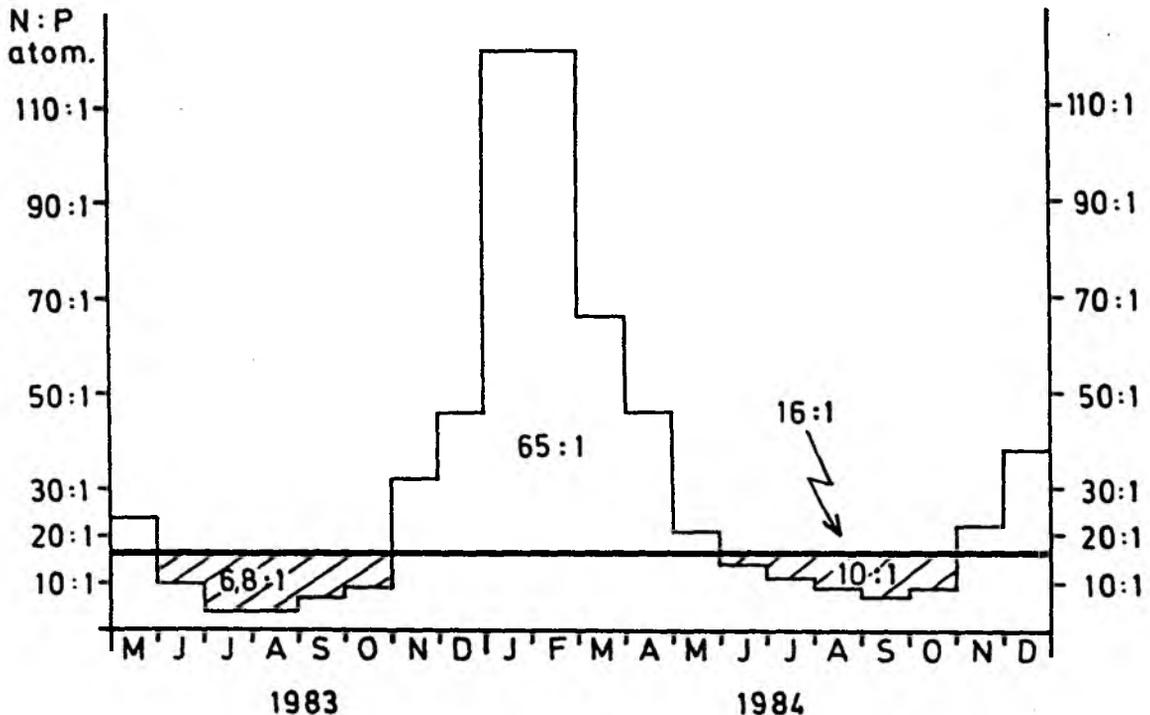


Abbildung 23 Nährsalzfracht der Schwentine. Monatliches Mittel des atomaren Verhältnisses des gelösten anorganischen Stickstoffes ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) zum anorganisch gelösten Phosphor ($\text{PO}_4\text{-P}$). Die Verhältnisswerte in der Abbildung sind Mittelwerte über die Zeiträume Juni–Oktober 1983, November 1983 – Mai 1984 und Juni–Oktober 1984.

Läßt man also die zwischen November und Februar eingetragenen Nährsalzmengen außer acht und betrachtet das Verhältnis von anorganisch gelöstem Stickstoff zu anorganisch gelöstem Phosphor, dann ergibt sich eine Zweiteilung der Vegetationsperiode (Abb. 23):

Zwischen März und Mai 1984 liegt das N:P Verhältnis über 16:1, dem Wert, der nach Redfield et al. (1963) das Verhältnis pflanzlicher Stickstoff- und Phosphoraufnahme beschreibt. In diese Zeit fällt im Untersuchungsgebiet die Frühjahrsblüte und auch die Massenentwicklung von Skeletonema costatum in der Förde. In beiden Jahren des Untersuchungszeitraumes sinkt das Verhältnis N:P im Juni auf unter 16:1 und liegt für drei Monate sogar unter 10:1 (Tab. XI). Dieses relative Überangebot an Phosphor in den Sommer- und Herbstmonaten 1983 und 1984 ist sowohl die Folge sinkender Stickstoffmengen, als auch steigender Phosphatmengen im Schwentinewasser. Gründe hierfür sind der starke Rückgang der Nitratabschwemmungen von den landwirtschaftlich genutzten Flächen und die Zunahme des PO_4 -P-Eintrags. Die monatlichen Ammoniakfrachten bleiben im gesamten Untersuchungszeitraum vergleichsweise konstant, sie schwanken bei einem Mittelwert von $2,6 \cdot 10^3$ kg pro Monat nur um $\pm 1,0 \cdot 10^3$ kg.

In den beiden Sommern des Untersuchungszeitraumes ist also trotz sehr unterschiedlicher Wetterlagen über eine Spanne von 5 Monaten ein zeitweise sogar erheblicher Phosphatüberschuß gemessen an der "Redfield-ratio" im Schwentinewasser festzustellen und das trotz einer Phosphatfällung in einigen Klärwerken am Flußlauf. Sollte die aktuelle Klärleistung in diesen Anlagen eine sofortige Wirkung auf die Phosphatfracht und damit das N:P Verhältnis im Unterlauf der Schwentine haben, dann muß in den Monaten Juni-Oktober diese Fällungen als unzureichend bezeichnet werden. Neben einer direkten Mehrbelastung der Klärwerke in den Sommermonaten (die saisonal bedingte Zunahme des Verbrauchs an Frischwasser wird noch durch das erhöhte Fremdenverkehrsaufkommen in dieser Jahreszeit (Anon., 1985) gesteigert) liegen die Gründe für erhöhte NH_4 -N und PO_4 -P Frachten an der Mündung der Schwentine in einer Freisetzung aus anoxischen Sedimenten im Flußlauf. Bei dem streckenweise äußerst geringen Gefälle von nur 2,7 m auf 24 km zwischen Malente und Preetz und auch kurz vor der Mündung ab der Oppendorfer Mühle (2,9 m auf 5,6 km, Landesamt f. Wasserhaushalt u. Küsten, 1981 und 1984), ist besonders in den abflußarmen Sommermonaten nicht mit einer ausreichenden vertikalen Sauerstoffversorgung zu rechnen. Eine ausführliche Diskussion der Rolle der Sedimente in stehenden Gewässern findet sich bei Welch & Lindell (1981). Prinzipiell ist die Frage zu klären, unter welchen Umweltbedingungen Sedimente als Nährsalzquelle (Stumm & Leckie, 1971) oder als Nährsalzfalle (Vollenweider, 1975) in den Stoffkreislauf eingreifen. Dieser Frage kommt aber für die Beurteilung des Einflusses der Klärwerksleistungen

am Flußlauf auf die Qualität des Wassers an der Mündung eine große Bedeutung zu. Mit anderen Worten: es muß geklärt werden, ob eine intensivierete Abwasserbehandlung zur Verminderung des Eintrags von Ammoniak und Phosphat in die Kieler Förde führen kann. Die Diskussion der dabei zu berücksichtigenden komplizierten Wechselwirkungen zwischen Wassersäule und Sediment oberhalb der Mündung der Schwentine ist im Rahmen dieser Arbeit nicht durchführbar.

Während für Ammoniak- und Phosphatfracht keine signifikante Beziehung zur Abflußmenge besteht, kann die Nitratfracht offensichtlich in erster Näherung durch die Abflußmenge der Schwentine beschrieben werden. Eine Korrelation ergab eine hohe Signifikanz ($P < 0,001$, $n=20$) und eine exponentielle Zunahme der Fracht (in 10^3 kg) bei erhöhter Abflußrate (in 10^6 m^3) mit $\ln(y+1) = 0,7 * 1,36 \ln(x+1)$. Selbstverständlich ist eine erhöhte Nitratfracht nicht hinreichend durch eine größere Abflußmenge erklärt, eine Kausalbeziehung läßt sich aus dieser Korrelation also nicht ableiten. Für das Frühjahr 1984 wurde eine Erklärung der hohen Nitratabschwemmung schon gegeben (s.o.).

Dieses eher N-limitierte Schwentinewasser (Abb. 23) trifft nun in der Förde auf ebenfalls vergleichsweise phosphatreiches Wasser. Im Sommer 1983 ist das N:P Verhältnis in der Förde schon ab Juni unter 8:1, was auf eine deutliche N-Limitierung schließen ließe, wenn nicht das PON:PGP Verhältnis ebenso deutlich über 15:1, oft sogar über 30:1 läge, eine Unterversorgung des Phytoplanktons mit Stickstoff also nicht gegeben zu sein scheint. Wegen des auch im Sommer geringen Anteils an Blaualgen an der Phytoplanktonpopulation (Tab. 10) kann eine zusätzliche N-Versorgung durch N_2 -Fixierung, wie sie für die zentrale Ostsee im Sommer z.B. von Rinne et al. (1978) beschrieben wird, ausgeschlossen werden.

Gleiches gilt auch für den Sommer 1984, in dem allerdings in der Förde ein N:P Verhältnis von 16:1 erst im Juni/Juli unterschritten wurde und Werte unter 8:1 erst im August auftraten. Nimmt man nicht die absoluten Werte, sondern die Geschwindigkeiten der Abnahme als Maß, dann stimmen die Entwicklungen im Wasser der Schwentine mit denen im Wasserkörper der Innenförde in beiden Jahren exakt überein: Im einstrahlungsarmen und windreichen Sommer 1984 werden die niedrigsten N:P Werte ca. einen Monat später erreicht; sie bleiben höher als im Sommer 1983. Trotz dieser Verzögerung dauert die Phase eines Überangebotes von Phosphor in der euphotischen Schicht durch die Schwentine in beiden Jahren 5 Monate, von Juni bis Oktober; wobei das durchschnittliche N:P Verhältnis im warmen Sommer 1983 bei 6,8:1 im Folgesommer bei 10:1 lag.

Die bis in den Hochsommer 1984 höheren Sauerstoffkonzentrationen in Bodennähe und die damit verbundene geringere Phosphatfreisetzungsrage, wie sie Balzer (1984) angibt, zusammen mit einer geringeren Denitrifizierungsrate, spielen hierbei sicherlich eine Rolle. Für eine enge Kopplung zwischen Sediment und Wassersäule spricht auch das Verhältnis der Jahresmengen der vom Sediment freigesetzten Nährsalze zueinander. Balzer (1984) gibt für die Kieler Bucht ein N:P Verhältnis von 8:1 im Jahresdurchschnitt mit niedrigeren Werten im Spätsommer und unter anoxischen Bedingungen an.

Neben dem atomaren Verhältnis der lateral eingebrachten Stickstoff- und Phosphorfrachten zueinander ist natürlich bei der Beurteilung einer Eutrophierungswirkung die absolute Menge der Nährsalze von Bedeutung. Die in dieser Arbeit für die Schwentine, als der bedeutendsten Nährsalzquelle angegebenen Konzentrationen beruhen auf den monatlichen Messungen des LA-WK, sie erfassen daher nicht eventuelle kurzfristige Schwankungen. Die Berechnung von Gesamtmengen und Frachten bereitet Schwierigkeiten, da es keine Messungen über den Abfluß der Schwentine an der Mündung gibt. Die einzigen kontinuierlichen Aufzeichnungen werden am Pegel in Preetz durchgeführt, an einer Stelle also, oberhalb der rund 90 % des Einzugsgebietes der Schwentine liegen (Landesamt f. Wasserhaushalt u. Küsten, 1981). Modellrechnungen für den Beitrag der restlichen 10 % und des sich dann ergebenden Gesamtabflusses werden z.Zt. im LA-WK durchgeführt (Brunswig, LA-WK, pers. Mittlg.). Für diese Arbeit werden die Werte des Pegels Preetz als einzig verfügbare kontinuierliche Messungen herangezogen. Die sich so ergebenden N- und P Frachten sind in Tabelle 13 zusammen mit den Angaben anderer Autoren aufgeführt. Es fällt auf, daß die mit den Werten aus den Jahren 1973 und 1974 berechneten Nährsalzfrachten ein Vielfaches über den neueren Berechnungen mit aktuellen Daten liegen. Selbst bei Berücksichtigung einer höheren Abflußrate als der hier berechneten -Babenerd & Zeitzschel, 1985, gehen von ca. $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ aus- bleiben die mittleren Jahreskonzentrationen der Nährsalze bei der erstgenannten Untersuchung noch extrem hoch. Sie liegen bei rund $640 \text{ } \mu\text{M-N/l}$ und $43 \text{ } \mu\text{M-P/l}$. Werte, die ein Mehrfaches der sowohl in den letzten Jahren in den monatlichen Messungen des LA-WK festgestellten Maximalwerte, als auch der hier angegebenen Werte betragen. Eine Erklärung für diese Diskrepanz kann leider nicht gegeben werden, zumal der zu einem Großteil für die Nährsalzfrachten verantwortliche Düngemittelaufwand zwischen 1973/74 und 1983/84

Tab. 12 Eintrag in die Kieler Förde durch die Schwentine. Jahresabflüßmengen in 10^6 m^3 und Nährsalzfrachten in 10^3 kg . Vergleich der Angaben verschiedener Autoren. LA-WK = Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten-Kiel.

Abflüßmenge	% Fördevolumen	N-Fracht	P-Fracht	Autor
2001	129	1829	268	Babenerd & Zeitzschel (1985) ¹
142 ³	92	397 ⁴	-	Horstmann (unveröff.)
142 ³	92	241	77	LA-WK, aus den Mittelwerten für 1975
142 ³	92	331	95	LA-WK, aus den Mittelwerten für 1976
157,7	102	318	41,9	LA-WK, aus den Mittelwerten für 1983
136,8	88	289	26,6	LA-WK, aus den Mittelwerten für 1984
136,8	88	348	21,8	diese Arbeit für 1984
76,1 ⁵	49	136	18,9	diese Arbeit für Mai-Dez. 1983

¹ Abflüßmenge nach Babenerd & Zeitzschel (1985)

² Nach Angaben des LA-WK für die Jahre 1973 und 1974 berechnet

³ Mittlere Abflüßmenge nach dem 10-jährigen Mittel von $4,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

⁴ Die Angabe bezieht sich nur auf $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$

⁵ Abflüßmenge zwischen Mai und Dezember 1983

deutlich gestiegen ist. So gibt die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein für 1975/76 92 kg N/ha und 59 kg P/ha für den Zeitraum 1983/84 aber 114 kg N/ha und 62 kg P/ha an (Landwirtschaftskammer, 1983, 1984, 1985). Aber selbst die in dieser Arbeit berechneten Eintragungsmengen von $350 \cdot 10^3$ kg N und $22 \cdot 10^3$ kg P im Jahr 1984 -entsprechend eine durchschnittliche Konzentration von $180 \mu\text{M-N/l}$ und $5,2 \mu\text{M-P/l}$ - bedeuten eine erhebliche Nährsalzzufuhr für die Förde.

Auf jeden Fall aber bleibt trotz der hier verglichenen Jahreseintragungsmengen die Notwendigkeit bestehen, ständig zwischen konservativen und nichtkonservativen Nährsalzen für den Kieler Innenförde Bereich zu unterscheiden. Die Angabe von Jahresfrachten ist dabei nicht sinnvoll, sie dient hier nur dem Vergleich verschiedener Untersuchungen und sollte bei der Betrachtung der eutrophierenden Wirkung von neuen Nährsalzen für ein bestimmtes Meeresgebiet nicht mehr erfolgen.

4.3. Die Reaktionen des Phytoplanktons

Seit den Untersuchungen von Lohmann (1908), die im wesentlichen von Busch (1917) bestätigt und von Brandt (1916-1920, S. 189 ff.) zusammengefaßt, wenn auch anders bewertet wurden, bis hin zu der umfassenden Diskussion des Jahreszyklus' des gelösten und partikulären Materials von Smetacek et al. (1984), ist die Entwicklung der Phytoplanktonpopulation in der Kieler Bucht und in der Außenförde häufig beschrieben und in ihren Grundzügen immer wieder bestätigt worden.

Es kann daher darauf verzichtet werden den Jahresablauf in diesem Teilgebiet erneut en detail zu beschreiben, zumal auch in dieser Untersuchung keine bedeutenden Abweichungen vom beschriebenen Schema, weder in der Artenzusammensetzung noch in der Biomasse und dem Zeitpunkt ihrer Maxima, auftraten. Eine Ausnahme ist dabei das ungewöhnlich späte Einsetzen der Herbstblüte 1983 und ihre Dauer bis Ende November. Für das Gebiet bei Boknis Eck, also rund 13 Seemeilen westlich von Station 7, ist sie ausführlich einschließlich der Reaktion des Benthos auf ihre Sedimentation von Passow (1985), Noji (1985), Eversberg (1985) und Czytrich (1985) beschrieben worden.

In der Innenförde ist die Entwicklung im Pelagial immer dann derjenigen in der Kieler Bucht vergleichbar, wenn die gleichen physikalischen Bedingungen herrschen, so z.B. von November 1983 bis März/April 1984, d.h. einschließlich der Frühjahrsblüte 1984.

In den Sommer- und Herbstmonaten beider Untersuchungsjahre aber unterscheidet sich das Phytoplankton und seine Entwicklung in der Innenförde sehr stark von den Vorgängen in der Kieler Bucht. Das bezieht sich nicht nur auf die Akkumulation von Phytoplanktonbiomasse, sondern auch auf die Diversität der Phytoplanktonpopulation. Erstgenannte ist in der Förde deutlich höher, zweitgenannte deutlich geringer als in der Kieler Bucht. Diese unterschiedlichen Entwicklungen zwischen einem Ästuar und dem offenen Meer sind seit langem bekannt und gut beschrieben. Einen Überblick geben Lackey (1967), Riley (1967), Raymond (1980) und Kennedy (1984).

Die hohen Biomassen in der Förde werden im wesentlichen von nur vier taxonomischen Einheiten gebildet. Es sind dies der Flagellat "X", die Diatomee Skeletonema costatum, der Dinoflagellat Prorocentrum minimum und die nicht identifizierten Nanoflagellaten unter 8 µm Durchmesser, wobei Skeletonema costatum und Prorocentrum minimum im Sommer

und Herbst 1983 und 1984 die das Erscheinungsbild der Phytoplanktonpopulation in der Innenförde bestimmenden Formen sind.

Die Ausbildung hoher Biomassen mit bis zu 700 mg C/l (Ende Mai 1984) durch S. costatum ist die Reaktion auf besondere, nur in der Innenförde vorhandene Wachstumsbedingungen, zu deren wesentlichsten Merkmalen der ständige Zustrom lateral eingebrachter Nährsalze in einem Süßwasserkörper gehört. Dies führt zu einer sofortigen Verfügbarkeit für die Algen in der euphotischen Schicht, macht sie also unabhängig von einer vertikalen Versorgung und hebt auch die Begrenzung der Biomasseakkumulation durch Grazing auf. Der Aufbau immer höherer Biomassen im Verlauf der Frühsommer 1983 und 1983 durch S. costatum ist dabei als Indikator für die Bedeutung des lateralen Nährsalzflusses zu werten. Phytoplanktonpopulationen, die nur auf die im Pelagial remineralisierten Nährsalze angewiesen sind, können keine Biomasse akkumulieren. Sie werden im Gegenteil mit der Zeit einen Biomasseabbau erleben, da durch Sedimentation ständig ein, wenn auch vergleichsweise geringer, Teil des partikulären Materials dem pelagischen Kreislauf entzogen wird.

In der euphotischen Schicht der Kieler Innenförde hat sich nach der Frühjahrsblüte ein Ökosystem entwickelt, das im Gegensatz zur Kieler Bucht auch im Sommer zu großen Teilen seine Produktion auf neuen, hier lateral ständig zuströmenden Nährsalzen aufbaut.

Eine Übertragung des von Dugdale & Goering (1967) für die Primärproduktion im Meer entworfene Konzept auf die Verhältnisse in der Kieler Förde ist prinzipiell möglich. Die Differenzierung nach neuer und regenerierter Produktion auf der Basis von oxidierten Formen des Stickstoffs für neue und auf reduzierten Formen für die regenerierte Produktion ist allerdings wenig sinnvoll. Denn an den "neuen" Stickstoffnährsalzen aus der Schwentine ist gerade im Sommer der Ammoniakanteil besonders groß (Tab. XI).

Eine andere Möglichkeit Systeme mit "neuer" Produktion von solchen mit "regenerierter" Produktion zu unterscheiden bietet Peinert (1985) an. Sie beruht auf dem Sedimentationsgeschehen aus der euphotischen Schicht. Peinert (1985) unterscheidet hier Sedimentationssysteme, die einem relativ großen Verlust an organogenen Partikeln aus der durchmischten Schicht unterliegen von Retentionssystemen, in denen sich der Materiekreislauf im wesentlichen in einem gut aufeinander abgestimmten Nahrungsgefüge oberhalb der Sprungschicht abspielt, der Verlust an Materie also minimiert wurde. Der Zusammenhang zwischen Systemen mit

neuer Produktion und Sedimentationssystemen einerseits und den Retentionssystemen mit regenerierter Produktion andererseits ist u.a. von Eppley (1981) und Eppley et al. (1983) anschaulich beschrieben worden. Sie stellen anhand von ^{15}N -Messungen der Primärproduktion und des Sedimentationsgeschehens ein Modell über die Verbindung von neuer Produktion mit dem Materieverlust durch Sedimentation vor. Danach muß die Summe der durch neue Nährsalze stimulierten Primärproduktion (in Stickstoffeinheiten) gleich der Summe der durch Sedimentation aus der durchmischten Schicht entfernten Materie (in Stickstoffeinheiten) sein, wenn man die zeitliche und räumliche Ausdehnung groß genug wählt.

Für Schelfgebiete gibt Walsh (1983) nicht nur an, daß der überwiegende Teil des durch Photosynthese produzierten Materials (Kohlenstoffeinheiten) durch Sedimentation aus der euphotischen Schicht entfernt wird (überwiegend Diatomeen, s. dazu auch Smetacek, 1985a), sondern sondern daß die im Gesamtzean aus der euphotischen Schicht sinkende Materie letztlich in sogenannten Ablagerungszentren an den Kontinentalabhängen sammelt. Ein Vorgang, der besonders gut für Planktondetritus nachzuweisen ist, der infolge der Atomwaffentests in den letzten 30 Jahre radioaktiv markiert ist und am Kontinentalabhäng akkumuliert festgestellt wurde.

Für ein kleinräumiges System wie die Kieler Förde ist bei diesen Erklärungskonzepten die mit Erhöhung der neuen Produktion verbundene Erhöhung der Sedimentation von Bedeutung. In der Kieler Bucht werden im wesentlichen zwei Sedimentationsphasen, zu Beginn und am Ende der Vegetationsperiode beschrieben, die beide als Folge neuer Produktion auftreten (Smetacek, 1980; Peinert et al., 1982). Dieser Zusammenhang, der auch für ozeanographische Fronten in anderen Meeresgebieten (Pingree et al., 1975, 1976 u. 1977 und Richardson et al., 1985) gilt, führt zu erhöhter Sedimentation in Abhängigkeit der durch die Schwentine zugeführten neuen Nährsalze und des sich zwischen ihrem Süßwasser und dem Wasser der Kieler Bucht ausbildenden Dichtegradienten.

Obwohl bisher an Frontensystemen noch keine quantitativen Sedimentationsuntersuchungen durchgeführt wurden, kann die Annahme einer verstärkten Zufuhr von organischem Material aus der euphotischen Schicht für den Innenfördebereich durch Kögler & Ulrich (1985) und Pollehne (IfM-Kiel, pers. Mittlg.) unterstützt werden, die in den Sedimenten der Kieler Förde sehr hohe Gehalte an organischem Koh-

lenstoff (bis 7 %) festgestellt haben.

Vor dem Hintergrund einer hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität in der Ausprägung eines Frontensystems in der Förde, besonders in den beiden vom Wettergeschehen und den Abflusssmengen der Schwentine so unterschiedlichen Jahren des UZ besteht doch eine gewisse Kontinuität in der Phytoplanktonsuccession im UG.

Am Beginn der Untersuchung, Ende Mai 1983, wurde die Phytoplanktonpopulation in der Kieler Förde von dem Flagellaten "X", der vermutlich eine unbeschaltete Form des Silikoflagellaten Dictyocha speculum ist (E. Granéli, Univ. Lund, Schweden, pers. Mittlg.), dominiert. Nach bisher unveröffentlichten Untersuchungen war er im gleichen Zeitraum im gesamten Beltseegebiet (ICES special meeting on the causes, dynamics and effects of exceptional marine blooms and related events, Kopenhagen, 4.-5. Okt. 1984) und in der Kieler Bucht (P. Stegmann, IfM-Kiel, pers. Mittlg.) der dominante Organismus. Zu diesem Zeitpunkt befand sich die Kieler Förde im direkten Anschluß an das Geschehen im Pelagial der westlichen Ostsee, was auf einen intensiven Austausch mit der Kieler Bucht schließen läßt. Das im Mai aufgezeichnete Windregime mit überwiegend südlichen Winden unterstützt diese Ansicht. Die Ausbildung eines abgeschlossenen Innenfördesystems war also stark behindert.

Mit dem Einsetzen der sommerlichen Wetterbedingungen und der Abnahme des Oberflächensalzgehaltes in der Innenförde wird der euryhaline (Pankow, 1976) Silikoflagellat durch die opportunistische Diatomee Skeletonema costatum abgelöst. Sie zeigt während des gesamten UZ eine sehr große Formenvariabilität, die schon von Karsten (1898) für diese Art im UG beschrieben und auf die Umweltbedingungen zurückgeführt wird. Diese Succession von kleinen, motilen Formen zu der immotilen Diatomee fand auch im April/Mai 1984 statt: nach der Frühjahrsblüte (s.u.) dominierten für eine kurze Zeit bei sehr geringen Chl. a Konzentrationen und PPC Werten unter 100 µg/l die kleinen, nicht identifizierten Nanoflagellaten unter 8 µm Durchmesser. Anschließend kam es auch 1984 zu einer starken Blüte von S. costatum. In beiden Jahren nahm also ab Mai die Entwicklung der Sommerpopulation in der Förde bei kleinen beweglichen Formen ihren Ausgang. Eine Entwicklung, die für die Kieler Bucht schon vielfach belegt ist (Stegmann & Peinert, 1984; Nöthig, 1984; Smetacek, 1985 b).

Bevor auf das Auftreten von Prorocentrum minimum, dem dominanten Organismus nach der Skeletonema costatum Blüte, eingegangen werden kann, soll die Entwicklung im Frühjahr 1984 diskutiert werden.

Die Frühjahrsblüte wird in der Innenförde von Detonula confervacea und Skeletonema costatum gemeinsam gebildet, während auf den Außenstationen S. costatum neben D. confervacea zwar vorhanden ist, ihr Biomasseanteil aber geringer bleibt. Nach autökologischen Untersuchungen von Schöne (1977) kann der Wachstumsvorteil von D. confervacea zu Beginn der Vegetationsperiode gegenüber S. costatum seine Begründung in der kürzeren Generationszeit jener Diatomee bei sehr niedrigen Temperaturen um 2°C finden, wie sie zu dieser Zeit im UG vorherrschten.

Mit Erhöhung der Temperatur und der jahreszeitlich bedingten Erhöhung der Einstrahlung werden die Wachstumsbedingungen für Skeletonema costatum immer besser, sie weist nun die kürzeren Generationszeiten auf (Schöne, 1977) und hätte zumindest Detonula confervacea gegenüber einen deutlichen Wachstumsvorteil. Da sich autökologische Untersuchungen an Reinkulturen nicht immer direkt auf die in situ Bedingungen übertragen lassen, bedarf es zumindest einiger weiterer Indizien für die Gründe der im späten Frühjahr in der Innenförde festgestellten Dominanz von S. costatum.

So haben z.B. Eppley et al. (1969) festgestellt, daß bei Nitratkonzentrationen über 1,0 µM-N/l und bei Ammoniakkonzentrationen über 1,5 µM-N/l Skeletonema costatum die bei weitem am schnellsten wachsende Alge im Vergleich mit Coccolithus huxleyi, Ditylum brightwellii und Dunaliella tertiolecta ist. Sie erreicht Generationszeiten von rund 12 Stunden. Ein Wert, der dem entspricht, den Schöne (1977) bei Versuchsbedingungen ermittelt hat, die nach Temperatur, Salzgehalt und Licht-Dunkel-Wechsel denen in der Förde zu dieser Jahreszeit entsprechen. Die oben erwähnten Stickstoffschwellenwerte sind in der Förde im Frühjahr erheblich überschritten. Für einen Wachstumsvorteil von S. costatum nach der Frühjahrsblüte spricht auch, daß sie unter Nitratversorgung kürzere Generationszeiten erreicht, als bei einer Ammoniakversorgung (Schöne, 1977). Dortch (1980, S. 178 ff.) konnte sogar zeigen, daß bei durch Nitrat vorkonditionierten S. costatum Kulturen die Ammoniakaufnahme stark unterdrückt ist; in der Kieler Förde ist zu dieser Zeit Nitrat die absolut dominante anorganische Stickstoffverbindung. Entgegen der vielfach vertretenen Ansicht, daß die Aufnahme von Ammoniak-Stickstoff absolute Präferenz gegenüber z.B. Nitrat-Stickstoff bei eukaryonten Phytoplanktonzellen hat (u.a. Conway et al., 1976; McIsaac & Dugdale, 1969 u. 1972, Syrett, 1981) konnten Eppley & Renger (1974) an einer Diatomee und Bienfang (1975) an einer Grünalge die simultane Aufnahme von Ammoniak und Nitrat zeigen.

Auch wenn die Übertragung der von Dortch (1980) gezeigten Fähigkeit der Vorkonditionierung von Skeletonema costatum auf die Population in der Kieler Förde spekulativ bleiben muß, kann angenommen werden, daß die in dieser Zeit dominante Alge zu einem nicht unbeträchtlichen Teil von den hohen Nitratkonzentrationen profitiert haben muß. Zumal die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentrationen schon in der Außenförde deutlich unter denen der Innenförde lagen, was ein konservatives Verdriften der gesamten Nitratfracht der Innenförde in die offene Kieler Bucht im Sinne der in Kapitel 4.1. gegebenen Definition ausschließt.

Neben diesen physiologischen Fähigkeiten, die allein nicht zur Erklärung von Phytoplankton sukzession und Dominanzerscheinungen ausreichen (Smetacek, 1985a), wird die Dominanzperiode von Skeletonema costatum selbstverständlich noch durch die zu dieser Jahreszeit vorherrschenden turbulenzfördernden Wetterbedingungen begünstigt. So beschreibt Margalef (1978) ausführlich die Gründe für die Dominanz chlorophyllreicher, immotiler Phytoplanktonarten mit einem niedrigen Oberfläche zu Volumen Verhältnis (rundliche Formen) unter Umweltbedingungen, die durch hohe Turbulenz und hohe Nährsalzkonzentrationen gekennzeichnet sind. Im Juni 1984 wird die Dominanz der Diatomeen dann von zwei voneinander unabhängigen Faktoren unterbrochen. Zum einen erreichen die Silikatkonzentrationen Ende Mai/Anfang Juni sehr niedrige Werte. -An der Institutspier wurden im Rahmen des unter 3. "Ergebnisse" erwähnten Meßprogrammes der Abteilung "Marine Planktologie" Werte zwischen 0,0 und 0,6 $\mu\text{M-Si/l}$ festgestellt.- Zum anderen sorgt der Rückgang der Einstrahlung auf im Durchschnitt 45 $\text{W m}^2 \text{d}^{-1}$, das sind nur 16 % der Einstrahlung des Vortages, für eine drastische Verschlechterung des Lichtklimas, was bei einer Secchitiefe von weniger als 3 m (Abb. 23) bedeutet, daß die durchmischte Schicht tiefer reicht, als die 1 % Lichttiefe ($\ll 8,0$ m). Die Folge ist eine sehr schnelle und die ganze durchmischte Schicht leerräumende Sedimentation, was sich in den Chl.a Konzentrationen in Bodennähe Ende Mai/Anfang Juni widerspiegelt. Eine Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit von S. costatum bei Silikatmangel, nicht aber bei Stickstoff- oder Phosphormangel stellen Bienfang et al. (1982) fest, was in Bezug auf eine phylogenetische Anpassung an die Lebensbedingungen im Pelagial von Flachwassergebieten auch sinnvoll erscheint (s. dazu Smetacek, 1985, a). Im Silikatmangel dürfte also der die massive Sedimentation der S. costatum Population auslösende Faktor liegen. Die folgende extrem geringe Einstrahlung führte dann endgültig zur Beendigung der

ersten Dominanzperiode von S. costatum. Die ab Mitte Juni deutlich erhöhten SiO_4 -Konzentrationen zusammen mit der normalisierten Einstrahlung bei weiterhin fehlender Schichtung schaffen wieder verbesserte Wachstumsbedingungen besonders für Diatomeen, was wiederum S. costatum am schnellsten nutzen kann. Sie dominiert die Phytoplanktonpopulation, bis Anfang August die Silikatwerte wieder unter $1,0 \mu\text{M-Si/l}$ sinken, die Turbulenz in der Wassersäule der Innenförde einer flachen Sprungschicht weicht und sich so die physikalischen Umweltbedingungen in der Weise ändern, daß statt der Diatomeen sog. red tide-Organismen die Ausprägung der Primärproduktionsstufe des Ökosystems übernehmen. Eine Verringerung der vertikalen und wahrscheinliche auch der horizontalen Wasserbewegungen verbunden mit vergleichsweise hohen Nährsalzkonzentrationen sind nach Margalef (1978) die hierfür ausschlaggebenden Faktoren.

Die Änderung in der Phytoplanktonartenzusammensetzung mit dem Dinoflagellaten Prorocentrum minimum als dominantem Organismus bestätigt den Einfluß der geänderten hydrographischen Bedingungen, die durch die höchsten Einstrahlungswerte sowie die im Vergleich zum Frühsommer geringen Stickstoffkonzentrationen bei ansteigenden $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentrationen, also sinkendem N:P Verhältnis, charakterisiert sind. Die Sukzession von Diatomeen zu Dinoflagellaten ist für eutrophierte Ästuare schon von Mandelli et al. (1970) beschrieben worden. Sie kann auch für die Kieler Innenförde als normales, der jahreszeitlichen Entwicklung der abiotischen Umweltbedingungen entsprechendes Sukzessionsmuster angesehen werden. Neu für den Bereich der Kieler Förde ist im Sommer 1983 allerdings der Dinoflagellat P. minimum als dominanter Organismus. Er wurde noch im Sommer 1982 nicht in der Förde nachgewiesen (Moigis, 1983), kam aber schon am nördlichen Ausgang der Eckernförder Bucht vor (v. Bodungen, IfM-Kiel, pers. Mittlg.). Auch Lenz (1977b) erwähnt ihn noch nicht. Aus diesem Grund und wegen seiner vermuteten Toxizität, die sich über Miesmuschelgenuß beim Menschen in Form von diarrhetischen Erkrankungen (DSP) auswirken soll (Tangen, 1980 und 1983; Langeland et al., 1984), wird im folgenden auf P. minimum etwas ausführlicher eingegangen.

Der Dinoflagellat Prorocentrum minimum, der erstmals im Mittelmeer beschrieben wurde (Paviliard, 1916; Schiller, 1918), ist seitdem in nahezu allen Ozeanen festgestellt worden (an der Ostküste Nordamerikas von Lackey, 1967; Tyler & Seliger, 1978 und 1981, Maples et al., 1983 sowie Harding et al., 1983; im Golf von Mexiko durch Perry &

McLelland, 1981; an der Ostküste Kanadas durch Trick et al., 1981; im nordöstlichen Pazifik durch Trick et al., 1983; in japanischen Küstengewässern durch Nakazima, 1965 und 1968, Okaichi & Imatomi, 1979, Watanabe et al., 1980, Toriumi, 1980 und durch Suzuki & Fujita, 1986 sowie an den Küsten einiger europäischer Länder wie Portugal und Irland, ICES special meeting on the causes, dynamics and effects of exceptional marine blooms and related events, 4.-5. Okt. 1984, Kopenhagen; und Holland durch Kat, 1979). In Norwegen wurde P. minimum erstmals im September/Okttober 1979 im äußeren Oslofjord (Tangen, 1980 und 1983) anlässlich des Auftretens einer besonderen Art von diarrhetischen Erkrankungen beobachtet. In den folgenden Jahren konnte P. minimum immer weiter südlich aus dem Skagerrak/Kattegat Gebiet in die westliche Ostsee vordringend festgestellt werden: 1980 in der Laholmsbucht (Granéli & Granéli, 1982), 1981 an den schwedischen und dänischen Kattegat- und Skagerrakküsten (Edler et al., 1982), ebenso wie im Oslofjord (Tangen, 1983). Im Jahr 1982 wurde P. minimum dann an der Küste der DDR (Edler, Univ. Lund, Schweden, pers. Mittlg.) sowie in Proben nachgewiesen, die vor der Küste von Bornholm anlässlich des 2nd Int. Biol. Workshop in Rönne (Baltic Sea Env. Proc., 1982). Allerdings waren die Konzentrationen mit 30 Zellen/ml recht gering, was wahrscheinlich auf die relativ weite Entfernung der Probennahmestelle von der Küste Bornholms (ca. 10 sm) und die sehr stürmischen Wetterbedingungen (G. Schneider, IfM-Kiel, pers. Mittlg.) zurückzuführen ist. Alle bisherigen Beobachtungen von P. minimum beschreiben hohe Zellzahlen nur in Küstennähe und in relativ geschützten Buchten. Im offenen Wasser dagegen sind die Zelldichten von P. minimum deutlich niedriger (Pedersen, 1983 und diese Untersuchung Tab. 10). Im Jahr 1983 trat P. minimum wiederum in dänischen Fjorden (Pedersen, 1983) und erstmals auch in der Kieler Innenförde auf (Kimor et al., 1985 und diese Untersuchung). In den Sommern 1984 (diese Untersuchung) und 1985 (S. Neuer, IfM-Kiel, pers. Mittlg.) war P. minimum ebenfalls der dominante Phytoplanktonorganismus im Spätsommer. Er scheint somit in den letzten Jahren von Norden her in die westliche Ostsee eingewandert und seitdem neuer Bestandteil des Phytoplanktons zu sein.

In dieser Untersuchung nicht zu klären ist die Frage nach der Toxizität von Prorocentrum minimum. Erste vorläufige Tests mit der in der Kieler Förde nachgewiesenen Population ergaben keine toxische Wirkung an Mäusen (Kimor et al., 1985), wie auch Shimizu (1978) eine Aufstellung toxischer Dinoflagellaten vornimmt ohne P. minimum zu

erwähnen. Andere Autoren führen beschriebene DSP-Erkrankungen auf P. minimum zurück (Nakazima, 1965; Tangen, 1980 u. 1983; Pedersen, 1983). Okaichi & Imatomi (1979) beschreiben zwei Substanzen, die sie aus P. minimum isolieren konnten und die im Mäusetest toxische Wirkungen hatten. Allerdings wählten sie für ihren Nachweis nicht den für DSP üblichen oralen Test, sondern spritzten die Reinsubstanz peritoneal, was als Test für paralytische Substanzen empfohlen ist (Sommer & Meyer, 1937). Im Bereich der Kieler Bucht sind im Zusammenhang mit P. minimum bisher keine toxischen Wirkungen bekannt geworden. Allerdings ist die Frage nach der potentiellen Toxizität bisher nicht endgültig zu beantworten (Steidinger & Baden, 1984), was u.a. an der Unsicherheit bei der Identifizierung von Prorocentrum-Algen der Art minimum liegt.

In den bisher publizierten Arbeiten werden mindestens vier verschiedene Formen, z.T. als eigenständige Art, z.T. als Varietät gleichen Namens von Prorocentrum minimum, beschrieben. Es sind dies neben P. minimum (Pavillard, 1916; Schiller, 1918): P. triangulatum (Martin, 1929 a u. b), P. cordiforme (Bursa, 1959) und P. mariae-lebouriae (Faust, 1974 u. Faust et al., 1982) sowie das Synonym Exuviella mariae-lebouriae (Parke & Ballantine, 1957; Birnhak & Farrow, 1965). Hulburt (1965) und Adachi (1972) beschreiben die hier letztgenannten drei Formen als Varietäten von P. minimum. Für eine neuere Darstellung sei auf Dodge (1982) verwiesen. Z.Zt. scheint es sinnvoll alle genannten Formen als P. minimum zu beschreiben und evtl. Morphotypen zu unterscheiden. So gehört die in der Kieler Förde als red tide Organismus auftretende Form zum Morphotypen triangulatum.

Das plötzliche Auftreten von Prorocentrum minimum in der Kieler Innenförde in den Sommern 1983 und 1984 wirft die Frage nach dem Verbreitungsmechanismus dieser Art auf. Prinzipiell gibt es zwei Wege in die oberflächennahen Wasserschichten der Buchten und Fjorde zu gelangen. Zum einen könnten einmal im Küstengebiet aufgetretene Formen am Ende ihrer planktischen Phase ein zu Boden sinkendes Ruhestadium, eine Zyste oder Dauerspore bilden. Diese Stadien könnten dann auf dem Sediment (Anderson et al., 1982) ungünstige pelagische Bedingungen überdauern, um in einem der folgenden Jahre wieder zu keimen und die euphotischen Schicht aufzusuchen (Anderson & Morel, 1978). Diese Strategie ist besonders häufig in den neritischen Zonen der gemäßigten Klimate anzutreffen (Loeblich III & Loeblich, 1984). Die Kriterien, die ein Keimen hervorrufen sind noch nicht vollständig erfaßt, es scheint aber eine längere Phase niedriger Temperaturen und Dunkelheit

in den meisten Fällen dazugehören (von Stosch, 1972, 1973). Unabdingbar aber zur Zystenbildung scheint das Vorhandensein einer sexuellen Reproduktionsphase zu sein (Dale, 1983). Dieser Weg wird von vielen Dinoflagellaten, marinen wie limnischen, besprochen (eine Übersicht gibt Dale, 1983); eine sexuelle Reproduktion bei P. minimum ist bisher aber ebensowenig nachgewiesen worden, wie eine Zystenbildung (B. Dale, Univ. Oslo, Norwegen, pers. Mittlg.). Die vertikale Besiedelung eines Wasserkörpers vom Sediment aus muß also für P. minimum zunächst einmal ausgeschlossen werden. Zum anderen kann P. minimum als lebende Zelle oder in Form eines schwebenden Dauerstadiums jedes Jahr von neuem in Küstennähe transportiert werden, um sich beim Antreffen von günstigen Entwicklungsbedingungen rasch zu vermehren.

Für den Bereich der westlichen Ostsee liegen z.Zt. über diesen lateralen Transport keine Daten vor. Lindahl (1984) beschreibt allerdings am Beispiel von Gyrodinium aureolum das Entstehen einer Blüte im offenen Skagerrak-Bereich und ihr anschließendes Verdriften in Küstennähe. Neben diesem oberflächennahen, windinduzierten Transport kommt für die westliche Ostsee aufgrund ihrer hydrographischen Besonderheiten auch ein Transport im Bodenwasserkörper in Betracht. Ein solcher Transport ist bisher nur für die Chesapeake Bay an der amerikanischen Ostküste durch zwei sehr überzeugende Arbeiten von Tyler & Seliger (1978 u. 1981) beschrieben worden, deren Grundzüge auf Seliger et al. (1975) zurückgehen. Im wesentlichen zeigen sie, daß P. minimum am Ende der Vegetationsperiode an der Mündung der Chesapeake Bay aus der euphotischen Zone in den buchteinwärts fließenden, bodennahen Wasserkörper wandert. In ihm werden die Zellen im Verlauf des Winters nordwärts transportiert. Ihre übliche positive Phototaxie wird dabei von der Fähigkeit unterdrückt eine Salzgehaltsabnahme von ca. 1 ‰ zu detektieren und aufwärts gerichtete Schwimmbewegungen sofort einzustellen, um wieder in den salzreichen Nordstrom zurückzusinken. Ein Durchbrechen der Halokline hätte den Transport aus der Bucht auf das Schelfgebiet und damit das endgültige Verdriften aus der Chesapeake Bay zur Folge. So legen die Zellen im Verlauf des Winters die ca. 240 km (150 Meilen) bis zum Kopf der Bucht zurück, wo sie im Frühjahr mit dem Küstenauftrieb die euphotische Schicht erreichen. Eine Blüte setzt dann ein, wenn andere Randbedingungen wie Süßwasserzuflußmenge und Einstrahlung eine Massenentwicklung zulassen. Dies ist in der oberen Chesapeake Bay oft schon zwischen Januar und April der Fall, also zu einer völlig anderen Jahreszeit, als in der Kieler Förde.

Trotzdem bietet das hier beschriebene Verbreitungsprinzip einen Ansatz zur Erklärung des Transports von Prorocentrum minimum in die westliche Ostsee und sein Erscheinen in ihren Buchten und Fjorden. Einmal auf günstige Lebensbedingungen gestoßen -in der Definition von Margalef (1978)- kann sich P. minimum aufgrund einiger physiologischer Besonderheiten zum dominanten Organismus einer Phytoplanktonpopulation entwickeln. Zu diesen gehört seine für Dinoflagellaten hohe Vermehrungsrate. Trick et al. (1983) geben eine Teilung pro Tag, Sakshaug et al. (1984) 0,8 Teilungen/Tag für P. minimum, für die Gattung Ceratium z.B. werden dagegen 0,39 Teilungen pro Tag als Maximum angegeben (berechnet nach Goebel, 1985). Eine Teilung pro Tag kann wahrscheinlich für Dinoflagellaten als der Maximalwert angesehen werden. So berichtet Schneider (1984/85) am Beispiel von Gonyaulax polyedra von einer intrinsischen, circadianen Uhr, die für die Teilung der Zelle nur eine gewisse Zeit am Nachmittag offenläßt. Wird dieser Zeitpunkt verpaßt, z.B. weil die zur Teilung nötige Zellquota an Nährsalzen nicht aufgenommen werden konnte, dann ist eine Teilung erst am folgenden Tag möglich (gating effect). Außerdem ist für P. minimum die Fähigkeit nachgewiesen Nitrat im Dunkeln ebenso schnell aufzunehmen, wie im Licht (Paasche et al., (1984). Ein Phosphatmangel besteht bei N:P Verhältnissen unter 8:1 in der anorganisch gelösten Phase im Spätsommer in der Förde ebenfalls nicht. Granéli et al. (1985) konnten zeigen, daß P. minimum bei ausreichender P-Versorgung in der Lage ist etwaige Stickstoffmängel durch die Nutzung von Stickstoff aus der gelösten organischen Phase (DOM) auszugleichen, was dazu führt, daß das zelluläre N:P Verhältnis beständig zwischen 15 - 17:1 liegt (Sakshaug et al., 1984). Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen das, denn trotz des relativen N-Mangels in der anorganisch gelösten Phase liegen in der partikulären Phase (also im Phytoplankton) die Verhältnisse deutlich über 15:1. Das bedeutet, daß entweder der nicht erfaßte DOM-Pool genutzt wird (Granéli et al., 1985) oder aus dem anorganisch gelösten Pool eine N-Akkumulation durch die Phytoplanktonorganismen stattfindet. Eine intensive Nutzung des Luftstickstoffs, wie er z.B. in den zentralen Teilen der Ostsee im Sommer stattfindet (Voipio, 1981), und durch den Stickstoff aktiv in das Wasser eingebracht wird (Öström, 1976), kann für die Kieler Förde ausgeschlossen werden, da der Anteil heterocystenbildender Blaualgen am Phytoplankton sehr gering war. Diese Tatsache kann Rückschlüsse auf den relativen Grad an N-Mangel im Pelagial der Förde zulassen. Denn solange der Blaualgenanteil am Phytoplankton standing stock gering ist, muß man davon ausgehen, daß auf Ökosystemebene noch keine Notwen-

digkeit besteht, luftstickstofffixierende Kompartimente des Systems verstärkt einzusetzen. Wie Imburger et al. (1983) zeigen, kann auch eine schnelle Stickstoffumsatzrate die Lösung für relativen Überschuß an Phosphor sein, ohne daß dabei das N:P Verhältnis erhöht wird. Auf welchem der beiden angesprochenen Wege die Anreicherung von Stickstoff gegenüber dem anorganisch gelösten Pool geschieht, ist ohne die Bestimmung der aktuellen Aufnahmekinetik des Phytoplanktons nicht zu klären.

Auskunft über die im UG zur Verfügung stehende organisch gelöste Materie geben Untersuchungen über den Gehalt an organischem Kohlenstoff (DOC) in der Förde und in der Kieler Bucht, die zeigen, daß die Konzentrationen von $0,7 \text{ mg C l}^{-1}$ in der euphotischen Schicht der Innenförde im Spätsommer 1974 ca. 25 % höher sind als in der Außenförde und der Kieler Bucht (Gocke & Hoppe, 1977). Beide Werte liegen im unteren Bereich der von Williams (1975) aus der Literatur zusammengestellten Daten. Zur gleichen Jahreszeit 1984 betrug die Phytoplanktonbiomasse zwischen $0,5$ und $1,0 \text{ mg C l}^{-1}$. Gocke & Hoppe (1977) begründen die niedrigen DOC-Werte in der Kieler Bucht von ca. $0,5 \text{ mg C l}^{-1}$ mit der Aufnahme durch Bakterien, die diesen Pool intensiv nutzen können. In der Innenförde sind die DOC-Konzentrationen höher, da hier die lateral zuströmenden Süßwasserbakterien zum Teil durch die neue Umgebung eliminiert werden und die Brackwasserarten erst mit einer gewissen Verzögerung auftreten (Gocke & Hoppe, 1977). Hier könnten Phytoplanktonorganismen, die in der Lage sind, einen gelösten organischen Pool zu nutzen, die Lücke füllen. Phytoplankter mit dieser Fähigkeit werden im allgemeinen mixotroph genannt. Für eine ausführlichere Darstellung und exakte Klassifizierung der verschiedenen bei Dinoflagellaten vorkommenden Ernährungsweisen sei auf Guillard & Keller (1984) und die dort zitierte Literatur verwiesen. Mixotrophie kommt in der rund 400 Millionen Jahre alten Familie der Dinophyceae (Walsh, 1983) in verschiedenen Gattungen vor. Während Honsell & Talarico (1985) in Übereinstimmung mit Dodge (1983) die Gattung Prorocentrum für eine jüngere, fortgeschrittene Entwicklung halten, was eine größere evolutionäre Entfernung von den frühen, ursprünglich heterotrophen Dinophyceen-Gattungen (Steidinger & Cox, 1980) bedeuten würde, stellt Taylor (1980) sie an den Ursprung der Klasse der Dinophyceae. Auf jeden Fall ist nicht auszuschließen, daß die Gattung Prorocentrum die Fähigkeit zur mixotrophen Ernährung noch aktivieren kann. Die Ergebnisse von Granéli et al. (1985) deuten darauf hin.

Neben diesen rein physiologischen Fähigkeiten von Prorocentrum minimum, die zu einem Wachstumsvorteil führen können, sind zur Ausbildung von red tides externe Bedingungen, in der physikalischen Umwelt, erforderlich (Steidinger, 1975; Margalef, 1978 und Steidinger & Haddad, 1981). Dazu gehören eine hohe Einstrahlung und die damit verbundenen hydrographischen Besonderheiten, wie eine hohe Wassertemperatur, eine deutlich ausgeprägte Schichtung, geringe Turbulenz und ein verminderter Wasseraustausch zwischen Bucht und offenem Meer. Diese Bedingungen herrschten beim Auftreten von P. minimum in der Kieler Förde vor, wenn auch im Jahr 1984 nur für kurze Zeit in der zweiten Augushälfte. Die von Margalef (1978) beschriebene Sukzession von Diatomeen zu Dinoflagellaten (in diesem Fall zu red tide bildenden) als Folge geänderter externer Energieverteilung wird also durch die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigt.

Mit dem Einsetzen der windinduzierten Konvektion im Herbst werden die Dinoflagellaten im UG als dominante Organismen durch die Nanoflagellaten und Diatomeen der Winterpopulation des Phytoplanktons abgelöst. So folgt die Entwicklung der Phytoplanktonpopulation in der Kieler Innenförde im Prinzip der für die Kieler Bucht vielfach beschriebenen Sukzession (Smetacek et al., 1984; Smetacek, 1985b und darin zitierte Literatur). Unterschiede zwischen der Kieler Bucht und der Kieler Innenförde sind im Phytoplankton dann besonders ausgeprägt, wenn aufgrund der physikalischen Umweltbedingungen der Wasseraustausch zwischen beiden Teilgebieten vermindert ist, also besonders im Sommer. Nur in dieser Zeit ist der Austausch gelöster und partikulärer Materie minimiert; ebenso fällt in dieser Zeit das Abflußminimum von Land und aus der Schwentine, und auch die Niederschlagsmengen sind deutlich geringer als im Herbst. Die Folge davon ist, daß im Sommer die Kieler Innenförde in ihrer geographischen Definition auch als mehr oder weniger selbständiges Ökosystem beschrieben werden kann. Denn unter den oben erwähnten Bedingungen ist der Austausch von Materie über die Grenzen des Systems gering im Vergleich zu der innerhalb des Systems im Kreislauf von gelöster zu partikulärer zu gelöster Phase befindlicher Materie. Dies bedeutet zwangsläufig, daß der Anteil an regenerierter Produktion an der Gesamtproduktion in dieser Jahreszeit größer ist als z.B. im Frühjahr, auch wenn die ständige Zufuhr von Nährsalzen aus den anoxischen Sedimenten und durch die Schwentine weiterhin den Anteil an neuer Produktion vermutlich weit über dem in der Kieler Bucht bleiben läßt.

Die Folge ist eine ständige Biomasseakkumulation, die nur durch drastisch verschlechterte Lichtbedingungen (1 % Lichttiefe im Sommer meist ≤ 8 m) und durch Wachstumslimitierung infolge des Mangels an einem nicht ständig zufließenden Nährsalz (Silikatkonzentrationen Ende Mai und Anfang August nahe Null) unterbrochen wird. Die geringe Eindringtiefe des Lichtes ist mit Sicherheit eine Folge der in der Förde erhöhten Turbulenz und des Eintrags von Trübstoffen durch die Schwentine (bei Station 3 sind die Secchitiefenwerte oft niedriger als in der Förde), auch die Staubfracht im diskontinuierlichen Regenwassereintrag dürfte hier eine Rolle spielen. In der Zeit der Dinoflagellaten-Dominanz liegt der Grund für eine Wachstumshemmung in größeren Tiefen wahrscheinlich auch in einer Selbstbeschattung der Organismen. Besonders um die Mittagszeit bilden Dinoflagellaten oft eine vergleichsweise dünne aber dichte Zellschicht direkt unter der Oberfläche. Für Prorocentrum minimum ist dies gut dokumentiert bei Tyler & Seliger (1981) und Kimor et al. (1985).

Der starke Rückgang der Primärproduktion zwischen Juni und September 1984 schon in 5 m Tiefe auf nur rund 6 % der Oberflächenwerte ist die Folge dieser geringen Eindringtiefe des Lichtes. Sie ist schon von Probst (1977) und Moigis (1983) beschrieben worden. Sie wird hier bestätigt. Die abgeschätzte Jahresproduktion von knapp $200 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ für 1984 liegt allerdings weit unter dem von Moigis (1983) für dieselbe Station angegebenen Wert von $371 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Diese große Diskrepanz kommt wahrscheinlich dadurch zustande, daß Moigis zur Berechnung der Tagesproduktion die Tageslänge gemäß DHI-Tabelle Nr. 2117 heranzog, während ich die tatsächliche Einstrahlung am Inkubationstag zugrunde legte. Besonders in einem einstrahlungsarmen Sommer wie 1984 ergeben sich geringere Produktionswerte, als bei den aus Tageslichtlängen berechneten. Der von Probst (1977) für eine etwas weiter nördlich gelegene Station angegebene Wert von $200 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ stimmt mit dem hier abgeschätzten dagegen gut überein.

Meines Erachtens muß man davon ausgehen, daß die Produktivität (in $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in der eutrophierten Kieler Förde zwar weit über der in der Kieler Bucht liegt, die Jahresproduktion an Phytoplanktonkohlenstoff aber nur wenig höher ist, als in der Kieler Bucht, da die euphotische Zone hier ca. 20 m, dort aber nur rund 5 m beträgt. Die Folge ist eine nicht vollständige Nutzung der im Sommer zur Verfügung stehenden Nährsalze. Der Überschuß, der konservative Teil also, wird mit dem Wasseraustausch in die Kieler Bucht transportiert und ist dort

neben dem atmosphärischen Eintrag und dem Beitrag der Sedimente für die im Laufe des Sommers nachgewiesene leichte Biomasseakkumulation im Phytoplankton (Smetacek et al., 1984) verantwortlich. Dieser Verlust an Materie durch die Friedrichsorter Enge im oberflächennahen Ausstrom gilt nur für die gelösten Bestandteile und die Partikel, die sich schwebend im Wasser halten können. Partikel mit einer Nettosinkrate werden, auch wenn sie die Friedrichsorter Enge in Richtung Norden passieren, mit dem bodennahen Einstrom wieder in die Förde transportiert.

Anhand der folgenden Modellvorstellung läßt sich das für drei Partikel mit unterschiedlicher Sinkgeschwindigkeit kurz erläutern: Partikel 1 (P1) sinke mit 2 m/Tag, Partikel 2 (P2) sinke mit 5 m/Tag und Partikel 3 (P3) sinke mit 7 m/Tag. Eine Sprungschicht soll sich in 6 - 8 m Tiefe befinden mit dem Maximum der Änderung des Dichtegradien-ten in 7 m Tiefe. Nimmt man jetzt modellhaft einen über einen längeren Zeitraum konstanten Ausstrom mit 5 cm/s an der Oberfläche an, dann legt ein Wasserteilchen die Strecke zwischen dem IfM und dem Kieler Leuchtturm (23 km) in rund 5 Tagen und 8 Stunden zurück. Strömungsstillstand oder -umkehr (Gezeiteneinfluß) verzögert den Netto-seewärtstransport. Der am langsamsten sinkende Partikel P1 benötigt nur 3 Tage 12 Stunden um bis zur Sprungschicht in 7 m Tiefe zu gelangen, was einer horizontalen Verdriftung von rund 15 km (IfM - Station 6) entspricht. Die Partikel P2 und P3 sind schon nach 6,0 bzw. 4,3 km an der Sprungschicht angekommen. Von da an werden sie wieder mit der bodennahen Strömung in südliche Richtung transportiert. Also auch für einen Partikel, der zeitweise die Kieler Innenförde verlassen hat, ist die Wahrscheinlichkeit groß wieder in diese zurück transportiert zu werden, um dort das Sediment zu erreichen. So führt das vorherrschende Strömungssystem zu einer Selbstanreicherung der Kieler Förde mit den in ihr produzierten Partikeln, die entweder direkt zu Boden sinken oder über den "Umweg" Außenförde in das Sediment der Förde eingebracht werden.

Die Bedeutung des Bodenstromes für die Verteilung von (organischer) Materie ist bei Kögler & Ulrich (1985) besonders deutlich nachgewiesen. Sie beschreiben den Gehalt an organischem Kohlenstoff (C org.) im Sediment. Dabei weist der Boden am Westrand der Friedrichsorter Enge, also dort, wo aufgrund der Querschnittsverengung höhere Strömungsgeschwindigkeiten des Bodenstromes zu erwarten sind, einen geringeren Gehalt an C org. auf als der Ostrand. Südlich dieser

Passage, in der Erweiterung der Förde vor dem NOK (Wiker Bucht), wo die Strömungsgeschwindigkeiten wieder geringer werden, lagert sich die Partikelfracht ab: die Gehalte an C org. sind hier deutlich höher, als in den am Ostrand der Förde gelegenen Sedimenten. Diese Rechtsauslenkung der Bodenstromes nach seinem Eintritt in die Innenförde ist eine Folge der Corioliskraft und wird schon durch Karsten (1896) bestätigt, der eine Verfrachtung von in der Holtener Bucht versenktem Baggergut in die südlichen Bereiche der Innenförde und die daraus resultierende Verflachung des Kieler Hafens beschreibt.

Eine solche Verflachung infolge des lateralen Eintrags terrigenen Materials und der autochthonen Bildung biogenen Materials, welches im Ästuarbereich sedimentiert, ist eines der Stadien auf dem "Lebensweg" von Ästuaren. Das Ende dieser Entwicklung ist i.a. die völlige Verlandung der Bucht. Der auf dem Sediment der Kieler Förde im Vergleich zur Kieler Bucht erhöhte Anteil an organischem Kohlenstoff (Kögler & Ulrich, 1985) deutet auf einen höheren Anteil biogenen Materials am Export aus der Wassersäule ins Sediment hin. Über geologische Zeiträume führt dies, verbunden mit einer nicht quantitativen Remineralisierung dieses Materials (Balzer et al., im Druck), zur Bildung von Lagerstätten fossiler Brennstoffe. Flußmündungsgebiete, Ästuar und Buchten (rezente wie fossile) sind daher bei der Suche nach Erdöl und Erdgas besonders vielversprechende Gebiete (H. Weiler, Geol. Landesamt Rheinld.-Pfalz, pers. Mittlg.).

Für die Kieler Förde ist in diesem Zusammenhang die biologische Reaktion im Pelagial auf die Energie- (Turbulenz u. Einstrahlung) und die Materiezufuhr (Nährsalze und terrigenes Material) von außen wichtig. Zum einen wird das Nährsalz "signal" der Schwentine nicht unverändert an die Kieler Bucht weitergegeben, wobei die "Modulation" dieses Signals im Sommer bedeutend größer ist als im Winter und im frühen Frühjahr, zum anderen formt das Phytoplankton der Innenförde aus Energie- und Materiezufuhr sein eigenes spezifisches Signal, daß dem Ökosystem Kieler Förde während der Vegetationsperiode (bes. im Sommer) ein von der Kieler Bucht deutlich unterschiedenes Aussehen gibt und diese beeinflußt. Sei es durch den auch im Sommer erfolgenden Nährsalztransport (konservativer Nährs.) in die Bucht oder durch den Transport von partikulärer Materie, wie Phytoplanktonzellen. Denn bei dem oben beschriebenen Transportmodell von Partikeln mit einer Nettosinkrate kann man nicht von einer quantitativen Rückverfrachtung in die Förde ausgehen. Es wird daher zu einem gewissen Export in die

Kieler Bucht kommen. Das Auftreten von Grünalgen der Gattung *Scenedesmus* auf den Außenstationen ist ein Hinweis darauf. Angaben über den Anteil der exportierten Menge an der in der Innenförde produzierten Phytoplanktonbiomasse lassen sich bisher nicht machen. Nixon & Pilson (1984) berichten von knapp einem Viertel der Jahresproduktion, das aus der Narragansett Bay auf den ostamerikanischen Schelf exportiert wird. Dieser Mittelwert ist mit Sicherheit großen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. So dürfte für die Kieler Innenförde abgesehen von kurzfristigen Austauschereignissen der Export im Sommer deutlich geringer sein als im Frühjahr. Daher kommt im Sommer dem Nahrungsgefüge der Innenförde bei der Ausformung des Erscheinungsbildes des Ökosystems im Pelagial und damit der Grundlage für die Besonderheiten der Innenförde große Bedeutung zu. Ein Hinweis darauf ist das hohe N:P Verhältnis in der partikulären organischen Phase im Vergleich zum N:P Verhältnis der Nährsalze, das auf einem hohen pelagischen Stickstoffumsatz schließen läßt (Imburger et al., 1983).

Zusammenfassend läßt sich die Kieler Innenförde aufgrund der in ihr auf quantitativ hohem Niveau ablaufenden biologischen Vorgänge und vor dem Hintergrund deutlich geringerer Konzentrationen im anorganisch gelösten wie im organisch partikulären in der Außenförde und der offenen Kieler Bucht als "Filter" beschreiben, daher wird eine eutrophierende Wirkung der von Land zufließenden Nährsalze dann größtenteils auf die Innenförde beschränkt bleiben, wenn eine Aufnahme durch das Phytoplankton stattfindet. Außerhalb der Vegetationsperiode eingetragene Nährsalze werden in die Kieler Bucht verfrachtet.

Unter biologischen Gesichtspunkten läßt sich die Kieler Förde also als ein System charakterisieren, daß unter dem Aufbau hoher, zeitweise sehr hoher, Biomassen zu Beginn der Vegetationsperiode das gleiche Sukzessionsmuster zeigt, wie die Kieler Bucht. Dies gilt einschließlich der relativ kurzen Phase geringer Biomassen und der Dominanz der Nanoflagellaten direkt im Anschluß an die Frühjahrsblüte im April. Danach aber entwickeln sich Kieler Bucht und Innenförde bezüglich Artenzusammensetzung und Biomasseakkumulation immer weiter auseinander. Verminderter Wasseraustausch mit der Bucht und fortgesetzter Zustrom neuer Nährsalze von Land in die Förde sind hierfür die auslösenden Faktoren. In einem windreichen einstrahlungsarmen Sommer wie 1984 findet die ubiquitäre und opportunistische Diatomee Skeletonema costatum die besten Lebensbedingungen. Zwei voneinander unabhängige Faktoren, die zumindest im Jahr 1984 gleichzeitig auftra-

ten (Si-Mangel u. Einstrahlungsmaximum), führen zu einer drastischen Änderung im Artenspektrum des Phytoplanktons und unter Umständen zum Auftreten von "red tides", gebildet durch kleine Dinoflagellaten. Dieser Wechsel von Diatomeen zu Dinoflagellaten kann in der Förde sehr schnell sein, während er in der Kieler Bucht im Verlauf des Sommers allmählich erfolgt und zu einer Herbstblüte großer, langsam wachsender Dinoflagellaten führt. Die Ausbildung eines mehr oder weniger in sich geschlossenen Ökosystems, dessen definitorische Grenzen mit den geographischen Grenzen der Innenförde zusammenfallen, bildet für zukünftige Arbeiten bezüglich der Regeneration von Nährsalzen und der Quantifizierung von Sedimentation und Export einen hervorragenden Ausgangspunkt.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- ADACHI, R., 1972: A taxonomical study of the red tide organisms. J. Fac. Fish., Prefect Univ. Mie Tsu 9: 9-145.
- ANDERSON, D.M. und F.M.M. MOREL, 1978: The seeding of two red tide blooms by the germination of benthic Gonyaulax tamarensis hypnocysts. Est. Coast. Mar. Sci. 8: 279-293.
- ANDERSON, D.M., D.G. AUBREY, M.A. TYLER und D.W. COATS, 1982: Vertical and horizontal distributions of dinoflagellate cysts in sediments. Limnol. Oceanogr. 27: 757-765.
- ANON., 1985: Der Fremdenverkehr in den Gemeinden Schleswig-Holsteins 1984, in: Statistische Berichte des Statistischen Landesamtes Schleswig-Holstein, 39 pp.
- BABENERD, B., 1980: Untersuchungen zur Produktionsbiologie des Planktons in der Kieler Bucht. Diss. Univ. Kiel, 226 pp.
- BABENERD, B. und B. ZEITZSCHEL, 1985: Trends für eintragsrelevante Faktoren und für Nährsalzkonzentrationen im Wasser der Kieler Bucht. Ber. Inst. Meeresk. Nr. 148: 45 pp.
- BALTIC SEA ENVIRONMENT PROCEEDINGS No. 9, 1982: Second biological intercalibration workshop, 95 pp.
- BALZER, W., 1984: Organic matter degradation and biogenic element cycling in a near-shore sediment. Limnol. Oceanogr. 29: 1231-1246.
- BALZER, W., F. POLLEHNE und H. ERLLENKEUSER, in press: Degradation and accumulation of organic material along a transect from sandy to organic-rich sediments, in: P.G. Sly (ed.), Freshwater sediment interactions. Proc. 3rd Int. Symp. Interact Sedim. Wat., Geneve Suisse, 28.08.1984.
- BANSEMIER, K. und G. RHEINHEIMER, 1974: Bakteriologische Untersuchungen über die Bildung vom Schwefelwasserstoff in einer Vertiefung der inneren Kieler Förde. Kieler Meeresforsch. 30: 91-98.
- BIENFANG, P.K., 1975: Steady state analysis of nitrate-ammonium assimilation by phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 20: 402-411.
- BIENFANG, P.K., P.J. HARRISON und L.M. QUARMBY, 1982: Sinking rate response to depletion of nitrate, phosphate and silicate in four marine diatoms. Mar. Biol. 67: 295-302.
- BIRNHAK, B. und W. FARROW, 1965: Exuviella mariae-lebouriae n.sp. Parke und Ballantine. Florida Bd. Cons. Leaflet Series. Plankton 1 (10): 1-4.

- BODUNGEN, B. von, 1975: Der Jahresgang der Nährsalze und der Primärproduktion des Planktons in der Kieler Bucht unter Berücksichtigung der Hydrographie. Diss. Univ. Kiel, 116 pp.
- BODUNGEN, B. von, in press: Annual cycles of nutrients in a shallow inshore area, Kiel Bight. Variability and trends. *Ophelia* Supplement 5.
- BRANDHORST, W., 1955: Über Laichen und Aufwuchs des Frühjahrherings im Nord-Ostsee-Kanal unter besonderer Berücksichtigung seiner Hydrographie. Diss. Univ. Kiel, 115 pp.
- BRANDT, K., 1916/20: Über den Stoffwechsel im Meer. 3. Abhandlung. *Wissensch. Meeresunters. N.F.* 18: 185-430.
- BROGMUS, W., 1952: Eine Revision des Wasserhaushaltes der Ostsee. Diss. Univ. Kiel, 103 pp., XXXI Anhang.
- BURSA, A., 1959: The genus Prorocentrum Ehrenberg. Morphodynamics, protoplasmatic structures, and taxonomy. *Canadian J. Bot.* 37: 1-31.
- BUSCH, W., 1917: Über das Plankton der Kieler Förde im Jahr 1912/1913. I. Teil. *Wissensch. Meeresunters. N.F.* 18: 25-144.
- CAMERON, W.M. und D.W. PRITCHARD, 1963: Estuaries, in: M.N. Hill (ed.), *The Sea*, Vol. II, Nr. 4. London, Interscience Publ.: 306-324.
- CONWAY, H.L., P.J. HARRISON und C.O. DAVIS, 1976: Marine diatoms grown in chemostats under silicate or ammonium limitation. II. Transient response of Skelettonema costatum to single addition of the limiting nutrient. *Mar. Biol.* 35: 187-199.
- CZYTRICH, H., 1985: Wechselwirkungen zwischen Pelagial und Benthos während der Herbstblüte in der Kieler Bucht: Biochemische Zusammensetzung des Sestons und des Oberflächensediments. Dipl. Arb. Univ. Kiel, 93 pp.
- DALE, B., 1983: Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton", in: G.A. Fryxell (ed.), *Survival strategies of the algae*. Cambridge Univ. Press, 69-136.
- DERENBACH, J., 1969: Zur Homogenisation des Phytoplanktons für die Chlorophyllbestimmung. *Kieler Meeresforsch.* 25: 166-171.
- DIETRICH, G., 1951: Oberflächenströmungen im Kattegat, im Sund und in der Beltsee. *Dt. Hydrogr. Z.* 4: 129-150.
- DODGE, J.D., 1982: *Marine dinoflagellates of the British Isles*. H.M. Stationary Office, London.
- DODGE, J.D., 1983: Dinoflagellates: investigation and phylogenetic speculation. *Br. Phycol.* 18: 335-356.
- DORTCH, F.Q., 1980: Nitrate and ammonium uptake and assimilation in three marine diatoms. Ph. D. Thesis Univ. Washington, 299 pp.

- DUGDALE, R.C. und J.J. GOERING, 1967: Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnol. Oceanogr.* 12: 196-206.
- DYER, K.R., 1973: *Estuaries: A physical introduction*. J.Wiley & Sons, London 140 pp.
- EDLER, L., 1979: Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. *Balt. Marine Biolog. Public. No. 5*, 38 pp.
- EDLER, L., G. AERTEBJERG-NIELSEN & E. GRANÉLI, 1982: Exceptional plankton blooms in the entrance to the Baltic, the Kattegat and Belt Sea area. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer, C.M.* 2:20, 1-6 mimeograf.
- EPPLEY, R.W., 1981: Autotrophic production of particulate matter, in: A.R. Longhurst (ed.), *Analysis of marine ecosystems*. Acad. Press, N.Y., 343-361.
- EPPLEY, R.W., J.N. ROGERS und J.J. McCARTHY, 1969: Half saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 14: 912-920.
- EPPLEY, R.W. und E.H. RENGER, 1974: Nitrogen assimilation of an oceanic diatom in nitrogen-limited continuous culture. *J. Phycol.* 10: 15-23.
- EPPLEY, R.W., E.H. RENGER und P.R. BETZER, 1983: The residence time of particulate organic carbon in the surface layer of the ocean. *Deep Sea Res.* 30: 311-323.
- EVERSBERG, U., 1985: *Entwicklung und Sedimentation einer Herbstblüte. Umsatz der organischen Substanz im Sediment und Reaktion des Benthos*. Dipl. Arb. Univ. Kiel, 67 pp.
- FAUST, M.A., 1974: Micromorphology of a small dinoflagellate Prorocentrum mariae-lebouriae (Parke and Ballantine) comb.nov. *J. Phycol.* 10: 315-322.
- FAUST, M.A., J.C. SAGER und B.W. MEESON, 1982: Response of Prorocentrum mariae-lebouriae (Dinophyceae) to light of different spectral qualities and irradiances: Growth and pigmentation. *J. Phycol.* 18: 349-356.
- FISCHER, B., 1896: *Untersuchungen über die Verunreinigung des Kieler Hafens*. *Z.f.Hyg. u. Infektionskrankh.* Band XXIII Heft 1: 1-141.
- GIESKES, J. M. T. M., 1968: Some hydrographical observations on salt brine pollution in the Kiel Fjord. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 17: 411-421.
- GOCKE, K. und H.-G. HOPPE, 1977: Determination of organic substances and respiration potential, in: G. Rheinheimer, *Microbial Ecology of a Brackish Water Environment*. Springer Verlag Berlin, 61-70.

- GOEBEL, J., 1985: Die Wachstumsraten verschiedener Ceratienarten in Abhängigkeit von Temperatur und Salzgehalt, Dipl. Arb. Univ. Kiel, 55 pp.
- GRANELI, E. & W. GRANELI, 1984: Eutrophication and dinoflagellate blooms in Swedish coastal waters-possible causes and countermeasures. paper given: Int.Symp.Util.Coast.Ecos., Rio-Grande-Brazil, mimeo.32pp.
- GRANELI, E., L. EDLER, D. GEDZIOROWSKA und U. NYMAN, 1985: Influence of DOM on Prorocentrum minimum (Pavill.) J. Schiller. 3. Int. Conf. Mod. Foss Dinofl. Egham, U.K. mimeograf, 6 pp.
- GRASSHOFF, K. (ed.), 1976: Methods of seawater analysis. Verlag Chemie Weinheim, 317 pp.
- GUILLARD, R.R.L. und M.D. KELLER, 1984: Culturing dinoflagellates, in: D.L. Spector (ed.) Dinoflagellates. Acad. Press, N.Y. 391-442.
- HARDING Jr., L.W., B.W. MEESON und M.A. TYLER, 1983: Photoadaptation and diel periodicity of photosynthesis in the dinoflagellate Prorocentrum mariae-lebouriae. Mar. Ecol.-Progr. Ser. 17: 73-85.
- HONSELL, G. und L. TALARICO, 1985: The importance of flagellar arrangement and insertion in the interpretation of the theca of Prorocentrum (Dinophyceae), Bot. Mar. XXVIII: 15-21.
- HULBURT, E.M., 1965: Three closely allied dinoflagellates. J. Phycol. 1: 95-96.
- IMBURGER, J. u.a., 1983: The influence of water motion on the distribution and transport of materials in a salt marsh estuary. Limnol. Oceanogr. 28: 201-214.
- JEFFREY, S.W. und G.F. HUMPHREY, 1975: New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochem. Physiol. Pflanzen 167: 191-194.
- KÄNDLER, R., 1952: Hydrographische Untersuchungen zum Abwasserproblem in den Buchten und Förden der Ostseeküste Schleswig-Holsteins. Kieler Meeresforsch. 9: 176-200.
- KÄNDLER, R., 1959: Hydrographische Beobachtungen in der Kieler Förde 1952-1957. Kieler Meeresforsch. 15: 145-156.
- KARSTEN, G., 1896: Die physikalischen Beobachtungen an den Stationen mit 3 in den Text gedruckten Abbildungen. Wissenschaftl. Meeresuntersuchungen N.F. Band I: 145-180.
- KARSTEN, G., 1898: Formänderungen von Skeletonema costatum (Grev.) Grun und ihre Abhängigkeit von äußeren Faktoren. Wiss. Meeresunters. 3: 6-14.

- KAT, M., 1979: The occurrence of *Prorocentrum* species and coincidental gastrointestinal illness of mussel consumers, in: D.L. Taylor und H.H. Seliger, Proc. 2nd Int. Conf. on Toxic Dinofl. Blooms. Elsevier, North Holland, N.Y., 215-220.
- KENNEDY, V.S. (ed.) 1984: The estuary as a filter. Academic Press, N.Y., 511 pp.
- KIMOR, B., A.G. MOIGIS, V. DOHMS und C. STIENEN, 1985: A case of mass occurrence of *Prorocentrum minimum* in the Kiel Fjord. Mar. Ecol.-Progr. Ser. 27: 209-215.
- KÜGLER, F.C. und J. ULRICH, 1985: Bodengestalt und Sediment der Kieler Förde. Schr. Naturwiss. Ver. Schleswig-Holstein 55: 1-33.
- KOTHE, P. und J. SINDERN, 1972: Die Verbreitung des Makro-Zoobenthos im Nord-Ostsee-Kanal und ihre Abhängigkeit vom Salzgehalt. Dt. Gewässerkd. Mittlg. 16: 159-163.
- KREY, J., 1942: Nährstoff- und Chlorophylluntersuchungen in der Kieler Förde 1939. Kieler Meeresforsch. Band IV: 1-17.
- KRUG, J., 1963: Erneuerung des Wassers in der Kieler Bucht im Verlaufe eines Jahres am Beispiel 1960/61. Kieler Meeresforsch. XIX: 158-174.
- KUHLGATZ, 1898: Untersuchungen über die Fauna der Schwentinemündung. Wiss. Meeresunters. Kiel, N.F. III: 91-155.
- LACKEY, J.B., 1967: The microbiota of estuaries and their roles, in: G.H. Lauff, Estuaries. Am. Ass. Advanc. Sci. Washington, 291-305.
- LANDESAMT FÜR WASSERHAUSHALT UND KÜSTEN, Kiel, 1981: Gütelängsschnitt Schwentine, 57 pp.
- LANDESAMT FÜR WASSERHAUSHALT UND KÜSTEN, 1984: Gütelängsschnitt im Einzugsgebiet der Schwentine, 70 pp.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN, 1983: Statistische Grunddaten aus der Agrarwirtschaft, 72 pp.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN, 1984: Statistische Grunddaten aus der Agrarwirtschaft, 72 pp.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN; 1985: Statistische Grunddaten aus der Agrarwirtschaft, 74 pp.
- LANGELAND, G., T. HASSELGARD, K. TANGEN, O.M. SKULBERG und A. HJELLE, 1984: An outbreak of paralytic shellfish poisoning in western Norway. *Sarsia* 69: 185-193.
- LAUFF, G.H. (ed.), 1967: Estuaries. Am. Ass. Advanc. Sci., 757 pp.
- LENZ, J., 1977a: Hydrographic conditions, in: G. Rheinheimer (ed.), Microbial Ecology of a Brackish Water Environment. Springer Verlag, Berlin. N.Y., 12-25.

- LENZ, J., 1977b: Plankton populations, in: G. Rheinheimer (ed.), Microbial Ecology of a Brackish Water Environment. Springer Verlag, Berlin, N.Y. 79-89.
- LINDAHL, O., 1984: Transport of the dinoflagellate Gyrodinium aureolum to the Swedish West coast. ICES special meeting on the causes, dynamics and effects of exceptional marine blooms and related events, 6 pp.
- LOEBLICH III, A.R. und L.A. LOEBLICH, 1984: Dinoflagellate cysts, in: D.L. Spector (ed.), Dinoflagellates. Academic Press. N.Y.: 444-480.
- LOHMANN, H., 1908: Untersuchung zur Feststellung des vollständigen Gehaltes des Meeres an Plankton. Wiss. Meeresunters. N.F. 10: 131-370.
- MACISAAC, J.J. und R.C. DUGDALE, 1969: The kinetics of nitrate and ammonium uptake by natural populations of marine phytoplankton. Deep Sea Res. 16: 47-57.
- MACISAAC, J.J. und R.C. DUGDALE, 1972: Interactions of light and inorganic nitrogen in controlling nitrogen uptake in the sea. Deep-Sea Res. 19: 209-232.
- MAGAARD, L., 1974: Wasserstandsschwankungen und Seegang, in: L. Magaard & G. Rheinheimer (eds.) Meereskunde der Ostsee, Springer Verl. Berlin, 67-75.
- MANDELLI, E.F., P.R. BURKHOLDER, T.E. DOHENY & R. BRODY, 1970: Studies of primary productivity in coastal waters of southern Long Island, New York, Mar. Biol. 7: 153-160.
- MAPLES, R.S., M.D. CRUZE und R. DONAHOE III, 1983: Observations on "red tide" organisms in coastal waters of south western Louisiana. Northeast Gulf Sci. 6: 157-160.
- MARGALEF; R., 1978: Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. Oceanol. Acta 1: 493-509.
- MARTIN, G.W., 1929a: Three new dinoflagellates from New Jersey. Botanical Gazette 87: 556-558.
- MARTIN, G.W., 1929b: Dinoflagellates from marine and brackish waters of New Jersey. Univ. Iowa, Stud. Nat. Hist. 12: 1-32.
- MEYER-REIL, L.-A., M. BÖLTER, G. LIEBEZEIT und W. SCHRAMM, 1979: Short term variations in microbiological and chemical parameters. Mar. Ecol. Progr. Ser. 1: 1-6.
- MOIGIS, A.G., 1983: Zur Größenstruktur und Ökologie des Phytoplanktons in der Kieler Förde unter dem besonderen Aspekt einer möglichen Ölverschmutzung. Diss. Univ. Kiel, 171 pp.

- MOW-ROBINSON, J.M. und G. RHEINHEIMER, 1985: Comparison of bacterial populations from the Kiel Fjord in relation to the presence or absence of benthic vegetation. *Botanica Marina* 28: 29-39.
- NAKAZIMA, M., 1965: Studies on the source of shellfish poison in lake Hamana. I. Relation of the abundance of the species of dinoflagellata, Prorocentrum sp. to shellfish toxicity. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 31: 198-203.
- NAKAZIMA, M., 1968: Studies on the sources of shellfish poison in lake Hamana IV. Identifikation and collection of the noxious dinoflagellate. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 34: 130-132.
- NIXON, S.W. und M.E.Q. PILSON, 1984: Estuarine total system metabolism and organic exchange calculated from nutrient ratios: an example from Narragansett Bay, in: V.S. Kennedy, *The Estuary as a Filter*, Acad. Press, N.Y., 261-290.
- NÖTHIG, E.-M., 1984: Experimentelle Untersuchungen an natürlichen Planktonpopulationen unter besonderer Berücksichtigung heterotropher Organismen. *Dipl.-Arb., Univ. Kiel*, 108 pp.
- NOJI, T., 1985: Interaction between the pelagial and the benthic during the fall bloom in Kiel Bight, phytoplankton-zooplankton relationship. *Dipl.-Arb. Univ. Kiel*, 85 pp.
- ÖSTRÖM, B., 1976: Fertilization of the Baltic by nitrogen fixation in the blue-green algae Nodularia spumigena. *Remote Sensing Environm.* 4: 305-310.
- OHL, H., 1959: Temperatur- und Salzgehaltsmessung an der Oberfläche des Kieler Hafens in den Jahren 1952 bis 1957. *Kieler Meeresforsch.* 15: 157-160.
- OKAICHI, T. und Y. IMATOMI, 1979: Toxicity of Prorocentrum minimum var. mariae-lebouriae assumed to be a causative agent of short-necked clam poisoning, in: D.L. Taylor und H.H. Seliger (eds.), *Proc. 2nd. Int. Conf. on Toxic Dinofl. Blooms*, Elsevier/North-Holland, 385-388.
- PAASCHE, E. und S. KRISTIANSEN, 1982: Nitrogen nutrition of the phytoplankton in the Oslofjord. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 14: 237-249.
- PAASCHE, E., I. BRYCESON und K. TANGEN, 1984: Interspecific variation in dark nitrogen uptake by dinoflagellates. *J. Phycol.* 20: 394-401.
- PALMGREN, U., 1981: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Bakterienpopulation von abiotischen und biotischen Parametern in einem Brackwassergebiet. *Diss. Univ. Kiel*, 102 pp.
- PARKE, M. und D. BALLANTINE, 1957: A new marine dinoflagellate: Exuviella mariae-lebouriae n. sp. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 36: 643-650.

- PASSOW, U., 1985: Wechselwirkungen zwischen Pelagial und Benthos während der Herbstblüte in der Kieler Bucht: Hydrographie, Phytoplanktonzusammensetzung und Primärproduktion. Dipl.-Arb. Univ. Kiel, 95 pp.
- PAVILLARD; J., 1916: Recherches sur les pérediniens du Golfe du Lion. Trav. Inst. Bot. Univ. Montpellier série mixte mem. 4: 9-70.
- PEDERSEN, S.M., 1983: Udbredelsen af Prorocentrum minimum i Danske farvande i August 1983. Rapport til Miljøstyrelsen Havforvnings Laboratorium. Marine Identification Agency APS, Skodsborg, 7 pp.
- PEINERT, R., 1985: Saisonale und regionale Aspekte der Produktion und Sedimentation von Partikeln im Meer. Diss. Univ. Kiel, 105 pp.
- PEINERT, R., A. SAURE, P. STEGMANN, C. STIENEN, H. HAARDT und V. SMETACEK, 1982: Dynamics of primary production and sedimentation in a coastal ecosystem. Neth. J. of Sea Res. 16: 276-289.
- PERRY, H.M. und J.A. McLELLAND, 1981: First recorded observence of the dinoflagellate Prorocentrum minimum (Pavillard) Schiller 1933, in Mississippi sound and adjacent waters. Gulf Res. Rep. 7: 83-85.
- RHEINHEIMER, G. (ed.), 1977: Microbial Ecology of a Brackish Water Environment, Springer Verl., Berlin, New York, 291 pp.
- PINGREE, R.D., P.R. PUGH, P.M. HOLLIGAN und G.R. FORSTER, 1975: Summer phytoplankton blooms and red tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. Nature 258: 672-677.
- PINGREE, R.D., P.M. HOLLIGAN, G.T. MARDELL und R.N. HEAD, 1976: The influence of physical stability on spring, summer and autumn phytoplankton blooms in the Celtic Sea. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 56: 845-873.
- PINGREE, R.D., P.M. HOLLIGAN und R.N. HEAD, 1977: Survival of dinoflagellate blooms in the western English Channel. Nature 265: 266-269.
- PRITCHARD, D.W., 1955: Estuarine circulation patterns. Proc. Am. Soc. Civil. Engineers 81: 717/1-717/11.
- PRITCHARD, D.W., 1967: What is an estuary: Physical viewpoint, in: G.H. Lauff (ed.), Estuaries. Am. Ass. Adv. Sci. Pub. No. 83, Wash. D.C., 3-5.
- PROBST, B., 1977: Primary production, in: G. Rheinheimer (ed.) Microbial Ecology of a Brackish Water Environment. Springer Verlag Berlin: 71-78.
- RAYMONT, J.E., 1980: Plankton and productivity in the sea. Vol. 1, Phytoplankton, Pergamon Press, 489 pp.
- REDFIELD, A.L., B. KETCHUM und F.A. RICHARDS, 1963: The influence of organisms on the composition of sea water, in: M.N. Hill (ed.), The Sea. Wiley N.Y., 26-77.

- REIMERS, T., 1976: Anoxische Lebensräume: Struktur und Entwicklung der Mikrobiözönose an der Grenzfläche Meer/Meeresboden. Rep. Nr. 20, SFB 95 Univ. Kiel, 134 pp.
- RHEINHEIMER, G., (ed.), 1977: Microbial ecology of a brackish water environment. Springer Verl., Berlin, New York, 291 pp.
- RICHARDSON, K., M.F. LAVIN-PEREGRINA, G.G. MITCHELSON und J.H. SIMPSON, 1985: Seasonal distribution of chlorophylls in relation to physical structure in the western Irish Sea. *Oceanol. Acta* 8: 77-86.
- RILEY, G.A., 1967: The plankton of estuaries, in G.H. Lauff: Estuaries. Am. Ass. Advanc. Sci. Washington, 316-326.
- RINNE, I., T. MELVASAGLO, A. NIEMI und L. NIEMISTÖ, 1978: Nitrogen fixation by blue-green algae in the Baltic Sea. *Kieler Meeresforsch. Sonderh.* 4: 178-187.
- RODHE, H., R. SÖDERLUND und J. EKSTEDT, 1980: Deposition of airborne pollutants on the Baltic. *Ambio* 9: 168-173.
- SAKSHAUG, E., E. GRANÉLI, M. ELBRÄCHTER und H. KAYSER, 1984: Chemical composition and alkaline phosphatase activity of nutrient-saturated and P-deficient cells of four marine dinoflagellates. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 77: 241-254.
- SCHILLER, J., 1918: Über neue Procoenocentrum- und Exuviella-Arten. *Arch. f. Prot.* 38: 250.
- SCHÖNE, H.K., 1977: Die Vermehrungsrate mariner Planktondiatomeen als Parameter in der Ökosystemanalyse. Habil. Schrift TH Aachen, 323 pp.
- SCHNEIDER, G., 1985: Zur ökologischen Rolle der Ohrenqualle (Aurelia aurita Lam.) im Pelagial der Kieler Bucht. Diss. Univ. Kiel, 110 pp.
- SCHNEIDER, H.G., 1984/85: Auf der Suche nach dem molekularen Mechanismus der circadianen Uhr, in H. von Dittfurth (Hrsg.). *Mannheimer Forum*: 115-171.
- SELIGER, H.H., M.E. LOFTUS und D.V. SUBBARAO, 1975: Dinoflagellates accumulations in Chesapeake Bay, in: V.R. LoCicero (ed.), *Proc. 1st Int. Conf. on Toxic Dinofl. Blooms*, Mass. Sci. Techn. Found.: 181-205.
- SHIMIZU, Y., 1978: Dinoflagellate toxins, in: P.J. Scheuer, *Marine Natural Products, chemical and biological perspectives*. Acad. Press, N.Y.: 1-42.
- SMETACEK, V., 1975: Die Sukzession des Phytoplankton in der westlichen Kieler Bucht. Diss. Univ. Kiel, 151 pp.
- SMETACEK, V., 1980: Annual cycle of sedimentation in relation to plankton ecology in Western Kiel Bight. *Ophelia Suppl.* 1, 65-76.
- SMETACEK, V., 1985a: Role of sinking in diatom life-history cycles: Ecological, evolutionary and geological significance. *Mar. Biol.* 84: 239-251.

- SMETACEK, V., 1985b: The annual cycle of Kiel Bight plankton: A long term analysis. *Estuaries* 8: 145-157.
- SMETACEK, V., B. von BODUNGEN, B. KNOPPERS, R. PEINERT, F. POLLEHNE, P. STEGMANN und B. ZEITZSCHEL, 1984: Seasonal stages characterizing the annual cycle of an inshore pelagic system. *Rapp. P.-v. Reün. Cons. Int. Explor. Mer* 183: 126-135.
- SOMMER, H. und K.F. MEYER, 1937: Paralytic shell fish poisoning. *Arch. Path.* 24: 560.
- STEGMANN, P. und R. PEINERT, 1984: Interrelationship between herbivorous zooplankton and phytoplankton and their effect on production and sedimentation of organic matter in Kiel Bight. *Limnologica* 15, 487-495.
- STEIDINGER, K.A., 1975: Basic factors influencing red tides, in: V.R. Lo Cicero (ed.), *Proc. 1st Int. Conf. on Toxic Dinofl. Blooms*, Mass. Sci. Techn. Found: 153-162.
- STEIDINGER, K.A. und E.R. COX, 1980: Free living dinoflagellates, in: E.R. Cox (ed.), *Phytoflagellates*. Elsevier North Holland, N.Y.: 407-432.
- STEIDINGER, K.A. und K. HADDAD, 1981: Biologic and hydrographic aspects of red tides. *BioScience* 31: 814-820.
- STEIDINGER, K.A. und D.G. BADEN, 1984: Toxic marine dinoflagellates, in D.L. Spector (ed.) *Dinoflagellates*. Acad. Press N.Y.: 201-261.
- STOSCH, H.A. von, 1972: La signification cytologique de la "cyclose nucléaire" dans le cycle de vie des Dinoflagelles. *Soc. Bot. Fr., Memoires*, 201 pp.
- STOSCH, von H.A., 1973: Observations on vegetative reproduction and sexual life cycles of two freshwater dinoflagellates. *Br. Phycol. J.* 8: 105-134.
- STRUVE-BLANCK, S., 1982: Die Strömungen in der Kieler Bucht. *Ber. Inst. Meereskunde* 102: 112 pp.
- STUMM, W. und J.O. LECKIE, 1971: Phosphate exchange with sediments: its role in the productivity of surface waters. *Proc. 5th Int. Conf. Water Poll. Res.* III-26/1-16.
- SUZUKI, R. & Y. FUJITA, 1986: Chlorophyll decomposition in Skeletonema costatum: a problem in chlorophyll determination of water samples. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 28: 81-85.
- SYRETT, P.J., 1981: Nitrogen metabolism of microalgae, in T. Platt (ed.), *Physiological bases of phytoplankton ecology*. Dep. Fish. Oceans Ottawa Canada, 182-210.
- TANGEN, K., 1980: Brunt vann i Oslofjorden september 1979 forarsket av den toksiske Prorocentrum minimum og andre dinoflagellater. *Blyttia* 38: 145-158.
- TANGEN, K., 1983: Shellfish poisoning and the occurrence of potentially toxic dinoflagellates in norwegian waters. *Sarsia* 68: 1-7.
- TAYLOR, F.J.R., 1980: On dinoflagellate evolution. *BioSystems* 13: 65-108.

- TORIUMI, S., 1980: *Prorocentrum* species (Dinophyceae) causing red tide in Japanese coastal waters. *Bull. Plankt. Soc. Japan* 27: 105-112.
- TRICK, C.G., P.J. HARRISON und R.J. ANDERSEN, 1981: Extracellular secondary metabolite production by the marine dinoflagellate *Prorocentrum minimum* in culture. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*: 38: 864-867.
- TRICK, C.G., R.J. ANDERSEN, A. GILLAM und P.J. HARRISON, 1983: Prorocentrin: an extracellular siderophore produced by the marine dinoflagellate *Prorocentrum minimum*. *Science* 219: 306-308.
- TYLER, M.A. und H.H. SELIGER, 1978: Annual subsurface transport of a red tide dinoflagellate to its bloom area: Water circulation patterns and organism distribution in Chesapeake Bay. *Limnol.Oceanogr.* 23: 227-246.
- TYLER, M.A. und H.H. SELIGER, 1981: Selection for a red tide organism: Physiological responses to the physical environment. *Limnol.Oceanogr.* 26: 310-324.
- UNESCO (1), 1966: Determination of photosynthetic pigments in the sea water. 66 pp.
- UTERMÖHL, H., 1958: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.* 9: 1-38.
- VISWANATHAN, R., 1960: Salzgehalt, Temperatur und Seston in der Kieler Förde 1956 und 1957. *Kieler Meeresforsch.* 26: 48-56.
- VOIPIO, A., 1981: *The Baltic Sea*, Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam, 418 pp.
- VOLLENWEIDER, R.A., 1975: Input-output models with reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweizerische Zeitschr. f. Hydrologie*, 37: 53-84.
- WALSH, J.J., 1983: Death in the sea: enigmatic phytoplankton losses, in: M.V. Angel und J.J. O'Brien (eds.), *Progress in Oceanography* Vol. 12. Pergamon Press: 1-86.
- WASSERBAUAMT BRUNSBÜTTELKOOG, 1969: Studie über die Entwässerung des Nord-Ostsee-Kanals, 44 pp.
- WATANABE, K., A. HINO und R. HIRANO, 1980: Some observations on 1978 red tide blooms in Shonai estuary, Shizuoka prefecture. *Bull. Plankt. Soc. Japan* 27: 87-98.
- WEISSE, T., 1985: Die Biomasse und Stoffwechselaktivität des Mikro- und Mesozooplanktons in der Ostsee. *Ber. Inst. Meereskd. Kiel* Nr 144, 127 pp.
- WELCH, E.B. und T. LINDELL, 1980: *Ecological effects of waster water*. Cambridge Univ. Press, XII, 337 pp.

- LeB. WILLIAMS, P.J., 1975: Biological and chemical aspects of dissolved organic materials in sea water, in J.P. Riley und G. Skirrow, (eds.) Chemical Oceanography. Acad. Press: 301-363.
- WOLTER, K., 1982: Bacterial incorporation of organic substances released by natural phytoplankton populations. Mar. Ecol. Progr. Ser. 7: 287-295.

Als Bestimmungsliteratur wurden verwendet:

- CAMPHELL, 1973: Studies of brackish water phytoplankton.- University of North Carolina, mimeograf, 18 plates.
- DREBES, G., 1974: Marines Phytoplankton.- G. Thieme Verlag, Stuttgart, 182 pp.
- HASLE, G. R., K. TANGEN & J. THRONSEN, 1979: Planteplankton, Kurs ved avdeling for marin Botanikk, mimeograf, 42 pp.
- HENDEY, I., 1964: An introductory account of the smaller algae of the British coastal waters, part V.: Bacillariophyceae. Her Majesty's stationary office, 317 pp + XLV plates.
- HUBER-PESTALOZZI, G., 1938. Das Phytoplankton des Süßwassers. In A. Thienemann (Hrsg.), Die Binnengewässer, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, Band XVI, Teile 1 - 4.
- HUSTEDT; F., 1930: Die Kieselalgen.- Akad. Verlagsges. Leipzig 1. Teil 920 pp.
- , 1959: Die Kieselalgen.- Akad. Verlagsges. Leipzig 2. Teil 845 pp.
- MASSATI, M. & R. MARGALEF, 1950: Introduccion al estudio del plankton marino.- Barcelona, 182 pp.
- PANKOW, H., 1976: Algenflora der Ostsee.- Fischer Verlag Stuttgart, 493 pp.
- SCHILLER, J., 1933: Dinoflagellaten. In R. Kolkwitz (Hrsg.), Rabenhorst's Kryptogamenflora, Band X, Teil 1, 617 pp.
- , 1937: Dinoflagellaten. In R. Kolkwitz (Hrsg.), Rabenhorst's Kryptogamenflora, Band X, Teil 2, 845 pp.
- Beide Teile: First Reprinting 1971 durch Johnson's Reprinting Corporation, New York, London.

6. Datenanhang

Tab. I-VIII. Analysenergebnisse der Proben der jeweiligen Ausfahrttage zwischen Mai 1983 und Dezember 1984. $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ und der partikuläre Gesamtphosphor (PGP) in $\mu\text{M l}^{-1}$.

Sauerstoff (O_2) in ml l^{-1} . Sauerstoffsättigung (O_2 %) in Prozent.

Chlorophyll a (Chl.a), Phytoplankton-Kohlenstoff (PPC), partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) sowie p.o. Stickstoff (PON) in $\mu\text{g l}^{-1}$.

Tab. IX. Einstrahlung. Tagesmittelwerte in $\text{W m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

Tab. X. Abflußmenge der Schwentine. Tagesmittelwerte an den Ausfahrttagen. Berechnet nach den Daten des Pegels in Preetz.

Tab. XI. Nährsalzkonzentrationen an der Schwentinemündung. Monatsmittelwerte nach Daten des LA-WK.

Tab. XII. Artenliste des Phytoplanktons.

Tab. XIII. Primärproduktion. Berechnet nach Daten der Meßreihe an der IfM-Pier.

Abb. A. Einstrahlung. Tagesmittelwerte in $\text{W m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

Abb. B. Ceratium tripos. Formenbeispiel und Erläuterung der Biomasseberechnung anhand der Formel für ein Viertel eines Rotationsellipsoides.

Text 1. Biomasseberechnung von Ceratium tripos und morphologisch nah verwandten Arten der Gattung Ceratium. Erläuterung der in Kapitel 2.4. "Biomasseberechnung" angegebenen Formel.

Tabelle I

STATION Nr.: 1, Hörn 8-9 m

Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	Σ PO ₄ -P	O ₂	O ₂ °/o	Chl. a	PPC	POC	PON	PGP
Mai	24.	12.42 13.71	0.64 0.63	-	1.32 1.23	2.56 2.32	-	8.15 7.37	246	1234.9 1189.5	192.4 197.0	
	Juni	7.	5.31 1.95	1.34 0.83	6.70 4.30	1.61 0.79	3.00 1.84	-	- 11.85	153	658.7 637.6	121.9 104.4
Juli		28.	2.99 1.83	0.18 0.17	3.59 3.52	1.24 1.00	1.78 1.98	6.06	98.2 17.10		943.4 610.3	157.3 99.5
	Aug.	11.	1.63 0.59	0.36 0.44	6.14 4.20	1.03 1.61	2.90 2.23	3.88	60.7 8.40	662	2909.4 907.1	488.6 135.3
Sept.		25.	5.89 4.23	0.17 0.27	2.60 1.40	1.62 2.25	4.20 2.55	6.60	97.60 112.1	5976	1266.3	201.7
	Okt.	16.	2.03 1.40	0.18 0.15	1.61 1.03	2.16 1.80	4.23 3.47	3.20	53.00	231	911.8 883.6	153.9 157.9
Nov.		23.	2.38 1.87	0.58 0.52	2.90 8.04	2.72 3.48	4.10 4.39	4.17	64.9	250	1242.2 521.7	214.3 88.4
	Dez.	29.	1.16 1.53	0.52 0.31	0.85 2.10	1.93 2.32	5.28 3.24	6.72	106.0	-	3607.0 673.0	556.0 114.0
Jan.		20.	2.70 2.77	0.67 0.60	6.76 4.58	2.78 2.75	2.65 2.65	3.47	52.1	43	605.3 527.5	75.1 60.0
	Febr.	24.	5.74 5.54	0.81 0.64	8.54 7.12	2.28 2.95	2.64 2.95	4.81	67.4	39	437.5 266.4	62.2 29.2
März		15.	5.52 4.55	0.33 0.27	3.08 5.68	1.57 1.73	1.28 1.23	7.04	89.0	41	499.4 328.7	74.5 36.0
	April	17.	9.82 12.22	0.40 0.43	4.41 4.26	2.07 1.95	3.55 3.23	6.79	87.0	-	345.2 340.9	48.3 56.9
Mai		9.	70.30 39.90	0.64 0.51	14.81 8.52	2.13 1.68	2.04 1.98	8.04	95.0	49	451.4 350.3	59.4 39.0
	Juni	23.	76.00 64.10	0.56 0.56	6.99 7.30	2.01 1.93	2.09 2.37	8.15	95.0		394.4 414.7	56.5 64.1
Juli		8.	33.40 27.70	0.69 0.53	7.95 6.19	1.78 1.64	2.19 2.10	8.17	94.0	-	313.4 364.2	34.4 40.2
	Aug.	21.	35.80 29.60	0.63 0.62	3.78 5.12	1.06 1.20	1.76 1.86	8.79	100.0	342	831.5 682.2	152.2 113.0
Sept.		5.	39.80 21.50	0.67 0.43	-	1.31 0.46	-	-	8.76		-	-
	Okt.	10.	21.46 16.88	0.90 0.80	6.04 6.04	0.50 0.56	1.34 5.55	7.94	93.3	44	530.4 394.4	73.3 51.2
Nov.		19.	16.22 12.76	0.91 0.77	1.89 3.94	0.56 0.36	1.60 1.65	8.32	100.9	301	901.2 594.8	164.3 102.4
	Dez.	24.	17.96 15.32	0.80 0.89	20.05 3.32	0.23 0.22	1.03 1.07	8.95	112.0	-	669.1 501.2	105.5 71.1
Jan.		4.	19.35 7.67	0.97 0.66	4.88 10.33	0.42 0.46	1.55 2.09	5.32	62.8	32	778.6 928.3	134.5 187.6
	Febr.	10.	21.99 14.87	1.05 0.37	2.91 8.87	0.42 0.27	1.69 1.12	6.50	83.4	-	1013.1 536.5	182.4 81.7
März		29.	11.57 1.41	1.30 0.82	3.92 11.66	0.50 0.17	2.24 1.31	7.11	107.7	723	818.5 419.6	140.7 67.4
	April	7.	228.0 11.4	2.09 0.47	6.08 5.52	0.49 0.54	1.72 1.96	5.17	74.2	19	464.7 290.9	57.8 53.3
Mai		14.	10.36 5.89	0.61 0.48	8.47 2.43	0.95 0.84	1.64 1.55	4.94	72.1	-	487.7 379.0	68.0 66.1
	Juni	22.	11.07 8.65	1.70 0.94	4.59 8.74	0.69 1.02	1.62 1.86	4.92	73.8	172	1474.6 300.2	179.0 46.7
Juli		6.	5.53 1.35	0.30 0.48	2.23 4.55	0.54 0.38	1.53 1.58	4.58	67.8	-	804.3 348.1	127.1 59.2
	Aug.	10.	21.81 3.40	0.54 0.39	1.55 3.45	0.45 0.82	1.86 1.88	1.18	17.5	238	1091.3 665.7	215.5 109.1
Sept.		12.	4.53 2.79	0.39 0.35	4.28 0.54	1.00 1.28	2.13 2.37	1.97	29.4	-	992.4 544.7	132.2 71.5
	Okt.	16.	4.29 2.39	0.31 0.39	2.09 6.13	0.53 1.23	1.70 2.45	3.89	59.7	493	1040.1 673.2	206.3 103.8
Nov.		20.	0.86 0.74	1.48 0.56	0.72 0.82	0.23 0.56	1.27 2.64	6.55	103.0	402	748.2 354.8	122.3 62.1
	Dez.	26.	2.66 1.58	0.11 0.19	2.55 6.97	0.28 0.80	2.02 2.36	4.33	68.2	1090	791.3 389.7	135.3 53.4
Jan.		2.	7.01 2.21	0.51 0.43	6.30 7.31	1.37 1.88	3.19 3.61	3.69	57.9		598.5 554.6	95.4 90.3
	Febr.	9.	6.84 3.10	0.34 0.47	3.11 11.33	0.52 2.28	2.14 4.57	2.98	47.0	761	1282.5 427.3	233.5 70.4
März		23.	5.49 1.94	1.18 0.49	4.64 11.33	1.30 4.14	3.29 5.12	3.35	55.0	1452	1813.7 408.4	332.4 56.9
	April	28.										
Mai		4.	11.62 3.08	0.34 0.39	7.16 11.24	2.53 6.10	2.71 5.31	1.34	21.0	151	710.9 554.2	86.1 95.3
	Juni	17.	13.55 6.17	0.74 0.38	2.71 5.26	2.06 2.12	4.01 3.01	5.34	83.0	2252	-	-
Juli		17.	9.38 8.92		10.72 8.21	3.17 3.20	3.58 3.87	4.29	65.0	75	413.1 306.5	41.9 41.9
	Aug.	8.	16.47 1.09	1.26 1.03	15.95 12.48	2.54 2.48	3.19 3.19	3.46	51.0	33	400.5 354.3	45.9 41.8
Sept.		22.	2.12 8.43	1.16 1.16	11.47 11.36	2.18 2.14	2.75 2.89	4.99	69.0	-	423.8 403.4	57.8 58.1
	Okt.	18.	7.41 6.06	1.08 0.93	12.59 10.61	2.04 2.05	2.48 2.39	6.60	84.0		653.1 691.3	85.5 111.6

Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	ΣPO ₄ -P	O ₂	O ₂ ‰	Chl. a	PPC	POC	PON	PGP
Mai	11.99	0.49	-	0.71	1.5	-	-	14.03	228	551.4	131.4	
	4.30	0.62	-	1.09	1.2	-	-	0.93		551.4	87.5	
Juni	10.11	1.43	3.43	1.27	2.19			14.02	339	846.4	148.2	
	25.70	0.83	8.39	1.43	1.95			1.01		636.1	106.0	
	1.74	0.14	2.25	0.91	1.47			19.91	-	1002.6	180.5	
	6.32	0.68	7.91	2.85	2.98	1.80	24.0	3.76		434.8	63.2	
Juli	0.65	0.41	6.08	0.83	2.15			15.30	410	2309.8	379.8	0.86
	4.30	0.86	11.30	2.53	2.88	0.93	12.9	1.08		529.7	100.3	0.71
	3.99	0.32	37.50	1.46	2.55			42.21	4485	3768.0	474.9	0.61
	6.67	1.22	24.40	11.50	10.80	0.07	1.0	6.67		835.3	132.6	4.32
Aug.	1.94	0.18	2.54	1.19	2.64			7.75	595	1391.5	230.9	0.38
	1.99	0.22	6.34	9.73	13.91	0.04	0.5	2.05		854.9	124.2	4.86
Sept.	1.48	0.48	5.04	2.88	3.84			12.49	259	913.2	152.4	0.23
	0.80	0.37	13.97	4.40	5.26	0.92	14.1	2.38		792.6	83.1	0.32
	0.46	0.98	1.55	1.73	-			36.42	2106	2707.3	441.1	-
	0.00	1.79	20.51	8.46	-	0.23	3.5	1.70		498.8	84.5	-
Okt.	2.15	0.60	4.37	2.21	2.34			1.18	37	479.5	73.5	0.35
	1.56	0.30	1.62	1.30	1.86	4.81	72.2	0.97		603.4	105.9	0.58
Nov.	5.85	0.60	4.21	2.00	2.46			4.08	71	371.8	53.5	0.41
	5.37	0.63	5.07	3.11	3.44	3.24	46.2	2.84		402.0	54.0	1.15
Dez.	6.61	0.32	4.79	1.60	1.36			2.10	40	476.0	62.1	0.16
	4.15	0.16	13.80	1.55	1.41	7.20	91.0	-		-	-	-
Jan.	12.54	0.42	3.42	1.85	3.03			0.54	-	315.0	45.2	0.04
	13.81	0.43	3.87	1.89	2.93	7.70	97.0	0.88		403.5	58.9	0.03
Febr.	38.40	0.60	2.73	1.83	2.36			1.13	31	336.1	44.8	0.35
	15.40	0.32	5.30	1.44	1.91	7.44	90.0	0.45		333.0	49.2	0.20
	60.00	0.52	7.12	1.80	2.27			2.76	-	391.5	54.6	0.18
	20.60	0.38	4.29	1.48	2.06	7.38	88.0	0.97		423.6	87.1	0.14
März	36.00	0.65	6.82	1.96	2.47			0.79		430.9	51.4	0.22
	19.10	0.70	8.41	1.75	2.19	6.54	76.0	0.70		314.6	41.2	0.25
	26.20	0.69	4.01	0.69	2.05			20.20	208	1283.3	234.0	0.67
	17.10	0.53	6.05	1.42	2.24	6.13	70.0	5.29		606.3	116.6	0.35
April	22.20	0.38	-	0.54	-			10.80		-	-	-
	13.30	0.45	-	0.89	-	7.54	87.0	5.23		-	-	-
	26.06	0.81	4.09	0.54	1.89			10.47	50	723.5	124.0	0.63
	14.38	0.88	16.57	1.49	3.05	6.10	70.5	15.54		1059.2	220.7	1.40
	12.51	0.72	1.69	0.24	1.35			16.71	206	798.5	130.5	0.64
	5.14	0.56	5.52	0.62	1.85	6.87	81.5	6.75		737.3	127.3	0.44
	22.24	1.16	1.43	0.17	1.59			10.48	-	740.8	147.5	0.57
	5.39	0.76	6.29	0.30	1.29	6.53	77.8	6.33		483.3	80.8	0.53
Mai	19.38	1.30	4.07	0.26	1.32			3.57	33	420.7	64.4	0.26
	5.16	0.55	17.27	0.22	1.49	6.03	70.7	7.72		366.7	69.6	0.70
	20.99	1.14	2.68	0.32	1.42			8.57	-	727.8	144.2	0.47
	1.85	0.58	12.58	0.52	1.62	4.95	58.9	4.43		601.0	120.9	0.39
	3.37	2.28	1.66	0.35	1.20			35.52	471	1563.9	276.3	0.96
	4.51	0.76	11.38	1.11	3.75	4.15	54.0	9.91		1475.4	270.2	1.82
Juni	4.64	0.34	3.67	0.55	1.86			3.82	47	748.7	145.3	0.55
	2.94	0.33	3.87	1.05	3.14	4.66	63.0	1.88		1870.2	356.0	1.45
	5.03	0.48	6.26	1.18	2.35			1.70	-	531.9	81.6	0.36
	3.08	0.49	18.87	4.67	5.27	2.40	32.7	1.03		684.0	132.3	0.64
	6.85	0.72	3.02	0.45	1.43			22.81	329	1198.2	239.9	0.79
	6.26	0.97	21.22	4.50	4.81	2.70	40.0	-		963.7	146.4	-
Juli	3.07	0.63	1.36	0.54	2.09			19.33		1092.5	156.5	0.35
	1.37	0.63	2.73	0.51	1.63	4.60	68.2	1.44		838.0	102.8	0.36
	6.93	9.50	2.74	0.33	1.51			5.81	389	796.2	115.3	0.42
	2.92	0.48	1.99	0.88	1.88	3.14	47.0	1.73		1071.8	153.2	0.61
	2.16	0.18	1.41	0.47	1.78			19.70	-	1160.9	168.3	0.81
	2.34	0.14	3.94	0.97	0.97	1.91	41.7	1.59		-	-	0.37
	1.19	0.26	3.51	0.37	1.51			27.82	328	1255.7	250.8	0.68
	1.79	0.18	4.80	1.33	1.99	2.89	43.6	2.06		515.9	65.7	0.34
	1.18	0.55	1.15	0.09	1.41			12.92	330	1206.2	189.0	0.46
	2.04	0.64	2.07	3.22	4.15	1.71	26.0	5.17		515.6	99.0	0.64
	1.11	0.15	1.35	0.38	1.78			12.23	915	1114.0	211.6	0.62
	1.45	0.28	24.86	7.10	9.09	0.55	8.3	1.77		722.5	175.4	1.67
Aug.	2.32	0.84	2.79	0.70	2.27			14.54	-	900.5	177.8	0.63
	1.12	0.61	26.20	14.80	16.76	0.27	4.1	1.88		779.1	137.9	2.02
	0.36	0.21	2.98	0.64	2.38			25.55	937	1200.0	218.0	0.88
	1.84	0.20	9.58	4.34	5.27	2.29	35.0	2.50		510.1	88.0	0.70
	1.23	0.26	1.97	1.07	2.38			13.56	568	1024.9	188.5	0.61
	1.11	0.26	6.96	4.22	5.32	1.19	19.0	1.90		915.9	190.1	1.09
Sept.	1.41	0.22	2.89	1.73	2.30			23.84	757	1128.9	213.6	0.57
	1.49	0.63	15.67	1.08	8.95	0.00	0.0	0.89		419.4	70.4	0.74
	5.50	0.68	2.20	1.94	3.65			29.60	1865	-	-	0.98
	5.69	0.23	20.99	10.45	10.03	0.00	0.0	5.01		-	-	0.52
Okt.	7.47		5.92	2.61	3.44			7.33	167	878.0	140.9	0.57
	4.43		14.04	9.29	9.48	0.36	5.6	1.00		557.8	99.3	1.08
Nov.	7.52	1.03	10.83	2.33	3.19			2.23	33	247.1	37.9	0.27
	7.37	1.18	13.23	3.41	3.96	2.64	40.0	0.64		347.2	39.0	0.95
	9.24	1.09	9.39	2.04	2.75			1.57	-	508.2	74.7	0.48
	7.92	0.93	11.68	1.92	2.62	5.34	73.0	0.57		463.6	76.1	0.66
Dez.	8.84	0.92	11.25	2.06	2.52			1.97		606.7	71.7	0.39
	13.24	0.92	13.07	2.28	3.35	5.31	69.0	0.58		931.4	140.3	0.84

Tabelle III

STATION Nr.: 3 / Schwentine Ästuar 9-10 m

Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	ΣPO ₄ -P	O ₂	O ₂ ‰	chl. a	PCC	POC	PON	PGP		
Mai	24.	24.36 8.09	0.43 0.42		2.55 0.47	3.83 1.69				6.58 10.64	118	1657.5 1567.5	240.3 284.5	
	Juni	7.	- 2.92	2.30 0.78	11.39 2.48	3.73 0.43	4.43 1.47				12.84 23.02	129	1160.0 1076.6	203.6 226.7
Juli		28.	4.11 1.19	0.93 0.11	3.61 0.45	2.03 0.39	4.39 1.61	7.94	118.0		14.52 16.25	-	-	235.7
	11.	1.14 0.68	0.49 0.26	9.18 18.30	1.85 1.38	3.07 2.23	-	46.7	8.79	-	406	1927.8 1023.8	372.9 179.8	0.91 0.72
Aug.	25.	6.88 3.28	0.55 0.30	2.00 8.20	2.76 2.92	3.70 2.95	-	3.93	66.4	18.46 10.45	817	1435.3 860.4	231.9 132.9	0.79 0.46
	16.	7 0.04 1.94	2.12 0.18	1.16 0.94	2.41 1.35	4.18 3.27	-	4.45	74.0	11.32 6.23	1212	1364.0 2086.4	224.2 227.5	0.41 0.54
Sept.	23.	1.15 1.44	0.81 0.47	4.55 5.36	3.54 2.74	4.53 3.58	5.83 5.11	89.4 79.5	11.88 3.38		143	742.6 487.1	113.8 33.3	0.29 0.16
	29.	3.51 2.21	0.74 0.38	3.15 2.50	3.27 2.30	5.09 2.67	-	6.20	97.3	15.81 3.23		1175.1 346.6	195.9 55.5	0.79 0.07
Okt.	20.	5.65 2.41	1.06 0.07	7.87 5.89	3.86 2.90	3.81 3.02				2.06 1.24	41	587.1 430.0	75.1 55.3	0.50 0.50
	24.	6.79 6.26	0.66 0.56	6.89 6.49	2.13 -	2.36 2.38				2.23 3.64	41	450.8 223.3	64.3 37.1	0.24 0.32
Dez.	15.	- 4.79	0.34 0.28	5.62 5.38	1.62 1.51	1.23 1.67				2.09 1.29	33	361.4 -	56.1 -	0.11 0.12
Jan.	17.	61.00 13.23	0.75 0.48	11.03 4.85	2.70 1.82	7.88 4.11				3.08 0.65		470.2 -	68.9 -	0.06 0.03
	Febr.	9.	91.1 36.2	0.76 0.52	8.03 9.51	2.40 1.71	2.90 2.29				5.08 1.00	69	730.2 302.0	91.2 44.7
März		23.	64.2 41.5	0.55 0.50	7.30 6.01	2.08 1.67	2.51 2.04				5.26 1.43		634.6 283.8	91.7 35.9
	8.	45.0 26.4	0.49 0.59	9.20 5.80	2.20 1.43	2.74 2.24				4.00 1.05		540.7 290.1	65.7 41.7	0.36 0.17
April	21.	27.6 19.6	0.68 0.51	4.88 5.81	0.83 1.27	2.24 1.95				18.66 5.27	386	1249.0 498.8	240.8 101.6	0.76 0.21
	5.	25.4 18.2	0.40 0.37		0.68 0.39					16.89 7.50		723.5 1059.2	124.0 220.7	
April	10.	52.20 17.10	1.10 0.66	9.97 5.14	1.20 0.43	2.40 1.62				14.83 6.84	157	723.5 1059.2	124.0 220.7	0.92 0.65
	19.	16.05 13.15	0.82 0.78	2.10 2.76	0.28 0.30	1.30 1.25				17.57 12.25	324	824.4 986.8	129.0 137.4	0.58 0.96
Mai	24.	29.93 15.37	1.33 0.88	18.41 7.16	0.63 0.26	- 1.36				12.47 10.73		-	79.7	1.00 0.51
	4.	18.60 7.19	1.08 0.70	10.91 9.67	0.86 0.60	1.15 1.11				5.30 3.54	46	619.7 417.9	116.0 43.5	0.31 0.29
Mai	10.	17.14 13.46	1.05 0.67	9.81 8.17	0.50 0.21	1.64 1.24				8.84 3.98		646.6 555.2	131.3 62.0	0.71 0.48
	29.	9.26 3.04	1.25 0.54	3.50 2.81	0.45 0.20	1.95 1.12				31.20 21.70	768	1593.0 511.0	270.2 75.0	0.93 0.60
Juni	7.	11.74 3.70	0.82 0.52	6.53 3.70	0.87 1.04	2.25 2.65				2.88 2.28	28	419.7 481.3	70.3 88.6	0.49 0.76
	14.	9.77 6.36	0.72 0.52	7.43 7.93	1.08 0.98	1.61 1.70				1.17 0.92		408.3 196.3	63.8 35.0	0.33 0.27
Juli	22.	15.37 7.47	1.58 0.62	5.18 6.53	1.80 0.73	3.67 1.43				33.53 4.03	200	1568.7 -	263.0 -	- 0.41
	6.	12.26 1.70	1.10 0.52	7.73 4.59	2.32 0.80	3.58 1.67				10.51 1.59		858.2 483.4	117.2 60.7	0.78 0.31
Juli	10.	3.75 1.73	0.35 0.27	2.03 3.53	0.89 1.02	2.15 1.68				9.04 1.58	237	1031.7 733.6	165.8 120.6	0.79 0.38
	12.	11.23 3.11	0.80 0.25	4.64 4.11	2.18 1.11	3.90 2.01				16.21 2.38		1514.4 414.5	209.0 55.1	1.28 0.39
Juli	16.	20.78 2.44	2.04 0.27	5.42 1.51	3.03 0.66	3.72 1.46				16.97 13.99	297	1163.2 629.0	185.6 117.6	0.85 0.51
	20.	5.35 3.07	0.93 0.52	1.35 2.16	1.16 0.71	2.20 2.05				9.72 10.75	325	997.9 498.7	166.4 90.5	0.80 0.53
Aug.	26.	15.51 5.72	1.59 0.21	4.57 3.41	3.94 0.89	7.40 2.69				12.67 4.37	319	1056.6 419.8	165.2 68.0	1.07 0.44
	2.	7.03 3.28	1.36 0.48	5.67 5.91	2.95 1.74	4.21 2.92				9.39 3.87		858.6 358.5	129.9 47.8	0.73 0.38
Aug.	9.	8.53 2.94	1.10 0.33	4.11 5.82	2.11 2.31	3.24 3.43				16.92 8.63	624	1134.0 425.3	199.4 73.9	0.83 0.54
	23.	4.03 2.04	0.64 0.31	5.68 9.10	1.90 4.49	3.03 5.29				9.47 2.00	140	881.1 324.0	144.4 48.4	0.65 0.41
Sept.	4.	6.79 9.36	3.21 0.27	12.04 3.93	6.10 3.69	3.71 5.27				9.63 2.19	356	880.8 428.6	139.0 67.8	0.74 0.44
	17.	4.97 3.92	0.45 0.41	2.97 4.85	1.88 2.25	2.96 3.01				10.53 1.31	795 22	-	-	0.62 0.37
Okt.	17.	9.26 8.30		2.88 6.03	2.86 2.96	3.49 3.25				21.66 4.33	1959	1143.4 318.0	171.1 46.5	0.71 0.34
	8.	7.63 8.41	1.08 0.96	12.43 11.09	2.74 2.30	3.10 2.87				4.31 0.64	52	706.4 220.1	29.0 27.8	0.41 0.26
Nov.	22.	11.31 11.53	1.14 1.14	8.43 10.56	2.61 2.09	3.03 2.61				2.68 0.82		1266.1 420.8	67.3 75.9	0.29 0.26
	18.	18.00 14.80	0.80 0.70	8.46 9.01	1.96 1.80	2.43 2.43				3.11 1.19		526.3 696.0	75.1 124.4	0.39 0.25

Tabelle IV

STATION Nr.: 4, Nord-Ostsee-Kanal 9-10 m

Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	PO ₄ -P	O ₂	O ₂ ‰	Chl. a	PPC	POC	PON	PGP
Mai	24.	10.52 3.55	0.35 0.29		0.36 0.37	1.50 1.20		23.64	382	1920.3 1360.3	335.9 250.0	
	Juni	7.	8.82 2.49	0.60 0.12	2.43 1.35	0.68 0.24	1.34 0.50		16.09 21.28	410	1470.0 924.0	306.2 170.1
Juli		11.	1.07 0.84	0.35 0.11	25.40 1.00	0.55 1.00	1.33 1.43		11.83 3.66	858	1421.1 749.2	271.6 142.2
	25.	3.24 3.06	0.14 0.15	1.70 1.10	0.62 1.21	1.75 1.60	2.90 4.45	44.8 73.9	33.24 12.00	2484	3972.9 1533.8	394.2 179.7
Aug.	16.	2.64 1.60	0.23 0.09	0.80 0.85	1.04 0.67	2.48 1.95		2.32 7.79	84	652.3 752.2	101.7 114.6	0.21 0.23
	Sept.	23.	1.10 1.34	0.11 0.40	1.38 5.49	1.45 2.60	2.47 3.30		8.50 -	322	946.7 -	- -
Okt.		20.										
	Nov.	24.	5.85 5.12	0.51 0.43	5.24 4.50	1.76 1.68	2.44 2.15		4.73 4.29	100	485.6 321.9	66.1 38.2
Dez.		15.	12.50 7.13	0.40 0.24	4.56 4.85	1.87 1.48	1.54 1.23		0.87 1.05	12	268.3 212.9	52.4 31.3
	Jan.	17.	80.00 17.06	0.52 1.47	3.73 8.19	2.11 3.42	4.31 3.47		1.17 0.83		- 305.1	- 46.7
Febr.		9.	29.30 20.60	0.43 0.38	5.19 8.25	1.61 1.54	1.98 1.96		0.63 0.69	32	306.7 471.8	41.7 62.6
	März	23.	47.70 42.50	0.57 0.48	6.01 4.01	1.68 1.58	2.13 1.97		0.10 0.87		318.9 244.6	51.0 38.9
21.		22.6 17.1	0.57 0.57	5.28 3.98	1.49 1.51	3.29 2.01		1.08 0.97			249.4 273.9	35.2 40.2
	April	5.	33.0 12.9	0.73 0.37	3.78 3.66	0.69 0.65	- 1.48		18.62 7.62	386	1118.8 391.8	206.5 82.1
10.		35.73 11.13	0.82 0.31	4.40 3.58	0.60 0.31	4.81 1.76		4.43 7.08	134	428.5 611.4	149.0 82.0	0.41 0.39
	19.	26.44 10.64	0.79 0.63	1.64 2.05	0.25 0.24	- 1.35		9.51 14.83	165	680.9 923.5	109.9 145.0	0.44 0.47
24.		17.26 7.74	0.65 0.50	2.92 4.55	0.19 0.25	1.17 -		7.58 19.67			600.9 1003.4	88.3 160.6
	Mai	4.	2.48 21.04	0.66 0.37	2.49 9.00	0.38 0.24	1.95 0.78		3.92 3.21	66	381.9 288.6	67.5 52.8
10.		30.83 6.64	0.63 0.47	4.37 4.13	0.11 0.12	0.84 1.03		3.97 3.93			457.0 747.9	75.5 111.9
	29.	3.51 1.63	0.41 0.27	2.30 8.44	0.35 0.38	1.07 1.22		17.14 21.97	530	1009.0 633.5	1401.7 95.3	0.47 0.75
Juni		7.	12.34 3.26	0.69 0.27	4.04 3.83	0.61 0.37	1.81 1.27		2.82 1.72	52	- 635.8	- 124.7
	14.	12.14 3.12	0.46 0.23	2.84 3.42	0.44 0.27	1.25 0.91		4.25 3.43			451.0 509.7	81.1 83.9
22.		39.31 6.67	1.12 0.30	2.66 2.84	0.86 0.34	1.67 1.24		10.24 10.24	152	814.5 747.9	122.3 133.9	0.61 0.50
	Juli	6.	10.46 1.17	0.53 0.53	4.34 2.00	0.41 0.26	1.63 1.16		13.72 4.12		951.4 465.7	169.4 64.3
10.		4.36 1.69	0.45 0.23	0.80 1.28	0.26 0.56	1.74 1.19		12.70 2.32	362	939.5 546.2	157.5 109.4	0.46 0.38
	12.	7.56 2.51	0.28 0.15	1.50 2.47	0.53 0.81	2.11 1.52		8.42 1.44			720.9 117.0	435.5 63.9
16.		11.83 0.61	0.38 1.43	1.33 1.16	0.54 0.43	1.33 1.07		9.54 12.92	169	759.0 726.9	124.5 114.3	0.54 0.57
	20.	13.89 2.30	0.53 0.21	1.59 0.58	0.47 0.14	1.32 0.90		6.24 8.43	202	600.4 582.3	107.2 78.2	0.50 0.43
26.		6.66 2.40	0.27 0.15	1.54 1.30	0.40 0.27	1.92 1.49		8.75 3.90	278	562.5 424.6	100.0 74.8	0.54 0.30
	Aug.	2.	4.43 2.12	0.20 0.17	6.44 1.35	0.50 0.45	2.41 2.04		10.96 6.10		683.2 423.4	126.9 75.9
9.		7.93 2.65	0.27 0.08	2.01 1.49	0.94 0.82	1.86 2.10		7.35 7.28	267	1314.6 604.7	155.3 88.0	0.58 0.41
	23.	2.44 1.50	0.38 0.38	1.88 2.23	0.54 1.41	1.98 2.26		14.30 1.83	1126	1057.7 237.1	200.0 37.7	0.86 0.25
Sept.		4.	3.66 3.44	0.30 0.36	2.94 2.74	1.47 2.03	1.97 2.30		17.83 3.81	1168	1025.6 397.7	199.2 66.8
	17.	2.48 1.67	0.21 0.18	1.62 2.07	1.26 1.21	3.01 2.23		14.53 4.81	1103 282	- -	- -	0.75 0.36
Okt.		17.	8.38 6.11		3.36 3.73	2.37 2.03	2.78 2.69		4.83 6.30	140	344.1 464.4	57.9 77.1
	Nov.	8.	11.27 12.20	0.93 0.94	9.28 10.72	2.39 2.28	2.91 3.46		0.93 2.50	35	674.4 562.5	57.9 103.6
22.		11.08 11.38	1.02 0.98	10.03 8.53	2.10 2.05	2.66 2.57		1.37 0.77			548.6 374.0	106.0 63.2
	Dez.	18.	14.01 11.72	0.69 0.57	8.69 6.35	1.66 1.86	2.16 2.34		1.53 1.39		415.7 557.5	65.6 91.5

Tabelle V

STATION Nr.: 5, Friedrichorter Enge 15-16 m

Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	PO ₄ -P	O ₂	O ₂ %/o	Chl. <u>a</u>	PFC	POC	PON	PGP
Mai 24.	63.00	0.22		0.38	1.08			27.43	-	2226.8	388.9	
	11.86	0.25		1.08	0.97			3.34	49	753.5	121.4	
Juni 7.	12.51	1.41	1.10	0.58	-			60.00	243	1597.2	328.2	
	5.54	0.81	7.16	1.28	1.64			6.00		647.0	126.1	
28.	2.32	0.20	1.33	0.63	1.86			12.33		1350.8	164.9	
	3.81	0.76	1.82	1.23	2.03			2.06		446.8	80.0	
Juli 11.	1.29	0.39	17.70	0.64	1.50	-		6.54	261	1398.3	245.6	0.53
	3.56	0.48	10.10	1.69	1.40	1.27	17.5	1.20		374.5	54.1	0.35
25.	3.36	0.13	2.00	1.14	1.10	-		10.14	523	1454.7	240.7	0.41
	9.01	0.35	26.40	2.07	2.05	0.82	11.6	2.18		710.3	98.0	0.34
Aug. 16.	2.17	0.18	0.80	0.78	2.17	-		6.40	668	1414.3	264.9	1.10
	2.34	0.15	1.03	2.60	2.98	0.39	5.8	4.16		1710.2	320.3	1.28
Sept. 23.	0.92	0.21	0.85	1.34	2.32	-		11.25	490	1090.2	216.3	0.49
	0.92	0.43	7.19	3.50	4.29	1.58	24.5	8.11		658.3	145.0	0.60
29.	1.63	0.21	1.75	1.45	2.10	-		9.41		985.0	158.4	0.32
	1.83	1.53	8.09	3.58	3.81	3.39	52.9	1.70		278.6	55.0	0.29
Okt. 20.	4.21	0.17	2.06	1.98	2.65	-		-	21	563.8	69.9	0.24
	0.80	0.40	3.32	1.10	1.59	4.98	76.7	0.69		274.2	40.7	0.24
Nov. 24.	8.04	0.60	6.09	2.03	2.62	-		4.51	71	393.6	54.8	0.21
	4.59	0.41	4.44	1.49	2.03	6.29	86.2	4.75		264.3	43.7	0.15
Dez. 15.	9.79	0.31	5.86	1.73	1.62	-		0.93	21	-	-	0.09
	5.06	0.16	3.73	1.39	1.28	7.63	95.0	1.31		258.9	28.3	0.12
Jan. 17.	51.00	0.57	3.87	1.99	3.00	-		0.79		401.1	71.1	0.03
	15.81	0.43	3.04	1.81	2.91	7.74	96.0	0.64		300.5	45.4	0.03
Febr. 9.	18.20	0.35	5.30	1.50	1.91	-		0.88	29	326.4	44.3	0.14
	17.40	0.33	5.19	1.42	1.80	7.81	93.0	0.62		329.0	51.9	0.10
23.	34.20	0.44	4.48	1.46	2.06	-		0.51	-	339.0	56.1	0.13
	14.70	0.35	4.48	1.43	1.80	7.83	87.0	0.59		262.4	17.8	0.10
März 8.	20.70	0.41	3.35	1.12	1.87	-		2.46	7	358.0	55.0	0.70
	17.20	0.54	5.51	1.38	1.96	8.15	94.0	0.89		430.0	64.6	0.15
21.	17.30	0.55	2.91	0.47	1.76	-		20.15	286	1155.1	215.3	0.63
	9.41	0.33	3.43	0.81	1.76	8.77	100.0	4.87		413.1	82.6	0.20
April 5.												
10.	24.57	0.78	2.81	0.36	1.16	-		12.38	88	424.0	66.5	0.64
	6.10	0.42	6.96	0.45	-	7.85	89.9	6.18		476.2	84.7	0.53
19.	22.56	0.84	0.87	0.26	1.10	-		11.98	247	944.4	156.5	0.47
	4.29	0.64	4.76	0.43	1.30	7.27	83.0	3.84		618.1	102.6	0.34
24.	10.34	0.76	5.68	0.16	1.13	-		7.66		1043.9	197.8	0.42
	5.00	0.69	9.67	0.31	0.99	6.60	76.1	5.99		617.8	122.2	0.63
Mai 4.	12.64	0.48	2.06	0.21	1.23	-		4.10	52	520.4	93.3	0.29
	3.98	0.29	3.30	0.38	0.41	6.29	73.2	2.90		442.2	92.0	0.47
10.	15.25	0.71	5.49	0.18	0.98	-		6.90		740.0	124.5	0.53
	8.55	0.60	6.97	0.16	0.98	6.79	89.6	3.14		585.1	82.2	0.40
29.	0.87	0.23	1.29	0.12	1.31	-		15.68	264	1157.9	172.4	0.60
	2.23	0.41	6.32	0.14	1.07	6.32	96.0	16.46		412.6	68.4	0.57
Juni 7.	13.29	0.65	4.67	0.55	1.91	-		1.68	15	299.1	53.6	0.34
	4.11	0.32	5.01	0.45	1.86	5.01	67.1	1.77		443.5	91.0	0.63
14.	10.97	0.60	2.88	0.47	1.24	-		4.19	-	445.5	74.0	0.31
	6.04	0.41	5.27	0.85	1.50	3.29	44.1	1.15		321.3	60.4	0.35
22.	5.80	0.35	1.71	0.59	1.18	-		22.46	695	1747.4	290.3	0.37
	5.09	0.46	16.80	0.64	1.43	4.32	63.1	1.43		626.9	103.4	0.23
Juli 6.	0.95	0.31	1.45	0.31	1.53	-		22.40	-	1281.4	210.2	0.63
	3.16	0.36	2.41	0.98	1.95	2.77	40.2	5.22		539.9	90.9	0.42
10.	3.02	0.20	1.02	0.34	1.66	-		9.22	364	1304.9	169.6	0.51
	2.35	0.22	1.41	0.79	1.79	3.18	47.3	1.92		1260.0	233.3	0.34
12.	0.64	0.23	1.46	0.42	1.65	-		17.11	-	975.8	132.2	0.75
	0.33	0.11	2.03	0.71	2.01	3.47	52.2	2.00		484.0	79.7	0.44
16.	0.40	0.34	1.07	0.45	1.09	-		15.06	609	1208.0	232.8	0.47
	2.00	0.26	2.44	1.06	1.70	3.06	45.8	2.17		524.4	96.4	0.34
20.	3.83	0.20	0.77	0.20	0.95	-		5.23	186	722.5	140.9	0.38
	3.86	0.43	3.51	1.11	2.09	1.64	24.5	4.25		471.3	85.4	0.47
26.	0.87	0.17	1.73	0.29	2.02	-		14.54	529	1089.5	213.6	0.46
	2.69	0.30	6.39	1.44	3.41	1.16	17.9	2.18		404.8	56.9	0.41
Aug. 2.	0.69	0.13	0.87	0.20	1.48	-		8.21	-	846.3	135.0	0.44
	1.46	0.10	4.95	0.20	3.10	2.54	38.8	1.46		278.1	48.9	0.31
9.	0.90	0.08	1.40	0.23	1.38	-		5.97	345	620.0	81.3	0.35
	0.82	0.16	2.67	1.56	2.95	1.28	20.0	4.65		704.6	131.9	0.87
23.	0.25	0.65	1.40	0.44	2.06	-		9.43	636	1028.3	168.7	0.44
	0.71	0.11	2.06	2.26	3.33	1.74	27.0	3.91		653.3	93.3	0.90
24.												
Sept. 4.	1.86	0.18	2.89	1.16	3.23	-		37.22	1453	1986.8	186.8	0.66
	1.41	0.16	10.82	1.06	3.28	0.23	38.0	3.36		1986.8	186.8	0.66
17.	1.24	0.15	2.92	1.28	2.37	-		9.99	422	432.8	73.1	0.45
	0.93	0.33	9.89	4.86	5.43	1.12	-	1.42		-	-	1.09
Okt. 17.	6.43	0.90	8.80	1.96	2.82	-		2.24	38	410.0	67.7	0.31
	6.51	0.67	7.63	1.82	2.62	3.96	59.0	1.27		837.7	127.1	0.46
Nov. 8.	10.14	0.97	8.80	1.91	2.57	-		1.15	-	-	-	0.18
	8.84	0.96	8.64	2.00	2.61	5.93	80.0	0.69		-	-	0.29
22.	15.60	0.75	10.03	1.94	2.43	-		1.43		-	-	0.18
	13.05	0.36	4.00	1.41	2.11	6.86	89.0	1.61		-	-	0.43

Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	PO ₄ -P	O ₂	O ₂ ‰	Chl. a	PPC	POC	PON	PGP
Mai 24.												
Juni 7.	0.87	0.04	1.50	0.22	0.66			6.18	243	588.1	107.3	
	10.40	0.79	5.98	0.86	0.92			4.42		620.4	89.5	
28.	1.33	0.10	0.93	0.33	1.32			8.11	-	1026.2	154.1	
	4.80	0.03	2.23	1.34	1.97	2.23	29.5	0.94		315.9	53.5	
Juli 11.	0.94	0.15	43.20	0.33	1.19			8.60	772	1257.5	206.9	0.37
	2.44	0.55	3.82	3.38	3.42	-	-	4.99		1529.3	172.4	1.94
	2.88	0.15	43.00	0.41	0.90			4.81	407	969.3	155.2	0.32
25.	8.39	0.23	9.40	2.71	2.70	0.32	4.4	1.37		555.2	79.2	4.43
Aug. 16.	2.07	-	1.61	0.45	1.30			4.30	187	1110.0	224.0	0.26
	2.12	-	0.49	1.87	2.40	3.65	56.6	4.07		633.4	133.0	0.28
Sept. 23.												
29.	0.48	0.39	3.70	0.70	-			1.97		467.1	83.3	0.11
	0.93	0.10	1.30	0.76	-	6.69	104.0	3.38		524.5	96.1	0.11
Okt. 20.	1.18	0.22	2.25	1.19	1.76			2.09	173	496.0	71.7	0.13
	0.86	0.23	1.90	1.62	7.09	5.95	88.8	1.67		374.0	52.2	0.15
Nov. 24.	4.18	0.37	3.64	1.44	1.97			6.54	217	536.9	71.0	0.17
	3.20	0.25	4.50	1.41	2.21	7.06	96.3	3.82		285.7	44.2	0.18
Dez. 15.	6.00	0.28	5.21	1.39	1.15			1.14	7	243.0	34.9	0.03
	3.61	0.19	7.67	1.29	1.87	7.67	95.0	0.93		209.4	38.2	0.01
Jan. 17.	14.01	0.43	3.28	1.51	2.86			0.46	-	297.3	48.1	0.06
	9.16	0.43	3.19	1.49	3.13	7.77	96.0	0.56		212.1	79.1	0.02
Febr. 9.	10.50	0.36	3.44	1.25	1.60			0.88	36	403.0	61.0	0.14
	10.00		3.71	1.34	1.84	7.93	94.0	1.62		790.4	87.0	0.25
23.	14.30	0.35	3.93	1.35	1.97			0.76	-	322.0	56.1	0.14
	11.40	0.34	3.87	1.29	1.78	8.35	96.0	0.72		268.9	42.6	0.11
März 8.	10.50	0.38	3.13	1.08	1.74			2.60	-	297.6	47.4	0.19
	11.50	0.39	4.26	1.08	1.78	8.91	103.0	1.90		250.6	39.1	0.13
21.	7.83	0.49	2.79	0.36	1.71			21.72	389	1201.3	236.7	0.46
	6.32	0.31	3.37	0.50	1.52	9.16	103.0	10.15		496.5	102.9	0.32
April 5.												
10.												
19.	4.77	0.38	1.28	0.22	0.80			6.15	128	694.2	107.6	0.30
	2.62	0.28	2.86	0.42	0.90	8.07	92.0	6.83		670.8	114.1	0.29
24.	4.63	0.40	3.48	0.15	-			5.33	-	686.0	119.0	0.27
	3.01	0.39	10.79	0.10	0.95	7.51	86.0	5.08		421.0	37.0	0.30
Mai 4.	1.71	0.26	2.52	0.41	1.58			5.23	159	546.4	102.8	0.41
	2.95	0.35	4.21	0.38	1.54	6.52	76.0	1.67		522.7	90.5	0.24
10.												
19.	1.30	0.18	0.88	0.77	1.66			8.42	173	835.0	123.6	0.48
	4.71	0.35	3.73	0.53	1.27	4.81	63.0	1.31		405.7	71.6	0.30
Juni 7.	2.63	0.25	2.90	0.29	1.18			4.72	54	1186.2	242.4	0.35
	1.84	0.18	2.94	0.33	1.67	5.91	76.4	1.57		-	-	0.76
14.												
22.												
Juli 6.												
10.	1.10	0.12	0.80	0.28	0.98			5.10	559	557.3	98.0	0.47
	1.42	0.11	1.19	0.62	1.37	4.08	62.2	2.99		371.2	63.7	0.26
12.												
16.												
20.	1.73	0.13	0.58	0.28	0.72			3.12	73	557.3	98.0	0.22
	3.77	0.34	2.45	1.23	1.82	2.38	35.0	2.69		371.2	63.7	0.25
26.												
Aug. 2.	1.03	0.09	1.15	0.23	1.20			3.68	220	766.9	129.4	0.27
	0.74	0.12	6.15	1.25	2.04	1.39	21.2	3.14		500.1	84.1	0.56
9.												
23.												
28.	9.54	0.30	2.67	0.26	1.14			3.89	347	887.1	119.5	0.56
	1.53	0.10	1.79	1.24	2.95	1.35	-	8.81		1589.7	161.6	0.20
Sept. 4.												
17.	1.38	0.22	2.65	0.90	1.69			6.21	212	-	-	0.34
	1.26	0.17	3.96	2.21	2.30	2.78	-	1.63		-	-	0.55
Okt. 17.												
Nov. 8.												
22.	5.76	0.36	4.48	1.07	1.97			1.53	-	442.4	79.5	-
	3.81	0.53	6.99	1.11	2.48	6.63	88.0	0.88		516.5	94.5	0.23
Dez. 18.	9.73	0.51	6.61	1.35	1.93			1.54		327.0	53.0	0.15
	8.44	0.34	3.04	1.20	1.88	7.71	98.0	1.38		462.9	72.1	0.17

Tabelle VII

STATION Nr.: 7, östlich Kieler Leuchtturm 16-17 m

Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	PO ₄ -P	O ₂	O ₂ °/o	Chl. μ	PPC	POC	PON	PGP
Mai 24.												
Juni 7.	2.11	0.06	4.43	0.48	0.46			4.27	54	913.8	105.7	
	7.36	0.25	10.23	0.87	0.53			2.36				
28.	0.92	0.04	0.88	0.23	0.94			2.75		608.4	96.8	
	5.08	0.22	1.31	1.17	1.89	2.31	30.6	0.83		462.9	70.8	
Juli 11.	0.78	0.16	9.27	0.26	0.72	1.79	25.4	4.79	1750	1064.4	174.0	0.30
	2.22	0.43	16.20	1.40	1.77			1.49	21	545.4	63.7	0.23
25.	2.72	0.12	2.60	0.30	0.40			2.65	148	880.0	151.4	0.31
	5.52	0.35	1.30	1.09	1.95	2.49	36.6	0.91		414.0	75.4	0.24
Aug. 16.	2.59	0.09	1.34	2.89	0.75			1.95	311	1182.6	245.5	0.13
	1.45	0.43	1.96	1.52	0.77	2.07	30.5	3.99		775.2	135.7	0.28
Sept. 23.												
	0.88	0.15	5.23	0.79	1.91			4.66		1060.0	206.4	0.64
29.	0.16	0.87	13.68	4.21	4.98	0.38	5.9	-		741.1	178.9	1.18
	1.06	0.26	-	1.00	1.43			3.74	151	553.3	80.3	0.20
Okt. 20.	0.92	0.28	0.99	1.39	2.28	6.20	92.4	2.32		382.5	54.9	0.18
	3.11	0.16	1.54	1.00	1.82			7.95	777	794.9	114.0	0.30
Nov. 24.	3.03	0.15	1.99	1.10	1.72	7.16	96.2	3.85		264.1	37.7	0.10
	2.75	0.21	2.84	1.18	1.15			1.66	166	517.5	77.6	0.06
Dez. 15.	2.35	0.13	2.60	1.12	1.03	7.90	97.0	0.99		252.6	32.4	0.00
	9.06	0.36	2.89	1.53	3.00			0.61		443.7	68.1	0.03
Jan. 17.	6.73	0.33	2.45	1.47	2.93	7.78	96.0	0.66		322.5	46.9	-
	8.08	0.29	7.98	1.02	1.35			0.56	23	300.7	50.8	0.33
Febr. 9.	8.94	0.28	3.28	1.21	1.71	7.86	93.0	0.88		583.2	72.4	0.19
	8.64	0.31	2.88	1.18	8.58			0.96		296.9	43.1	0.13
23.	9.73	0.34	3.25	1.31	1.92	8.07	94.0	0.74		274.8	40.5	0.13
	8.46	0.42	1.59	0.89	1.37			4.25		320.4	53.4	0.18
März 8.	11.50	0.33	3.47	1.34	1.87	7.77	90.0	0.91		272.4	41.1	0.18
	3.10	0.13	3.02	0.38	1.52			12.90	129	948.1	104.7	0.37
21.	3.73	0.19	2.97	0.43	1.52	9.27	103.0	11.44		614.4	119.0	0.32
	2.43	0.07	-	0.18	-			3.10		-	-	-
April 5.	2.75	0.15	-	0.50	-			6.02		-	-	-
10.												
	0.80	0.17	0.92	0.14	0.70			2.03	120	661.6	107.3	0.22
19.	3.37	0.30	3.38	0.79	1.60	6.88	78.3	3.70		890.3	161.9	0.25
	0.89	0.12	2.56	0.11	1.42			1.39		466.9	81.0	0.23
24.	3.37	0.34	6.29	0.31	1.03	7.07	80.7	4.59		364.3	73.2	0.30
	1.07	0.18	10.19	0.14	1.08			1.60	55	-	-	0.22
Mai 4.	1.08	0.13	4.02	0.21	1.21	8.00	93.3	0.95		331.4	55.4	0.40
10.												
	1.35	0.13	2.53	0.21	0.88			4.08	59	-	-	0.32
29.	4.91	0.58	2.28	0.58	1.27	9.11	65.0	1.69		444.3	73.5	0.18
	0.52	0.56	1.81	0.15	1.43			2.29	43	501.3	90.5	0.22
Juni 7.	5.42	0.34	4.43	0.89	1.81	4.22	52.8	1.31		755.4	141.4	0.33
14.												
22.												
Juli 6.												
	1.37	0.07	0.75	0.18	0.83			1.04	69	595.7	91.1	0.25
10.	1.34	0.10	0.84	0.51	1.06	5.01	76.2	2.39		646.3	112.9	0.22
12.												
16.												
	1.53	0.12	0.58	0.25	1.00			2.39	81	508.8	84.1	0.24
20.	3.57	0.28	1.63	1.19	1.91	2.19	32.0	2.80		370.6	58.6	0.24
26.												
	0.75	0.07	1.06	0.22	1.20			3.37	107	612.3	108.7	0.22
Aug. 2.	0.56	0.09	1.06	1.12	2.50	0.74	10.8	3.60		969.4	155.8	0.60
9.												
23.												
	1.13	0.12	2.10	0.52	0.81			1.49	179	563.4	76.1	0.30
28.	1.52	0.11	12.39	15.14	14.33	0.00	0.0	2.19		596.2	94.7	0.90
Sept. 4.												
17.												
Okt. 17.												
Nov. 8.												
	3.78	0.34	3.63	1.11	2.25			1.43		442.5	84.4	0.16
22.	3.45	0.32	6.29	1.28	2.25	7.05	94.0	0.69		437.0	74.5	0.20
	5.88	0.40	5.33	1.24	1.88			2.24		348.4	65.4	0.16
Dez. 18.	6.28	0.31	4.11	1.03	1.56	7.53	97.0	0.74		297.8	63.1	0.12

Tabelle VIII

STATION Nr.: 8, Kieler Bucht 19-20 m

Datum	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	PO ₄ -P	O ₂	O ₂ °/o	Chl. <u>a</u>	PPC	POC	PON	PGP
Mai 24.												
Juni 7.	5.83	0.05	13.09	0.37	0.88			3.53	96			
	11.65	0.16	-	1.33	-			-				
28.	1.40	0.08	0.98	0.29	0.98			2.88	-	1622.4	185.9	
	5.64	0.19	0.95	1.23	1.77	2.48	32.5	1.00		417.3	74.6	
Juli 11.	0.88	0.18	41.50	0.32	1.10			4.55	1319	1020.9	154.4	0.26
	2.78	0.27	4.77	1.32	1.95	2.57	35.7	1.65		455.7	71.1	0.19
25.	3.19	0.11	2.60	0.35	0.60			2.23	162	1002.2	170.4	0.27
	6.09	0.33	1.20	0.88	1.00	3.69	54.6	0.55		255.3	43.5	0.20
Aug. 16.												
Sept. 23.												
	0.67	0.54	1.90	0.66	1.77			5.00	-	1071.8	337.9	0.54
29.	0.83	0.09	1.15	1.12	-	3.67	57.4	10.76		1174.4	321.4	0.75
	1.10	0.26	1.38	1.04	1.70			6.48	496	650.1	88.3	-
Okt. 20.	0.83	0.26	1.15	0.97	1.45	6.59	97.9	2.49		562.4	85.2	0.22
	2.02	0.16	1.59	1.01	1.69			9.23	441	378.3	56.3	0.18
Nov. 24.	2.09	0.09	2.62	1.06	1.54	6.99	94.6	2.34		265.0	40.6	0.13
	2.48	0.26	2.54	1.10	1.41			2.42	78	-	-	0.06
Dez. 15.	2.84	0.15	4.14	1.29	1.23	7.10	91.0	0.81		189.2	19.5	0.00
Jan. 17.												
Febr. 9.	8.81	0.29	2.24	0.99	1.33			0.77	27	628.0	85.3	0.15
	8.65	1.21	2.35	1.21	1.75	7.90	93.0	0.55		402.1	56.8	0.13
23.	7.54	0.33	2.58	1.16	1.26			1.06	-	334.9	53.2	0.13
	7.58	0.36	3.19	1.29	1.82	8.58	99.0	0.84		267.2	42.9	0.10
März 8.	7.47	0.36	1.31	0.82	2.19			1.84	-	424.9	74.9	0.21
	10.00	0.39	3.24	1.15	-	8.54	97.0	1.00		203.9	37.7	0.06
21.	1.48	0.06	2.91	0.26	1.90			17.41	179	1142.4	183.9	0.44
	7.07	0.20	3.72	0.63	1.43	8.70	97.0	9.98		815.7	155.3	0.37
April 5.												
10.												
19.	0.92	0.11	1.02	0.15	0.50			1.10	53	444.2	75.0	0.23
	2.69	0.21	4.19	0.58	1.20	7.28	82.8	1.55		412.5	78.3	0.24
24.	1.10	0.20	1.74	0.18	0.73			1.25	-	485.9	83.7	0.27
	1.13	0.22	6.70	0.30	1.04	7.15	81.1	1.17		235.1	49.0	0.25
Mai 4.	0.68	0.29	2.82	0.15	1.21			2.17	59	392.8	61.3	0.16
	0.71	0.18	6.94	0.12	1.26	7.78	91.1	1.49		300.8	46.9	0.11
10.												
29.	1.23	0.12	1.89	0.12	0.78			1.64	54	425.8	70.3	0.23
	0.81	0.08	2.63	0.07	0.88	6.46	86.0	1.24		326.9	57.9	0.19
Juni 7.	0.88	0.11	1.77	0.14	1.32			1.80	55	464.5	88.3	0.21
	3.16	0.24	3.10	0.60	2.01	5.00	63.6	2.51		532.1	98.1	0.26
14.												
22.												
Juli 6.												
10.	1.57	0.17	0.97	0.12	0.76			1.33	139	615.9	90.6	0.37
	2.18	0.11	0.80	0.61	1.47	4.85	74.3	2.14		869.9	148.1	0.31
12.												
16.												
20.	1.27	0.14	0.82	0.23	0.97			2.36	65	553.5	89.8	0.26
	1.14	0.12	0.72	0.40	-	5.19	80.0	2.68		554.0	77.8	0.26
26.												
Aug. 2.	0.56	0.05	1.30	0.18	0.69			3.25	81	565.2	109.2	0.25
	1.12	0.18	1.49	1.33	2.27	2.26	35.0	1.24		339.1	55.2	0.21
9.												
23.												
28.	1.46	0.09	1.44	0.27	1.38			2.21	234	477.2	59.4	0.19
	1.28	0.09	1.88	1.17	1.95	2.11	-	3.50		592.5	63.7	0.21
Sept. 4.												
17.												
Okt. 17.												
Nov. 8.												
22.	3.46	0.36	4.96	0.97	1.93			3.27	-	378.1	51.2	0.23
	3.30	0.34	4.11	1.22	2.00	7.13	94.0	0.75		366.3	60.0	0.16
Dez. 18.	6.95	0.31	3.79	1.04	1.65			1.89	-	256.5	48.0	0.13
	6.54	0.28	4.32	1.30	2.57	7.20	94.0	1.03		-	-	0.13

Tabelle IX: Tagesmittel der einfallenden kurzwelligigen Strahlung in $W m^{-2}$.

1983

1983		Junj		Juli		Aug.		Sept.		Okt.		Nov.		Dez.	
1.	175.28	1.	242.30	1.	200.31	1.	164.86	1.	184.51	1.	151.67	1.	23.38	1.	30.03
2.	70.61	2.	146.59	2.	210.68	2.	226.51	2.	114.19	2.	21.83	2.	73.09	2.	29.98
3.	107.98	3.	145.37	3.	232.26	3.	232.38	3.	98.92	3.	22.99	3.	32.97	3.	29.60
4.	101.07	4.	77.85	4.	194.83	4.	56.42	4.	154.11	4.	91.04	4.	15.68	4.	16.68
5.	253.69	5.	156.52	5.	307.87	5.	197.20	5.	67.16	5.	74.44	5.	12.96	5.	21.16
6.	261.68	6.	301.36	6.	288.93	6.	228.45	6.	151.58	6.	92.58	6.	29.92	6.	22.43
7.	167.54	7.	326.28	7.	270.52	7.	238.92	7.	101.12	7.	17.12	7.	20.09	7.	38.34
8.	60.62	8.	278.79	8.	215.43	8.	232.96	8.	108.61	8.	78.16	8.	33.81	8.	3.63
9.	161.72	9.	144.23	9.	299.31	9.	257.77	9.	53.95	9.	105.26	9.	51.03	9.	4.37
10.	81.24	10.	209.29	10.	272.38	10.	269.16	10.	52.47	10.	12.73	10.	13.76	10.	7.62
11.	137.15	11.	262.52	11.	283.56	11.	266.83	11.	107.90	11.	35.53	11.	58.09	11.	47.51
12.	128.55	12.	153.74	12.	282.37	12.	83.31	12.	71.20	12.	78.93	12.	63.84	12.	37.49
13.	181.06	13.	125.74	13.	251.72	13.	232.47	13.	73.56	13.	109.44	13.	31.23	13.	32.11
14.	187.49	14.	206.96	14.	266.71	14.	187.24	14.	61.86	14.	81.61	14.	27.52	14.	34.68
15.	152.97	15.	199.03	15.	215.51	15.	243.80	15.	69.17	15.	30.48	15.	51.51	15.	32.83
16.	63.74	16.	104.94	16.	233.65	16.	199.86	16.	89.84	16.	60.17	16.	30.44	16.	31.02
17.	222.18	17.	233.63	17.	279.57	17.	157.44	17.	63.77	17.	43.83	17.	56.87	17.	14.85
18.	134.51	18.	307.12	18.	66.98	18.	136.96	18.	85.64	18.	23.71	18.	17.24	18.	4.99
19.	152.44	19.	295.47	19.	220.88	19.	183.67	19.	143.06	19.	70.00	19.	22.17	19.	4.77
20.	218.84	20.	311.34	20.	203.47	20.	196.69	20.	121.65	20.	55.86	20.	15.68	20.	16.08
21.	154.98	21.	308.46	21.	201.50	21.	212.95	21.	85.56	21.	97.76	21.	50.53	21.	5.43
22.	172.71	22.	314.39	22.	249.26	22.	157.04	22.	124.76	22.	19.65	22.	45.14	22.	7.86
23.	188.62	23.	303.75	23.	297.79	23.	196.09	23.	137.73	23.	96.82	23.	42.60	23.	5.86
24.	40.08	24.	225.41	24.	291.72	24.	181.77	24.	118.36	24.	74.79	24.	32.01	24.	15.11
25.	41.29	25.	305.30	25.	279.55	25.	141.86	25.	140.48	25.	23.37	25.	5.06	25.	4.52
26.	49.90	26.	273.24	26.	185.33	26.	223.98	26.	103.39	26.	23.29	26.	5.18	26.	7.16
27.	70.21	27.	189.77	27.	214.38	27.	208.43	27.	85.07	27.	15.79	27.	12.26	27.	6.77
28.	106.25	28.	194.98	28.	191.21	28.	229.32	28.	123.51	28.	68.77	28.	4.50	28.	3.44
29.	150.38	29.	62.67	29.	61.54	29.	228.53	29.	138.34	29.	87.13	29.	10.99	29.	23.21
30.	117.11	30.	174.16	30.	244.12	30.	216.94	30.	121.02	30.	64.11	30.	34.87	30.	18.23
31.	203.65			31.	277.99	31.	208.79			31.	45.99			31.	4.69

1984

Juni

Juli

Aug.

Sept.

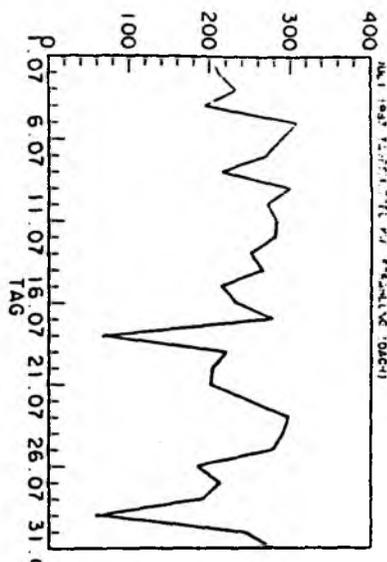
1.	218.04	1.	13.41	1.	37.32	1.
2.	116.02	2.	109.77	2.	231.57	2.
3.	220.19	3.	166.54	3.	174.65	3.
4.	275.63	4.	169.99	4.	126.53	4.
5.	39.19	5.	132.51	5.	71.66	5.
6.	54.34	6.	108.16	6.	129.26	6.
7.	41.99	7.	147.15	7.	251.37	7.
8.	275.48	8.	291.47	8.	229.68	8.
9.	155.26	9.	295.02	9.	220.69	9.
10.	135.42	10.	252.78	10.	235.15	10.
11.	314.02	11.	239.34	11.	218.48	11.
12.	288.31	12.	192.53	12.	242.74	12.
13.	111.69	13.	183.55	13.	225.57	13.
14.	167.44	14.	149.03	14.	142.04	14.
15.	223.43	15.	134.28	15.	139.56	15.
16.	109.46	16.	198.30	16.	196.43	16.
17.	136.07	17.	228.26	17.	221.66	17.
18.	203.50	18.	283.14	18.	98.50	18.
19.	120.99	19.	158.09	19.	198.39	19.
20.	230.42	20.	108.16	20.	144.09	20.
21.	218.79	21.	157.67	21.	144.01	21.
22.	66.38	22.	121.31	22.	179.06	22.
23.	125.86	23.	151.78	23.	195.34	23.
24.	103.47	24.	247.13	24.	192.71	24.
25.	87.52	25.	123.81	25.	188.39	25.
26.	242.50	26.	175.46	26.	203.58	26.
27.	106.01	27.	183.76	27.	182.88	27.
28.	177.16	28.	116.72	28.	198.47	28.
29.	209.09	29.	164.31	29.	118.89	29.
30.	227.09	30.	136.50	30.	154.77	30.
		31.	200.21	31.	110.60	

	Okt.		Nov.		Dez.	
60.08	1.	—	1.	66.42	1.	21.09
121.43	2.	—	2.	—	2.	4.16
104.38	3.	—	3.	—	3.	8.43
37.68	4.	—	4.	—	4.	3.77
—	5.	—	5.	—	5.	5.32
—	6.	—	6.	—	6.	7.32
—	7.	—	7.	46.69	7.	23.04
—	8.	—	8.	39.26	8.	10.12
—	9.	—	9.	24.39	9.	32.52
—	10.	—	10.	12.85	10.	2.97
62.02	11.	—	11.	21.60	11.	31.44
142.60	12.	—	12.	64.04	12.	22.28
128.01	13.	—	13.	52.83	13.	23.29
49.53	14.	—	14.	53.81	14.	29.49
91.60	15.	—	15.	43.66	15.	7.49
157.63	16.	—	16.	11.57	16.	32.08
116.16	17.	—	17.	5.42	17.	18.36
124.49	18.	—	18.	—	18.	14.48
32.32	19.	—	19.	—	19.	11.74
138.71	20.	48.11	20.	—	20.	3.87
53.68	21.	53.52	21.	—	21.	7.46
111.76	22.	30.50	22.	—	22.	20.40
81.61	23.	14.23	23.	—	23.	9.19
90.96	24.	56.68	24.	15.89	24.	23.68
63.24	25.	40.94	25.	24.10	25.	19.09
70.07	26.	41.39	26.	15.01	26.	17.32
48.32	27.	80.04	27.	—	27.	3.31
81.69	28.	64.11	28.	—	28.	5.85
123.79	29.	—	29.	—	29.	8.81
42.61	30.	67.29	30.	—	30.	21.39
	31.	33.32			31.	5.41

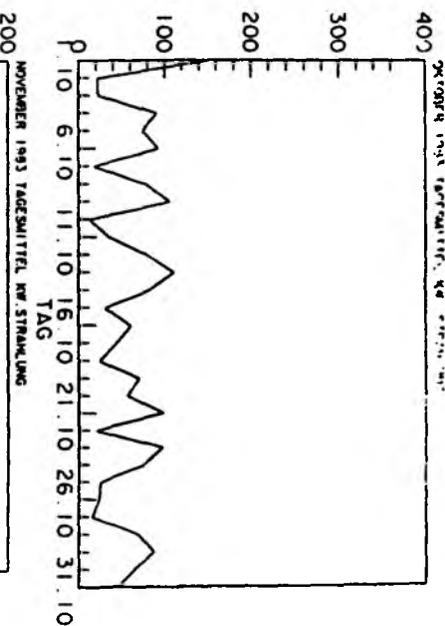
Abbildung A

Einstrahlung, Tagesmittelwerte in $W\ m^{-2}\ d^{-1}$,
Beachte: Veränderte Skala für die Monate
Nov. und Dez. 1983.

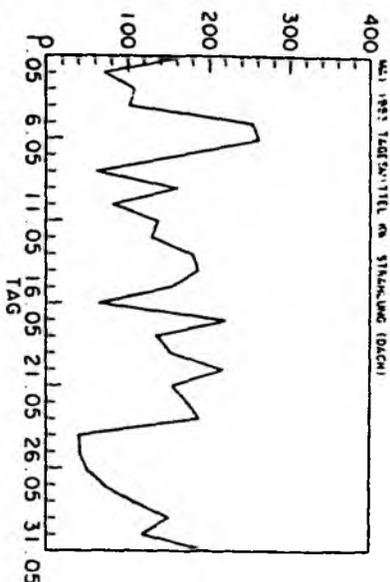
KURZW. STRAHLUNG WATT/M2.



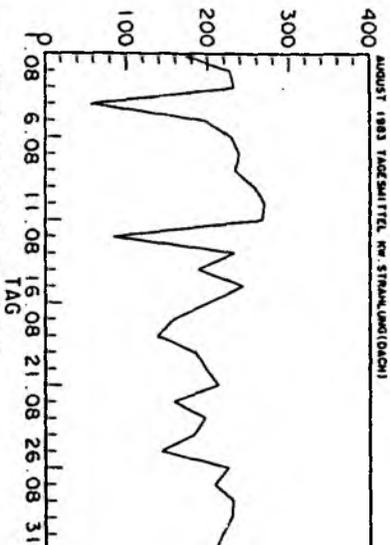
KURZW. STRAHLUNG WATT/M2.



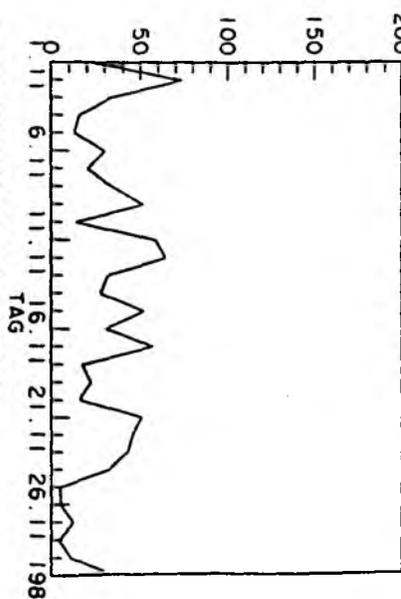
KURZW. STRAHLUNG WATT/M2.



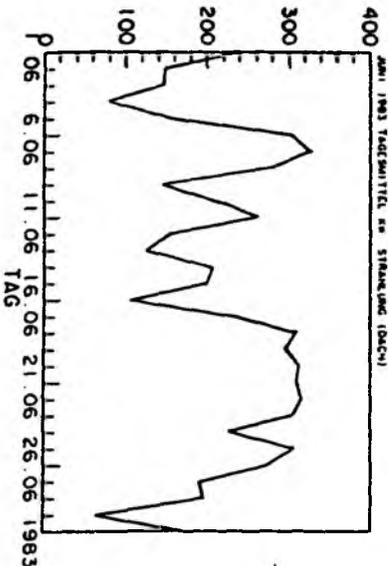
KURZW. STRAHLUNG WATT/M2.



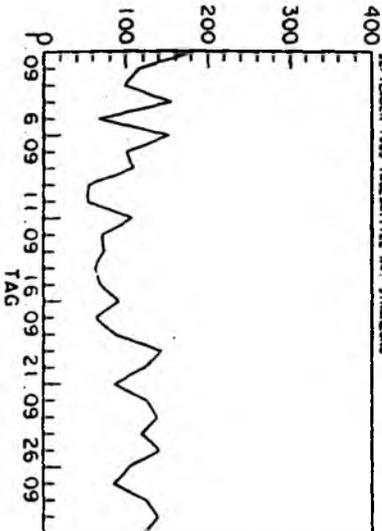
KURZW. STRAHLUNG WATT/M2.



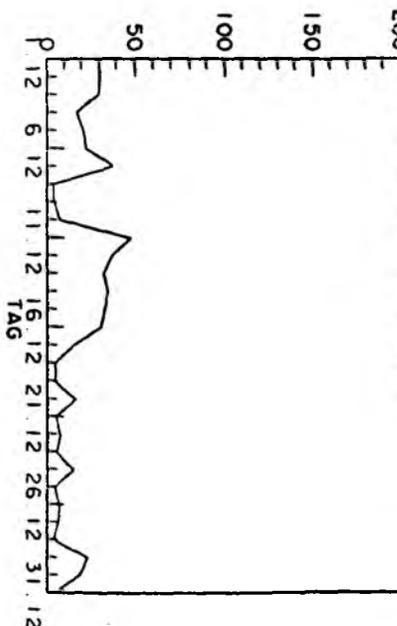
KURZW. STRAHLUNG WATT/M2.



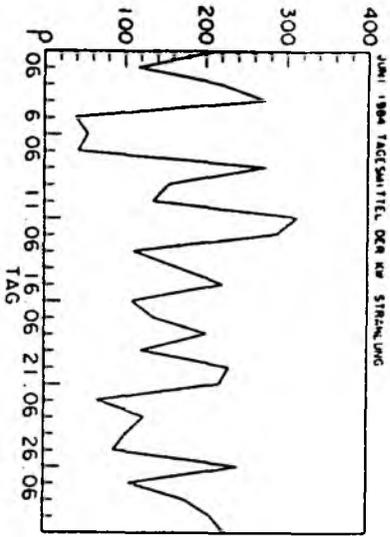
KURZW. STRAHLUNG WATT/M2.



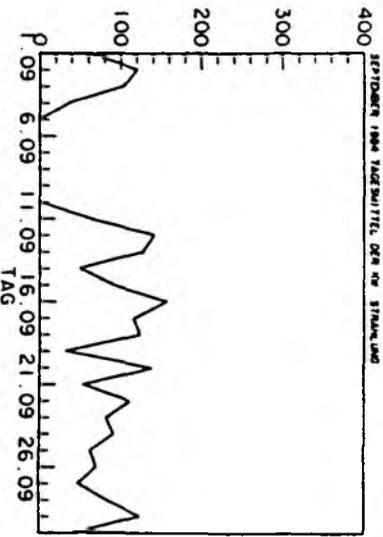
KURZW. STRAHLUNG WATT/M2.



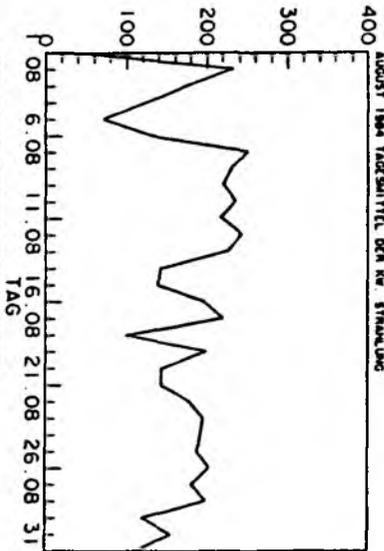
KURZW STRAHLUNG WATT/M²



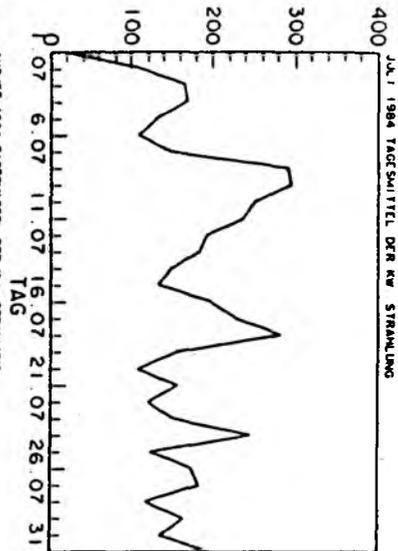
KURZW STRAHLUNG WATT/M².



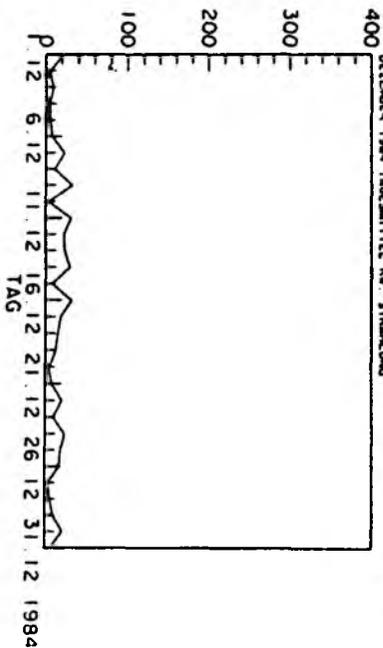
KURZW STRAHLUNG WATT/M².



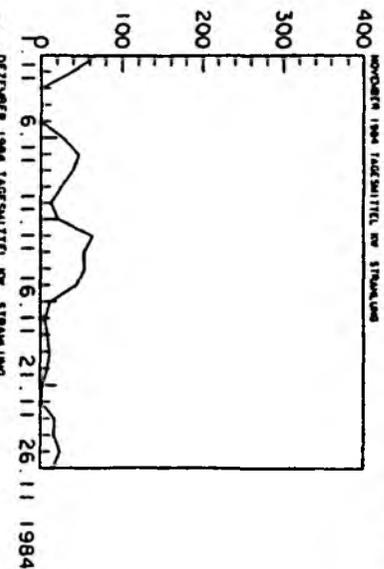
KURZW STRAHLUNG WATT/M².



KURZW STRAHLUNG WATT/M².



KURZW STRAHLUNG WATT/M².



KURZW STRAHLUNG WATT/M².

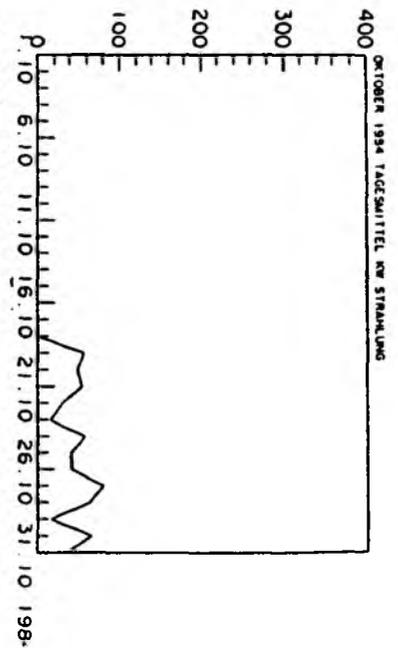


Tabelle X: Tagesabflußmengen der Schwentine an den Ausfahrt-
 tagen berechnet aus den Daten vom Pegel Preetz in
 10^6 m^3 .

Datum		Datum	
24. 5.	0,766	4. 5.	0,264
7. 6.	0,744	10. 5.	0,242
28. 6.	0,372	29. 5.	0,181
11. 7.	0,249	7. 6.	0,243
25. 7.	0,121	14. 6.	0,303
16. 8.	0,100	22. 6.	0,320
23. 9.	0,109	6. 7.	0,365
29. 9.	0,097	10. 7.	0,329
20.10.	0,150	12. 7.	0,332
24.11.	0,196	16. 7.	0,347
15.12.	0,327	20. 7.	0,377
		26. 7.	0,403
17. 1.	0,809	2. 8.	0,429
9. 2.	0,824	9. 8.	0,346
23. 2.	0,668	23. 8.	0,234
8. 3.	0,554	28. 8.	0,206
21. 3.	0,434	4. 9.	0,210
5. 4.	0,312	17. 9.	0,175
10. 4.	0,328	17.10.	0,294
19. 4.	0,309	8.11.	--
24. 4.	0,285	22.11.	--
		18.12.	--

Tabelle XI: Nährsalzkonzentrationen der Schwentine. Geglättete Monatsmittel aus Daten des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten ($1 \text{ mg N l}^{-1} = 71.43 \text{ } \mu\text{M N l}^{-1}$, $1 \text{ mg P l}^{-1} = 32.26 \text{ } \mu\text{M P l}^{-1}$ sowie der Anteil der Ammoniakkonzentration an der Summe von Nitrat + Nitrit in Prozent. Das Verhältnis N:P ist als Verhältnis der Atome zueinander wiedergegeben.

Monat	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	% NH_4	N:P at
Mai	0,141	1,39	0,157	11,3	24:1
Juni	0,225	0,81	0,222	27,4	10:1
Juli	0,445	0,67	0,159	23,7	4:1
August	0,729	1,08	0,365	33,8	4:1
September	0,547	1,17	0,452	38,6	7:1
Oktober	0,368	1,14	0,496	43,6	9:1
November	0,251	3,19	0,423	13,2	32:1
1983 Dezember	0,162	3,15	0,279	8,9	46:1
<hr/>					
1984 Januar	0,090	4,74	0,196	4,1	121:1
Februar	0,068	3,76	0,112	3,0	126:1
März	0,078	2,28	0,116	5,1	66:1
April	0,112	1,99	0,238	12,0	46:1
Mai	0,255	1,89	0,552	29,2	21:1
Juni	0,247	1,19	0,360	30,3	14:1
Juli	0,193	0,69	0,215	31,2	11:1
August	0,242	0,65	0,353	54,3	9:1
September	0,430	0,78	0,472	60,5	7:1
Oktober	0,272	0,84	0,302	36,0	9:1
November	0,151	1,21	0,273	22,6	22:1
Dezember	0,125	2,04	0,261	12,8	38:1

Tab. XII: Artenliste des Phytoplanktons. In Klammern sind die s.T. ungültigen Synonyme aufgeführt.

DIATOMEEN

Actinocyclus octonarius (ehrenbergii)
 Asterionella fiformosa
 Bacillaria paxillifer (paradoxa)
 Biddulphia spp.
 Cerataulina pelagica (bergonii)
 Chaetoceros affinis
 compressus
 curvisetus
 danicus
 debilis
 decipiens
 didymus
 gracilis
 holmaticus
 laciniosus
 spp.
 cinctus
 concinnus
 granii
 lineatus
 radiatus
 spp.
 confervacea
 spec.
 brightwellii
 cf. capucina
 flaccida
 spp.
 denicus
 lyngbii
 spec.
 cf. granulata
 cf. islandica

Melosira moniliformis
 nummuloides
 spp.
 Naviculales closterium
 Mitoschia longissima
 seriata
 alata
 delicatula
 fragillissima
 setigera
 styliformis
 costatum
 astres, var. minutula
 cf. tabulate
 nitzechioides
 baltica
 decipiens
 escentrica (Coscinodiscus escentricus)
 fallax
 polychorda
 rotula
 spp.

Rhizosolenia
 Skeletonema
 Stephanodiscus
 Synedra
 Thalassionema
 Thalassiosira

DINOFLAGELLATEN

Amphidinium cf. acutum
 cressum
 longum
 spec.
 Ceratium candelabrum
 ferce
 feuss
 afrandiesellii
 horridum
 lineatum
 longipes
 tripos
 acuminata
 acuta
 norvegica
 rotundata
 Dinophysis

Diplopeltopora	spec.
"Ebria	tripartite"
Gonyaulax	cf. spinifera
	cf. triacantha
	spp.
Gyanodinium	emlinucleum (spec. nov., Campbell, 1973)
	simplex
	vestifica (Gyrod. glaucum, Amphidin.
	extensum)
	spp.
Heterocapsa	triquetra (Peridin. triquetr.)
Ketodinium	rotundatum (Massartia rotund., Amphidin. rotund.)
Prorocentrum	laticum
	micans
	minimum (hier die varietates: triangulatum u.
	cordiforme)

BLAUALGEN

Achroonema	spec.
Anebaena	spiroides
	cf. torulosa
	spp.
Gomphosphaeria	pusilla
Marismopodia	punctata
	spec.
Microcystis	spp.
Nodularia	apumigana
	spec.
Oscillatoria	spec.
Spirulina	cf. subsalsa

Arten verschiedener Gruppen mit zumeist geringem Biomassanteil

Apedinella	radians
Dinobryon	cf. sertularia
	spp.
Prymnesium	parvum
Synura	spp.

Crucigania	cf. quadrata
Ochromonas	olivacea
Oocystis	sp.
Pediastrum	boryanum
	duplex
	spec.
Scenedesmus	aculeolatus
	brasiliensis
	cf. carinatus
	opoliensis
	quadricauda
Cryptomonas	cf. baltica
	spec.
Dictyocha	speculum (Distephanus speculum), (hier die var. speculum, septenarius, regularis o. octonarius)
Euglena	sp. (incl. Eutreptia u. Eutreptiella)
Neodinium	rubrum

Tab. XIII Primärproduktion. Tagesproduktion berechnet aus der Produktionsrate¹ in $\text{mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$ und der Einstrahlung in W m^{-2} für die Tage, an denen Lichtdaten zur Verfügung standen.

Datum	Tiefe		integrierte Produktion $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$
	0 m $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$	5 m d^{-1}	
1984			
1. 6.	326	10	840
6.	37	1	94
20.	739	84	2056
28.	543	43	1466
5. 7.	185	4	473
11.	252	24	691
18.	171	17	470
1. 8.	93	6	248
8.	621	21	1604
16.	286	33	797
22.	830	15	2112
29.	353	12	887
12. 9.	316	26	856
19.	40	3	107
26.	117	6	308
24.10.	46	5	128
31.	22	3	63
5.12.	2	,5	6
12.	4	,6	11

¹Diese Daten stammen aus dem Meßprogramm der Abtlg. Marine Planktologie.

Text 1. Erläuterung der Biomasseberechnung für Ceratium tripos und morphologisch nah verwandte Arten.

Wie im Kapitel 2.4. "Biomasseberechnung" erwähnt kommt es bei der Bestimmung der Biomasse des Dinoflagellaten Ceratium tripos und der morphologisch nah verwandten Arten (hirundinella, longipes und horridum) leicht zu erheblichen Fehlern, wenn man der von Edler (1979) angegebenen Berechnungsgrundlage einer Halbkugel für den Hauptkörper dieser Arten folgt. Für die Biomassebestimmung (PPC) in dieser Arbeit wurde daher eine neue Berechnungsgrundlage für die oben erwähnten Formen, d.h. für den strittigen Hauptkörper, entwickelt. Im wesentlichen beruht sie auf folgenden Überlegungen:

1. Um die Abundanz großer Phytoplanktonarten wie z.B. Ceratium tripos mit möglichst geringem Fehler (d.h. in möglichst großen Mengen, Edler, 1979 S. 7) zu erfassen, wird ihre Anzahl i.a. bei möglichst kleiner Vergrößerung (6.3- oder 10-fach Objektiv) auf der Gesamtfläche der UTERMÖHL-Kammer bestimmt. Eine genaue Größenangabe ist auf diese Weise nicht möglich, da der geringste Abstand der Skalenstriche im Meßokular ca. 20 μm bzw. 12 μm beträgt.

2. Daher werden die Maße einiger ausgewählter Organismen jeder Art bei sehr hoher Vergrößerung (40-fach Objektiv) bestimmt. Hier beträgt die Auflösung ca. 3 μm .

3. Durch das genaue Ausmessen möglichst vieler Zellen einer Art ergibt sich eine gewisse Streuung der Ergebnisse. Oft kann man auch verschiedene Größenklassen bilden (häufig z.B. bei Skeletonema costatum, Rhizosolenia fragilissima, R.delicatula und bei anderen Diatomeen aber auch bei verschiedenen Dinoflagellaten).

4. Diese Größenklassifizierung, die sich bei C. tripos üblicherweise auf die Breite des Hauptkörpers bezieht, sollte natürlich beim Zählvorgang mit geringer Vergrößerung berücksichtigt werden. Hier aber sind, wie unter 1. erwähnt, Größendifferenzen \leq 20 μm bzw. 12 μm nicht mehr aufzulösen.

5. Die Folge dieser Nivellierung der gemessenen und auch vorhandenen Größenunterschiede ist ein Fehler in der Biomassebestimmung, der beträchtlich sein kann.

Der hier beschriebenen Vorgang gilt selbstverständlich prinzipiell für alle Phytoplanktonbiomassebestimmungen. Er wirkt sich aber bei C. tripos und den oben erwähnten verwandten Arten besonders stark aus. Zum einen, weil große Arten bei kleinen Vergrößerungen gezählt werden

sollten, Größenunterschiede also nicht mehr deutlich werden; zum anderen, weil Edler die Berechnung des Volumens des Hauptkörpers von C. tripos als das einer Halbkugel empfiehlt.

Dem muß aus verschiedenen Gründen widersprochen werden: Zum einen zeigen Lebendbeobachtungen, daß der Hauptkörper von C. tripos nicht einer Halbkugel gleicht, sondern auf der Ventralseite stark konkav ist, zum anderen gleicht die gesamte Form zwischen den Ansätzen des Apikalhornes und der Antapikalhörner eher der eines abgerundeten Dreiecks als einem Kreis. Wägungen an einem Modell des Hauptkörpers ergaben, daß die Modellform nur etwa 54 % des Gewichtes einer Halbkugel besitzt. Außerdem kommt als beträchtliche Fehlerquelle der Biomasseberechnung hinzu, daß der Durchmesser des Hauptkörpers (die "Breite" bei den vorausgegangenen genauen Messungen bei hoher Vergrößerung) in der 3. Potenz eingeht. Entsprechend der geringsten meßbaren Differenz zweier verschiedener Zellen von 3 μm ergeben sich folgende Unterschiede für die Volumina einer Halbkugel:

Durchmesser: 70 μm \Rightarrow 89 797 μm^3

73 μm \Rightarrow 101 844 μm^3

Diese Differenzen, die die kleinstmöglichen Unterschiede angeben, da das Beispiel von optimalen Messungen ausgeht, sind selbst dann nicht mehr tragbar, wenn C. tripos nur einen vergleichsweise kleinen Anteil an der gesamten Phytoplanktonbiomasse hat. Denn die Bandbreite der tatsächlichen Messungen des Durchmessers des Hauptkörpers von C. tripos ist beträchtlich größer als 3 μ , kann aber bei kleiner Vergrößerung nicht erkannt werden; der Fehler wird größer.

Die Lösung des Problems liegt aber nicht in noch genaueren und zahlreicheren Breitenmessungen alleine. Viel wichtiger, und durch die tatsächliche Form des Hauptkörpers von C. tripos angezeigt, scheint der Ersatz der Halbkugelberechnung durch eine andere geometrische Form. Diese muß zwei Bedingungen erfüllen: kein zur Berechnung nötiges Maß sollte in der dritten Potenz eingehen und ihre Form sollte der des Hauptkörpers von C. tripos möglichst nahe kommen.

Diese Voraussetzungen erfüllt die Form eines Viertels eines Rotationsellipsoids (Abb. B), dessen Volumenberechnung (CV_H) durch die Formel:

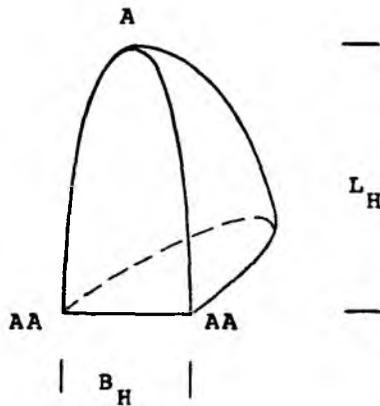
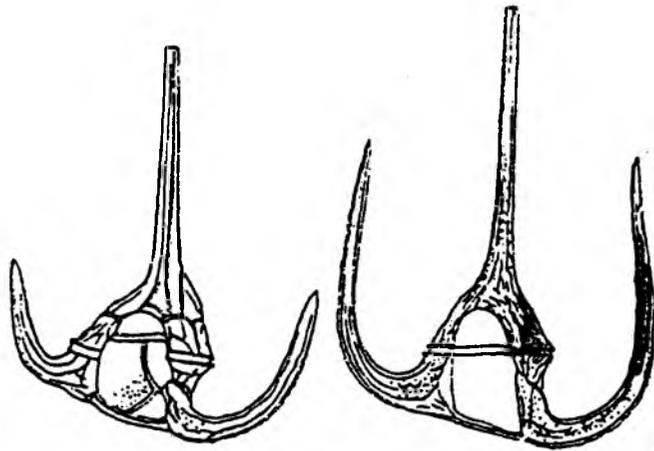


Abbildung B Biomasseberechnung von Ceratium tripos und morphologisch nah verwandten Formen.

Oben: Morphotypen von C. tripos nach Schiller (1933/37, Abb. 421).

Unten: idealisierte Skizze des Hauptkörpers von C. tripos, als Viertel eines Rotationsellipsoides mit kreisförmigem Querschnitt dargestellt. A = Ansatzregion des Apikalhornes, AA = Ansatzregion des Antapikalhörner, L_H = Länge des Hauptkörpers, B_H = Breite des Hauptkörpers. Näheres im Text 1.

$$CV_H = \frac{\pi * L_H * B_H^2}{12}$$

erfolgt,

wobei L_H und B_H die Länge bzw. die Breite des Hauptkörpers bedeuten.

Die Länge L_H wird direkt zwischen dem Ansatzpunkt des Apikalhornes und der Verbindung der beiden Antapikalhörner gemessen. Wo dies nicht durchführbar ist, kann man als Faustregel das mittlere Verhältnis von Gesamtlänge L zu L_H heranziehen. Dies wurde bestimmt durch Messungen an Proben aus dem Zeitraum Juli 1983 - Okt. 1984:

$$L = a * L_H$$

$$a = 1.57, s = 0.10, n = 31.$$

$$L_H = L * 0.64$$

$$L_Z = L * 0.36$$

L_Z ist die Länge des Apikalhornes

Die Breite (B_H) wird, wie üblich ebenfalls bei einer hohen Vergrößerung gemessen, wobei statt der Größenklassen die Berechnung eines Mittelwertes zulässig ist. Das Zellvolumen des Hauptkörpers entspricht dann $CV = L_H * B_H^2 / 3.82$. Durch die Berechnung als Rotationsellipsoid / 4 sind daher die beiden Hauptschwierigkeiten umgangen.